



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

**Rectitud juvenil y madera de compresión: relaciones con la
variación de densidad en la madera de *Pinus radiata*.**

Patrocinante: Sr. Fernando Droppelmann.

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

CRISTIAN ADOLFO ALVAREZ OCARES

VALDIVIA

2008

A mis padres, familia y amigos de siempre

ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	2
2.1 Densidad de la madera y su variación en <i>Pinus radiata</i>	2
2.2 Madera de compresión	3
2.2.1 Apariencia macroscópica	3
2.2.2 Características anatómicas	4
2.2.3 Composición química	5
2.2.4 Propiedades físicas	5
2.3 Densidad básica v/s madera de compresión	6
2.4 Relación entre madera de compresión y forma del fuste	6
3 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	8
3.1 Descripción del área de estudio	8
3.1.1 Ubicación geográfica de los ensayos	8
3.1.2 Clima	8
3.1.3 Suelo	8
3.2 Método de muestreo	9
3.2.1 Selección de árboles, agrupación de las trozas y obtención de discos	9
3.2.2 Determinación de densidad	9
3.2.3 Determinación del porcentaje de madera de compresión	10
3.2.4 Agrupamiento de las trozas según el método de la máxima flecha	12
3.3 Análisis de los datos	15
3.3.1 Análisis descriptivo	15
3.3.2 Estadística de inferencia	15

4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
4.1	Variación de la densidad entre grupos y su tendencia en altura	16
4.2	Altura representativa, relación entre rectitud y madera de compresión	19
4.3	Relación entre densidad y madera de compresión	21
5	CONCLUSIONES	24
6	BIBLIOGRAFIA	25
	ANEXOS	28
1	Abstract and key words	
2	Porcentaje de curvatura en las trozas según el método de la máxima flecha	
3	Densidad y madera de compresión en las trozas	
4	Altura donde se encuentra la densidad promedio de cada individuo	
5	Densidad y madera de compresión en las cuñas	
6	Madera de compresión en el DAP y la máxima flecha	

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1	Estructura celular con madera normal (madura y juvenil) y madera de compresión (Jozsa and Middleton 1994).	4
Figura 2	Ubicación del predio.	8
Figura 3	Ejemplo de las figuras utilizadas como referencia para poder decidir el porcentaje de madera de compresión que se encontró en cada cuadrante.	10
Figura 4	Puntos donde se extrajeron los discos y la división de cada uno en cuadrantes.	11
Figura 5	Líneas trazadas para unir las cruces ubicadas en las caras opuestas de la troza.	12
Figura 6	Ejemplo del marcado de los discos, los círculos rojos representan los 2 puntos de los cuales se proyectan las líneas rectas.	13
Figura 7	Ejemplo en el plano X, de las figuras de los anillos cada 3 años dibujadas.	13
Figura 8	Ejemplo de la ubicación del punto de máxima flecha encontrada en el plano X e Y de cada una de las trozas.	14
Figura 9	En (a) y (b), se presenta la tendencia y variación de la densidad a lo largo del fuste, cada punto (triángulo o cuadrado) refleja el promedio de densidad de todos los discos, del total de las trozas de cada grupo, agrupadas en rangos de 0,5 m de altura (anexo 3), los dos puntos situados en el mismo rango de altura fueron dibujados separados para su mejor lectura. Las flechas indican las alturas en las cuales se eliminaron algunos discos, debido a que estos se encontraban con gran cantidad de nudos, los que alteran los valores de densidad de la madera.	17
Figura 10	Densidad media de los discos en cada una de las trozas, mostrados por forma de agrupar las trozas y por grupo.	18
Figura 11	Relación entre los porcentajes de las desviaciones de densidad de las cuñas, con respecto al los discos extraídos, y la cantidad de madera de compresión de cada una de las cuñas.	21

Figura 12 Los “casos” representan a las densidades de las cuñas con mayor y menor madera de compresión obtenidas desde el cuadrante con mayor madera de compresión de cada disco, estos fueron extraídos del DAP y la máxima flecha de cada una de las trozas. Los valores de las cuñas con los mayores porcentajes de madera de compresión fueron dispuestas en orden ascendente. 22

ÍNDICE DE CUADROS

		Página
Cuadro 1	Número de muestras obtenidas para este trabajo.	11
Cuadro 2	Localización de las trozas dentro de cada grupo, según las dos formas de agrupación empleadas. Los números corresponden sólo a la identificación de cada una de las trozas.	16
Cuadro 3	Densidad media de cada grupo de árboles y variación de la “altura representativa” entre las trozas de cada grupo, representada por el coeficiente de variación.	20
Cuadro 4	Número y porcentajes de casos, que muestran la relación de densidad entre las cuñas, donde; < : cuñas con mayor madera de compresión presentan valores de densidad menores que las cuñas con menor madera de compresión; = : cuñas con mayor y menor madera de compresión presentan densidades similares; > : cuñas con mayor madera de compresión presentan valores de densidad por sobre las cuñas con menor madera de compresión.	23

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo tuvo como principal objetivo determinar los patrones de variabilidad de la densidad, su relación con la forma del fuste y la presencia de madera de compresión.

Las muestras utilizadas para este estudio provienen de un ensayo de progenie de polinización abierta, perteneciente a la empresa Forestal Valdivia S.A. El área de estudio se ubica en la Catorceava Región de los Ríos, comuna de La Unión, sector Cumleufú, en el predio denominado Cumleufú Sur (Lat. 40° 8' - Long. 73° 17').

Se analizaron 12 árboles que a los seis años de edad fueron calificados con fuste curvo y veinte años más tarde evaluados como rectos (C/R). Asimismo 11 árboles que fueron rectos tanto en su etapa juvenil como en la adulta (R/R).

Simultáneamente, se realizaba otro estudio, en el cual se utilizaron los mismos individuos que en este trabajo, se hizo un reagrupamiento de las trozas en R/R y C/R de acuerdo al valor de la "máxima flecha", que es definida como la mayor distancia de una línea recta extendida desde un extremo al otro de la troza, hasta la superficie ésta.

Para llevar a cabo los análisis, se extrajeron dos discos de cada troza, uno desde la zona del DAP y el otro desde la zona de máxima flecha, luego se dividió cada disco en cuadrantes. Posteriormente, del cuadrante con mayor porcentaje de madera de compresión se obtuvieron dos cuñas, uno desde la zona de mayor y el otro desde la zona con menor cantidad de madera de compresión.

En los resultados obtenidos, se determinó que no existen diferencias significativas en los promedios de densidad, entre los grupos para los datos obtenidos desde terreno, pero sí en los datos derivados del método de la máxima flecha.

Se encontraron diferencias significativas entre las varianzas para las dos formas de agrupar los datos presentando mayor variabilidad el grupo R/R. También se pudo observar una clara tendencia a la disminución de la densidad a medida que aumenta la altura de las trozas.

No se encontraron diferencias significativas al comparar las varianzas de las "alturas representativas, entre los grupos con diferentes patrones de rectitud juvenil.

Se identificó una correlación positiva entre densidad y madera de compresión, puesto a que se determinó una correlación significativa entre las desviaciones de densidad y madera de compresión ($r=0,242$), además se encontraron diferencias significativas de densidad entre las cuñas con mayor y menor madera de compresión.

Palabras claves: variabilidad, altura representativa, DAP, máxima flecha.

1. INTRODUCCIÓN

En Chile, la madera de *Pinus radiata* es utilizada como materia prima en la producción de pulpa y papel, donde resulta muy atractiva por su fibra larga; se utiliza en la fabricación de una infinidad de tipos de papeles y cartones. De la misma forma, su uso se ha difundido ampliamente en la industria del aserrío y producción de tableros que proveen a la construcción, muebles y muchos otros productos madereros (INFOR, 2005).

Observaciones existentes indican que muchos árboles con rectitudes deficientes, a edades tempranas se transforman en árboles rectos en etapas maduras, pero este mejoramiento de la rectitud, con el paso del tiempo, es tan sólo una visión externa que no entrega información respecto a las características internas del trozo y su consecuente valor económico.

Las características tecnológicas de la madera determinan, en gran medida, las posibilidades de utilización del recurso. En este sentido, la densidad es una de las propiedades más importantes, dada la estrecha relación que existe entre ésta y otras características de este material; constituyendo, por lo tanto, un excelente criterio de evaluación (Díaz-vaz y Ojeda 1980).

Una propiedad que tiene relación con la densidad dentro de un árbol es la madera compresión, por esto, es importante poder establecer el efecto de este factor sobre la distribución y variación de la densidad a lo largo del fuste.

El objetivo general de este trabajo es determinar los patrones de variabilidad de la densidad y su relación con la forma del fuste, y la presencia de madera de compresión.

Para cumplir con el objetivo general se deben obtener resultados de los siguientes objetivos específicos planteados:

- Analizar la variabilidad de la densidad y su tendencia en altura.
- Determinar una altura de densidad representativa del trozo basal del árbol y su variación con respecto a individuos con diferentes patrones de rectitud juvenil.
- Evaluar la relación entre densidad y porcentajes de madera de compresión.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Densidad de la madera y su variación en *Pinus radiata*

La densidad de la madera es una medida de la masa de un cuerpo de madera seca por unidad de volumen de madera verde y es un importante indicador de la calidad de la madera (Kininmonth y Whitehouse, 1991).

La importancia de la densidad radica en que muchas de sus características fisiomecánicas están íntimamente correlacionadas con ésta, lo que tiene influencia en muchas propiedades y procesos de conversión, incluyendo el aserrío, secado, encolado y en los rendimientos en la fabricación de pulpa y papel (López y Gutiérrez, 1991) (Prado y Barros, 1989).

La densidad depende de varios factores, algunos inherentes a la propia especie y otros relacionados con factores ambientales. Los tipos de células, sus diámetros, el espesor de las paredes y el contenido de extraíbles inciden en la densidad de la madera. Estos a su vez están influidos por la edad de los árboles y su interacción con el medio ambiente (Prado y Barros, 1989).

Generalmente, las mayores variaciones de la densidad dentro de un árbol, se presentan en dirección radial dentro de cada anillo de crecimiento. La madera temprana tiene bajos valores de densidad que se mantienen durante toda la formación de esta zona de crecimiento en diámetro. Terminada la formación de madera temprana, los valores de densidad comienzan a incrementarse rápidamente hasta alcanzar un máximo casi al fin de la madera tardía (Delmastro *et al.*, 1980).

En un estudio realizado por Jovanovski *et al.* (2002) en la patagonia Argentina en *Pinus ponderosa*, se pudo observar que esta madera presentaba una baja densidad en la médula, un rápido incremento desde la médula hacia fuera, al que le sigue un corto periodo de transición para culminar en una nivelación hacia la corteza. Análogamente, un estudio realizado por Delmastro *et al.* (1981) en *Pinus radiata*, considerando distintas ubicaciones en el diámetro, muestra que la tendencia de la densidad es a un aumento desde la médula a la corteza.

Para *Pinus radiata*, en 4 diferentes zonas en Chile, se encontraron aumentos de la densidad con la edad (Paz y Ceballos, 1966). En la tesis llevada a cabo por Rantanen (2005) en Nueva Zelanda, sobre variación de densidad básica en *Pinus radiata* de 20 años, fueron medidos seis árboles, dos discos o rodela fueron tomadas de cada uno, una fue extraída en la base del fuste y la otra a los cinco metros de altura. El promedio de densidad obtenido de cada disco fluctuó entre 0,369 g/cm³ y 0,474 g/cm³.

En el mismo estudio realizado por Jovanovski *et al.* (2002) en *Pinus ponderosa*, se observa la variación de la densidad básica en la altura del fuste, donde la variable estudiada presentó valores superiores en las porciones inferiores del árbol, y una disminución constante con el incremento de la altura hasta aproximadamente los 10

m. Luego no se evidenciaron variaciones importantes. Delmastro *et al.* (1980) explican que esta variación se debe al aumento en la proporción de madera juvenil al aumentar la altura y la formación de ésta, por el efecto “copa”. Dentro de la madera juvenil, las variaciones de la densidad con la altura son pequeñas, encontrándose una regresión parcial positiva de la densidad con la altura, evidente solo después del quinto anillo desde la médula.

La variabilidad de las características entre árboles se debe a dos factores, heredabilidad y condiciones ambientales en que crecen. Es así como árboles de diferentes orígenes genéticos, responden de diferente manera a una misma influencia externa. Las variaciones de densidad entre árboles en un rodal son en general muy grandes, es decir, madera madura de árboles de alta densidad tienen comúnmente cerca del 50% más de sustancia leñosa por unidad de volumen que los árboles de baja densidad dentro de un rodal (Delmastro *et al.*, 1980).

2.2 Madera de compresión

La madera de compresión es un tipo de madera de reacción que presentan especies coníferas en respuesta a una pérdida de verticalidad temporal o permanente en los árboles. Esta pérdida de verticalidad puede ser originada por cargas sobre los árboles. Ejemplo de esto es el efecto del viento, nieve, árboles caídos, animales y otros (Díaz-vaz, 2003). También la pendiente del terreno se ha indicado como causa de formación de madera de compresión en *Pinus radiata* (Vargas y Díaz-vaz, 1992).

La madera de compresión es producida por la existencia de niveles supraóptimos de hormonas. Estos niveles hormonales influyen en la actividad cambial. El cambium afectado por esta distinta concentración de hormonas, reacciona y produce un tipo de madera con características peculiares, notoriamente diferentes a las de la madera que se produce cuando los niveles de hormonas son los típicos de la especie (Díaz-vaz, 2003).

Este tipo de madera se encuentra en un rango que va desde madera casi normal al de severa madera de compresión y se encuentra en fustes inclinados o en las partes bajas de las ramas (Nichols, 1982). Generalmente, este tipo de madera se relaciona con árboles inclinados y curvados. Sin embargo, en rodales con árboles que crecen sin inclinación o con inclinaciones menores, también se puede encontrar madera de compresión (Díaz-vaz *et al.*, 2007).

2.2.1 Apariencia macroscópica

La zona con madera de compresión se aprecia como una zona de crecimiento notoriamente mayor que la de la madera no afectada. También los anillos de crecimiento de madera de compresión son marcadamente más anchos que los de la madera no afectada (Díaz-vaz, 2003).

Muchos de los fustes de árboles con madera de reacción pueden llegar a tener la sección transversal con forma elíptica. Esto se produce cuando la madera de

reacción está situada mayoritariamente a un mismo lado del fuste. En el caso que la madera de reacción se distribuya más o menos uniforme en la sección transversal, el fuste mantiene una forma más o menos circular (Diaz-vaz, 2003).

El color de la madera de compresión es distinto al de la madera no afectada. Un color café rojizo oscuro, es típico en esta madera y se produce por cuanto sus células tienen paredes anchas, bien lignificadas y similares a las células de madera tardía. Esta mayor cantidad de pared celular produce el color más oscuro de la madera de compresión (Diaz-vaz, 2003).

2.2.2 Características anatómicas

Las células de la madera de compresión tienen sus secciones transversales redondeadas, a diferencia de las células de la madera que no es de compresión que tienen sección poligonal. La sección redondeada de las células de madera de compresión, produce espacios intercelulares en los vértices de las células (Diaz-vaz, 2003).

“Destaca en la madera de compresión, el que la madera intermedia del anillo de crecimiento, esté constituida por células de paredes de un ancho mucho mayor que el ancho normal que ellas tienen. Estas células de la madera intermedia, cuyo ancho de las paredes celulares es similar a los de la madera tardía, producen la impresión macroscópica que en la madera de compresión, los anillos tienen una proporción inusualmente ancha de madera tardía” (Diaz-vaz, 2003).

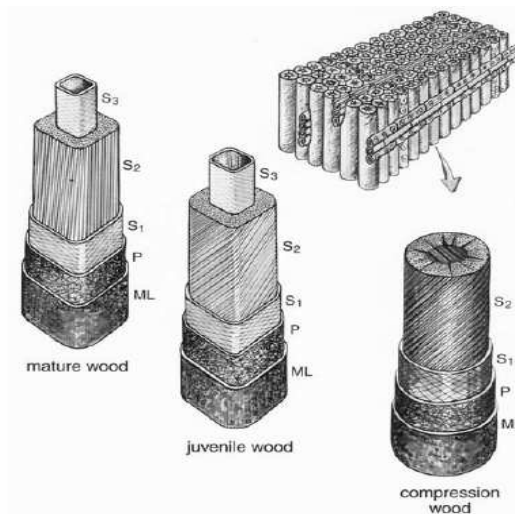


Figura 1. Estructura celular con madera normal (madura y juvenil) y madera de compresión (Jozsa and Middleton, 1994).

Otra característica de las células de madera de compresión, es que están desprovistas de pared S3 (Diaz-vaz, 2003).

La pared S2, tiene también un ángulo fibrilar anormalmente inclinado, pudiendo llegar a los 50 grados. En *Pinus radiata*, se determinaron inclinaciones de las fibrillas de unos 35 grados (Díaz-vaz *et al.*, 1992).

2.2.3 Composición química

Hay una marcada diferencia en la composición química entre la madera de compresión y la madera normal. La lignina de la madera de compresión es mayor que en la madera normal y el contenido de celulosa de la madera de compresión es menor (Panshin y de Zeeuw, 1980).

Estudios muestran las diferencias en la estructura de las traqueidas de madera de compresión que componen la lamina media, en relación a la madera normal; la capa S1 es más gruesa que lo usual y tiene aproximadamente la misma organización microfibrilar, pero el contenido de lignina es menor que en la madera normal. La modificación de la capa S2 es mayor; no sólo tiene menos celulosa que lo usual, sino también la celulosa es de más bajo orden de cristalización que en la madera normal. En madera de compresión la distribución de lignina ha mostrado estar principalmente concentrada en la capa S2. La zona exterior de la capa S2 muestra un aumento del 40% en el contenido de lignina distribuido uniformemente. En aquellos árboles que muestran cavidades helicoidales en las traqueidas de madera de compresión, la zona rica en lignina del S2 marca la terminación externa de estas cavidades (Panshin y De Zeeuw, 1980).

2.2.4 Propiedades Físicas

El efecto más interesante de la madera de compresión es su relación con la contracción longitudinal. Esta puede llegar a ser 10 veces mayor en la madera de compresión que en la normal, lo que tiene una enorme influencia en el proceso de secado al aparecer gran cantidad de deformaciones indeseables (López y Gutiérrez, 1991). Por otra parte, la contracción transversal de la madera de compresión es menor que la normal, particularmente en dirección radial. Ésta, por otra parte, tiene mayor dureza, alta resistencia a la compresión, baja elasticidad y baja resistencia a la tracción (Timell, 1986). Además la madera de compresión es indeseable cuando se la requiere para soportar pesos (Brown *et al.*, 1949).

Por tener la madera de compresión traqueidas más cortas, es posible esperar resistencias menores en las pulpas fabricadas con ella. En madera de *Pinus radiata*, se determinó que en madera de compresión las traqueidas eran entre un 8 y 16% más cortas que las de la madera normal. Los resultados registrados en estas maderas, indicaron menores rendimientos en pulpaje y menor resistencia de los papeles fabricados con pulpa de madera de compresión (Díaz vaz, 2003).

2.3 Densidad v/s madera de compresión

Numerosos estudios han demostrado que la madera de compresión tiene una mayor densidad que madera opuesta o normal en una amplia variedad de coníferas incluido *Pinus radiata* (Harris, 1977; Nichols, 1982). Este aumento se debe al mayor espesor de las paredes presentado en la madera de compresión, esto se observa en casi un tercio del material de la pared celular en comparación a madera normal. En términos de razón, la diferencia en densidad entre la madera de compresión y madera normal es de aproximadamente 4:3 (Panshin y De Zeeuw, 1980).

Un estudio realizado por Donaldson *et al.* (2004), utilizando un densitrómetro de rayos X, confirma reportes de años anteriores sobre el incremento de la densidad básica en madera de compresión de *Pinus radiata*. En el mismo estudio, fue comparada una situación de madera de compresión severa y una situación de leve madera de compresión y éstas con madera opuesta, y se pudo observar que en promedio la madera de compresión severa tiene un 22% de mayor densidad que en la situación opuesta, esto representa un aumento de 103 kg/m³; en cambio, madera de compresión leve mostró similares resultados que la madera opuesta. Mediciones realizadas por estos mismos investigadores sobre las dimensiones celulares, indican que el incremento en densidad en madera de compresión severa se debe a un aumento de 26% en el espesor de la pared celular, que es compensado ligeramente por un 9% de aumento en el diámetro del lumen.

En *Pinus radiata* crecido en Valdivia-Chile, se determinó valores promedios de densidad de 0,477 g/cm³ en la madera de compresión, en cambio la densidad en la madera opuesta fue de sólo 0,393 g/cm³ lo que representa una diferencia del 18% entre estos dos tipos de madera (Vargas y Diaz- vaz, 1992).

Donaldson *et al.* (2004), determinaron la densidad de madera temprana y tardía para un mismo anillo de crecimiento en madera de compresión severa y madera opuesta, los resultados indican que la diferencia en densidad entre madera de compresión y madera normal ocurre tanto en madera temprana como en madera tardía. En contraste, Harris (1977) determinó la densidad básica en *Pinus radiata*, analizó 8 anillos de crecimiento en los cuales midió madera temprana y tardía de oposición, y temprana y tardía de compresión. Como resultado, obtuvo un alto valor de densidad en la madera tardía de compresión, excediendo en todos los casos a la madera de oposición y en contraste la madera temprana de compresión mostró una densidad que a menudo fue similar a la madera temprana normal.

2.4 Relación entre madera de compresión y forma del fuste

Es bien conocido que curvaturas e inclinaciones en el fuste de los árboles a menudo contienen madera de compresión. En un corte transversal estos árboles tienden a tener una medula excéntrica. La relación entre madera de compresión y la forma del fuste ha sido ampliamente investigada, sin embargo, también árboles con fustes rectos y en posición vertical pueden presentar una gran cantidad de madera de compresión (Boyd, 1977).

En Nueva Zelanda Bannister y Vine (1981), tomaron muestras de *Pinus radiata* para determinar la densidad básica tratando de minimizar la incidencia de la madera de compresión, tomaron tarugos de incremento en la parte superior de algunos árboles inclinados. El resultado obtenido sugiere que cuando un fuste está inclinado el lado opuesto igualmente desarrolla madera de compresión, aunque un poco más leve, igualmente la densidad es más alta que la madera normal.

En un estudio realizado por Warensjö (2003) en Suecia, a pesar de que 20 de los 56 árboles muestreados de *Pinus sylvestris* tenían fustes rectos en la parte basal, fue encontrada madera de compresión en todos los fustes y en casi todos los discos. Además, en *Picea abies*, la mayoría de los discos figuran con diversos grados de madera de compresión. La formación de madera de compresión fue más pronunciada en la parte basal de los fustes para las dos especies y a mayor altura en el fuste, el contenido y la severidad de la madera de compresión disminuyó.

En el mismo estudio realizado por Warensjö (2003), en *Pinus sylvestris* de 6 años, mostró que el grado de curvatura en la troza basal estaba significativamente correlacionado con grandes contenidos de madera de compresión. No ocurrió lo mismo con *Pinus sylvestris* a los 22 años, donde la falta de correlación se debió probablemente, a un efecto de enmascaramiento de curvaturas juveniles como resultado de un crecimiento radial excéntrico. Esto fue confirmado en el análisis de excentricidad temporal de la médula, que mostró que la excentricidad en la médula había disminuido para los árboles que en 1986 tenían curvatura, y habían sido clasificados como recto en 1997.

Low (1964), también para *Pinus silvestris*, agrupó 20 árboles de acuerdo al grado de desviación de los fustes (muy ligera, ligera, moderada y pronunciada) y estos grupos en relación al promedio del porcentaje de madera de compresión. Las diferencias entre las medias de los árboles con muy ligera, ligera, y moderada desviación fueron insignificantes. Las medias de los árboles con una pronunciada desviación fueron por lejos las más altas, pero las diferencias entre éstos y los valores de otros grupos fueron significativos sólo a un nivel de 5%.

Vargas y Diaz-vaz (1992) estudiando la madera de pino radiata creciendo en Chile, encontraron que la densidad de la madera de compresión en árboles crecidos en terrenos con pendientes de 10-20% fue significativamente mayor que la formada por árboles en pendientes de 0-10%. Nicholls (1982) encontró que la excentricidad de la médula es mejor indicador de madera de compresión que el ángulo de inclinación para árboles rectos.

3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El presente estudio se desarrolla dentro del marco del proyecto “Definición de parámetros de calidad de árboles para la selección clonal” con la participación de la Universidad Austral de Chile, Bioforest S.A. y la Cooperativa de Mejoramiento Genético Forestal.

3.1 Descripción área de estudio

3.1.1 Ubicación geográfica del ensayo

El área de estudio se ubica en la Catorceava Región de Los Ríos, comuna de La Unión, sector Cumleufú a 450 msnm, en el predio denominado Cumleufú Sur (Lat. 40° 8' - Long. 73° 17'). Ésta área corresponde a un ensayo de progenie de polinización abierta, perteneciente a la empresa Forestal Valdivia S.A.

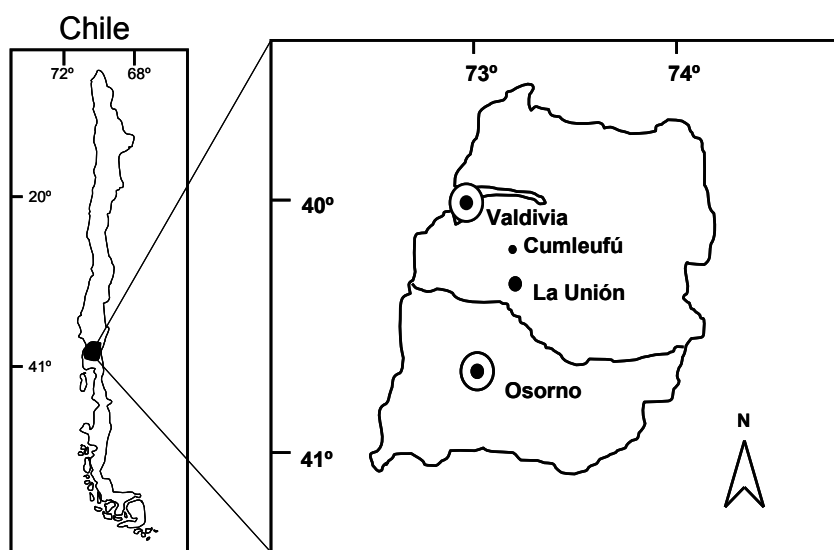


Figura 2. Ubicación del predio.

3.1.2 Clima

En el sector de Cumleufú, las precipitaciones anuales fluctúan entre 1900 a 2000 mm anuales, la mayor temperatura media alcanzada durante el año es en el mes de enero, con 19,8°C y la menor temperatura media es en el mes de julio con 2,8° C. Las temperaturas invernales son bajas, con alta incidencia de heladas con 24 días/año (Forestal Valdivia, 2006).

3.1.3 Suelo

Cumleufú representa a la serie los Ulmos y corresponde a suelos de textura superficial franco arcillosa, profundos, en topografía de cerros con 30 a 50% de pendiente, con moderada erosión y bien drenados (CIREN, 1999).

3.2 Método de muestreo

3.2.1 Selección de árboles, agrupación de las trozas y obtención de discos

Para la selección de los árboles, se utilizó información histórica de la rectitud de los árboles en su etapa juvenil (6 años) y una nueva clasificación según este parámetro en su etapa adulta (20 años). Entonces, fueron considerados 12 árboles que a los seis años de edad fueron calificados con fuste curvo y veinte años más tarde evaluados como rectos, y 11 árboles que fueron rectos tanto en su etapa juvenil como en la adulta, tomando en cuenta estos aspectos cada árbol fue elegido aleatoriamente dentro del total de árboles del ensayo.

En cada uno de los árboles se obtuvo una troza basal de 5 m, obteniendo entre 16 a 19 discos por troza aproximadamente. Los discos fueron obtenidos 5 cm sobre cada verticilo y de esta forma se busco evitar la influencia de los nudos, lo que no siempre se logro, ya que en muchas ocasiones la altura de extracción del disco correspondía al lugar del nacimiento de las ramas del verticilo superior dentro del tronco, el cual no era posible predecir. Por este motivo los discos con presencia de nudos fueron eliminados, disminuyendo el número de discos y como consecuencia influyendo sobre los valores medios de densidad de los discos ubicados en algunos rangos de alturas (figura 9).

La distancia establecida entre puntos fue de 40 cm, pero en las situaciones donde se encontró un verticilo justo en esta posición la distancia aumentó unos centímetros, en estos casos se decidió obtener otro disco a la mitad de esta distancia.

Las trozas de los árboles seleccionados fueron agrupadas en:

C/R: 12 trozas de los árboles curvos en su etapa juvenil y rectos en su etapa adulta.

R/R: 11 trozas de los árboles que siempre fueron rectos tanto en la etapa juvenil como en la adulta.

3.2.2 Determinación de densidad

La densidad fue determinada en todos los discos de cada una de las trozas, para así poder obtener la tendencia en altura dentro de cada troza.

A las muestras completas se les determinó la densidad básica a partir de la fórmula 1:

$$D = \frac{Mo}{Vh} \quad \text{donde,} \quad \begin{array}{l} D = \text{Densidad (kg/m}^3\text{)} \\ Mo = \text{Peso anhidro (g)} \\ Vh = \text{Volumen saturado (cm}^3\text{)} \end{array} \quad (1)$$

En primer lugar, se determinó el volumen saturado de los discos completos, a través del método de desplazamiento de agua según la norma NCh 176/2 (INN, 1986).

Para asegurarse que los discos estaban por sobre el punto de saturación de fibras, se calculó el contenido de humedad a partir de la fórmula 2, testificando que éstos tuvieran un contenido de humedad por sobre el 80%

$$CH = \frac{Ph - Pa}{Pa} * 100 \quad \text{donde,} \quad \begin{array}{l} CH = \text{Contenido de humedad} \\ Ph = \text{Peso húmedo} \\ Pa = \text{Peso anhidro} \end{array} \quad (2)$$

Posteriormente, los discos se secaron en estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ por el periodo de tiempo necesario para lograr el peso anhidro estable.

3.2.3 Determinación del porcentaje de madera de compresión

Para la determinación de la cantidad de madera de compresión, se utilizó el método a trasluz basado en la baja transmisión o paso de la luz a través de la madera de compresión (Pillow, 1941). El primer paso fue dividir en cuadrantes de igual tamaño, los discos extraídos del DAP y la máxima flecha (máxima distancia de una línea recta extendida desde un extremo al otro de la troza, hasta la superficie del fuste) del total de las trozas, y cada cuadrante marcado con una letra A,B,C y D (figura 4), luego en un balde con agua se sumergió cada uno de los discos por aproximadamente 24 horas hasta alcanzar el punto de saturación de fibras.

Para el siguiente paso se instaló un aro de fierro que sujetó los discos y que además permitió el paso de la luz a través de ellos, proveniente de una lámpara alógena montada 50 cm bajo el aro. Con la luz de la lámpara encendida se pudo determinar las diferentes zonas con madera de compresión y sus bordes fueron marcados con lápiz grafito, entonces, cada cuadrante por si solo fue comparado visualmente con figuras referenciales, con diferentes porcentajes de madera de compresión en relación a rangos que van desde 0-5%, 5-10%, 10-15%, 15-25%, 25-30%, 30-35% y de 35-45% (figura 3).

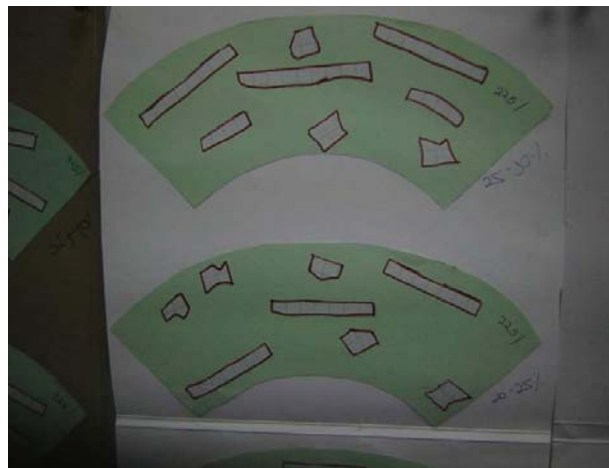


Figura 3. Ejemplo de las figuras utilizadas como referencia para poder decidir el porcentaje de madera de compresión que se encontró en cada cuadrante.

En el cuadrante con mayor madera de compresión de cada disco (anexo 6) se obtuvieron dos cuñas. Una desde la zona con la mayor cantidad de madera de compresión del cuadrante y la otra cuña desde la zona con menor cantidad de madera de compresión del cuadrante. A cada cuña se le extrajeron los primeros ocho anillos a partir del centro de la médula, con el fin de evitar la distorsión provocada por los extraíbles en la determinación de densidad y madera de compresión.

Para estas cuñas, se utilizó la misma metodología de determinación de densidad utilizada en los discos.

En la determinación de la madera de compresión, se utilizó el método a trasluz utilizado anteriormente y se dibujaron las cuñas completas con sus respectivas áreas con madera de compresión sobre papel transparente, las que luego fueron escaneadas y traspasadas al programa computacional arcview 3.2. Se crearon polígonos (áreas) de las zonas marcadas con y sin madera de compresión, los valores de área fueron calculados en cm², finalmente se obtuvieron valores de madera de compresión en porcentaje (anexo 5).

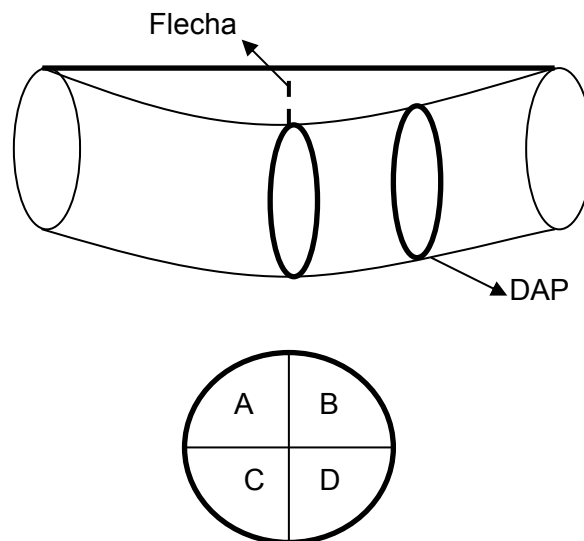


Figura 4. Puntos donde se extrajeron los discos y la división de cada uno en cuadrantes.

Nº de muestras	Tipo de análisis
Trozas	Agrupación según su rectitud y obtención de discos y cuñas
23	
Discos	Determinación de la variación de densidad entre grupos y trozas, y representación de la tendencia de densidad en altura.
397	
Cuñas	Comparación de densidad con distintas cantidades de madera de compresión
80	

Cuadro 1. Número de muestras obtenidas para este trabajo.

3.2.4 Agrupamiento de las trozas según el método de la máxima flecha.

Como en el análisis de resultados, se observó que no existían diferencias significativas en los valores medios de densidad entre los dos grupos (R/R y C/R), y como simultáneamente a este trabajo se realizaba otro estudio, en el cual se analizaban las mismas trozas obtenidas con la evaluación de rectitud de los árboles del ensayo de progenie de Cumleufú Sur, resultó interesante hacer un reagrupamiento de las trozas, de acuerdo al valor de la “máxima flecha”, calculada sobre figuras de los anillos de crecimiento que representan al árbol cuando este tenía 6 años de edad (cuadro 2).

El primer paso para obtener las figuras de los anillos de crecimiento, fue voltear los árboles seleccionados. Posteriormente, de cada uno se obtuvo una troza basal de 5 m. Asimismo, en las caras de los extremos de las trozas se dibujó una cruz cuyo punto central fue el centro geométrico de la circunferencia, estas cruces fueron posicionadas de igual forma en las dos caras y unidas por una línea recta desde un extremo a otro de la troza a partir de 2 puntos, el primer punto fue marcado en el tope de uno de los segmentos de la cruz y el siguiente fue ubicado en el siguiente segmento a 90° desde el primero, coincidiendo respectivamente con ambos puntos de los segmentos de la cruz ubicada en la cara opuesta de la troza (figura 5).

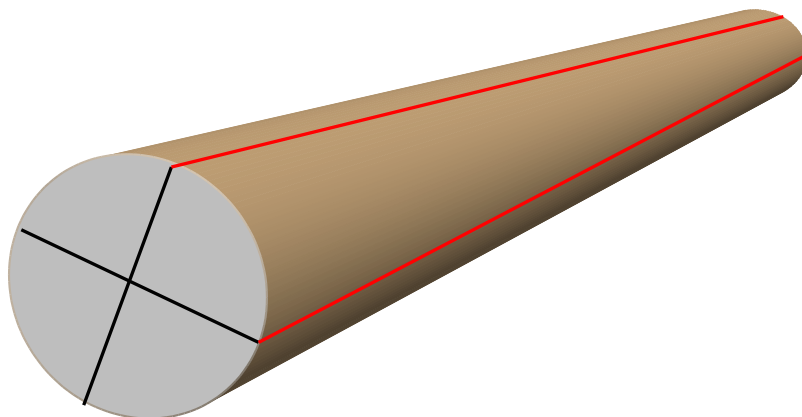


Figura 5. Líneas trazadas para unir las cruces ubicadas en las caras opuestas de la troza.

Cada línea quedó marcada en la superficie del trozo, de esta forma una vez que fueron extraídos los discos, cada disco tenía 2 marcas, éstas fueron unidas por una línea recta hasta un punto de intersección, formando un ángulo de 90° , del cual se proyectaron las mismas líneas desde un extremo al otro del disco (figura 6)



Figura 6. Ejemplo del marcado de los discos, los círculos rojos representan los 2 puntos de los cuales se proyectan las líneas rectas.

En la figura 7 se muestra un ejemplo de las figuras obtenidas en dos planos (X e Y) para una de las trozas, donde las líneas de color representan los anillos de crecimiento, estos fueron dibujados a lo largo de la troza de 5 m, cada 3 años de edad comenzando desde la medula. Para poder obtener estas figuras, fue necesario medir la distancia desde un punto central, formado por el intersección de los ejes del plano X e Y, hasta cada uno de los anillos de crecimiento a las diferentes alturas de donde se extrajo cada disco, en la figura estas alturas son representadas por puntos sobre los anillos.

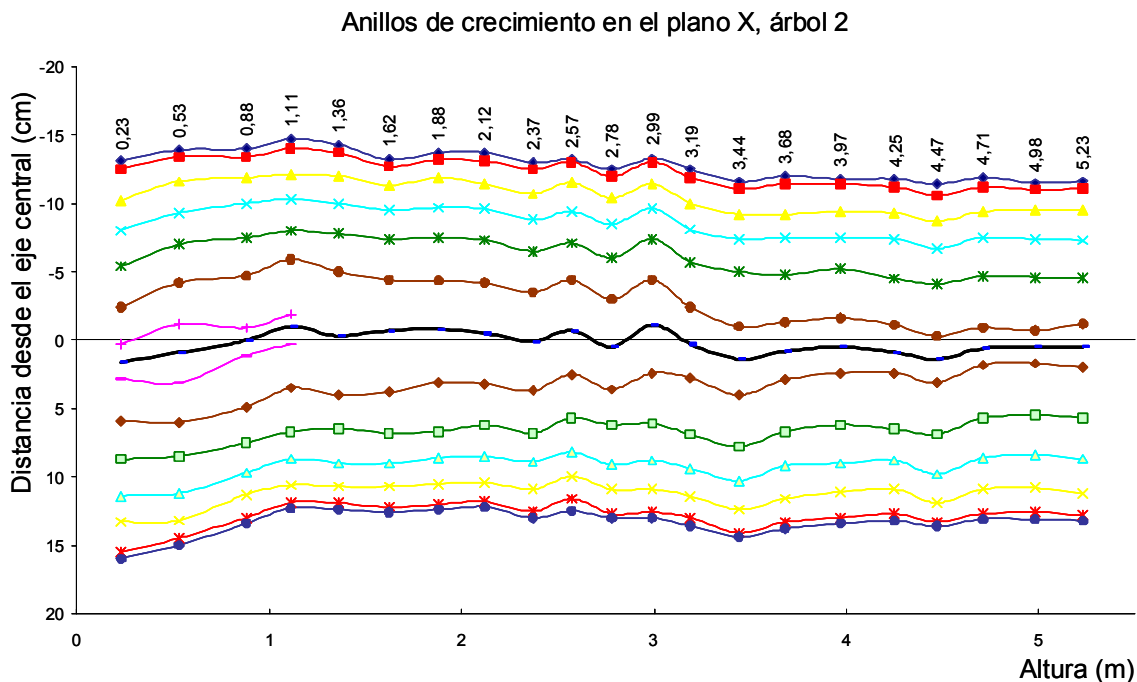


Figura 7. Ejemplo en el plano X, de las figuras de los anillos cada 3 años dibujadas.

Luego, para seleccionar los individuos según la rectitud del fuste, a través de la máxima flecha, se utilizaron las figuras obtenidas desde los anillos de crecimiento de

los 6 años, y se seleccionó la máxima distancia de los dos planos, de una lineal recta trazada desde un vértice a otro, en cada uno de los anillos, buscando la máxima distancia entre este eje y el anillo, siempre eso si, eligiendo el valor en el lado externo de la figura formada por los anillos, de esta forma se buscó emular la selección realizada en terreno (anexo 2).

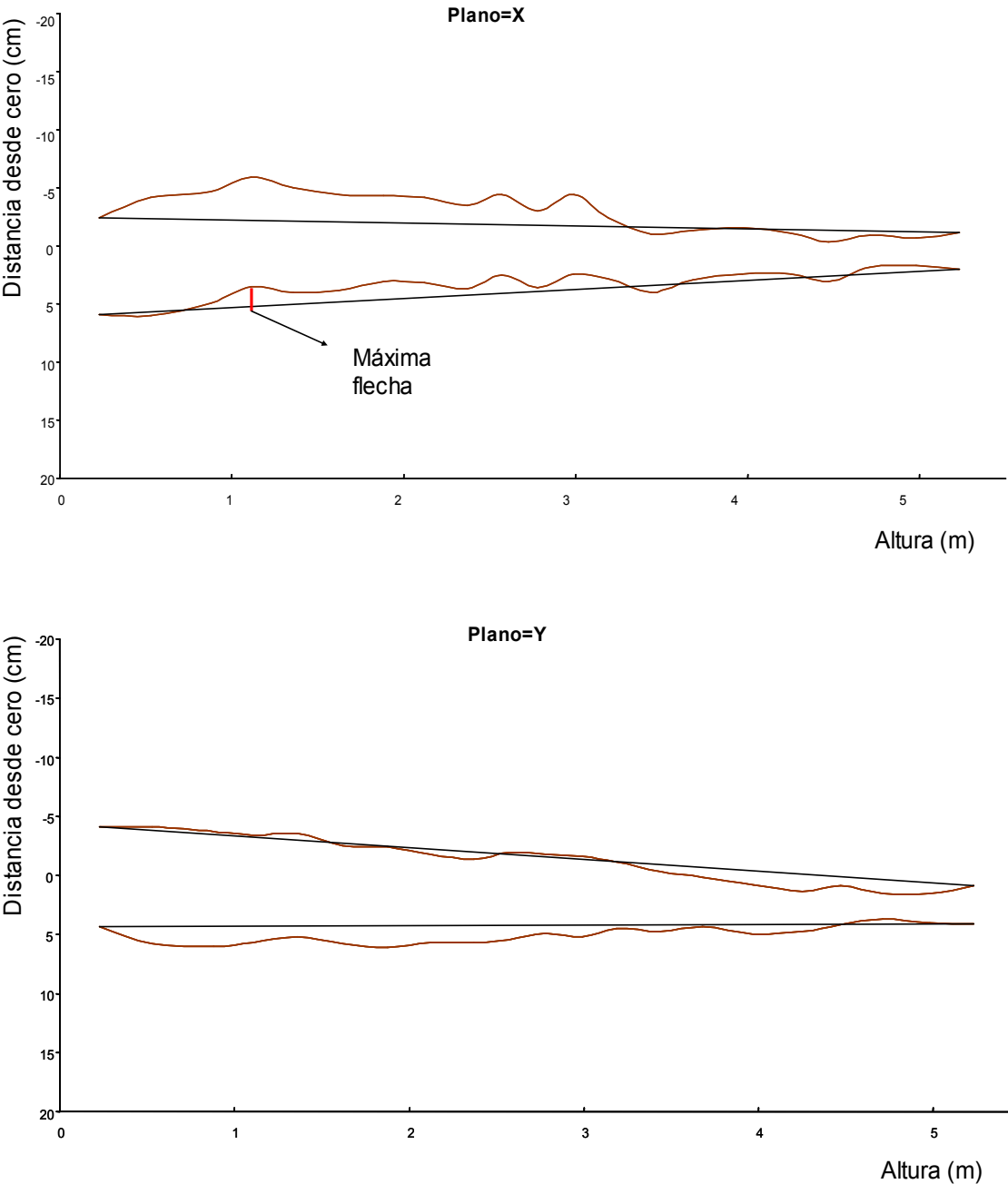


Figura 8. Ejemplo de la ubicación del punto de máxima flecha encontrada en el plano X e Y de cada una de las trozas.

3.3 Análisis de los datos

3.3.1 Análisis descriptivo

Se realizó el cálculo de parámetros estadísticos descriptivos de tendencia central y de dispersión dentro de los cuales se consideraron media, máximo, mínimo, desviación estándar y coeficiente de variación. Estos estadígrafos se calcularon para la variable densidad básica y para la altura donde se encuentra la densidad básica promedio para los dos grupos de árboles en estudio.

3.3.2 Estadística de inferencia

Para la comparación de las medias de la variable densidad entre los grupos de trozas R/R y C/R, se determinaron los supuestos de normalidad (test Shapiro-wilk) e igualdad de varianza (test Bartlett) para la aplicación del t-student, los cuales no se cumplieron, por lo tanto, se utilizó el test no paramétrico Mann Whitney para dos muestras independiente.

Luego, para determinar la variabilidad de la “altura representativa” entre trozas, se utilizó el test de Bartlett, según Thavatchai *et al.* (2004) es el mejor test de homogeneidad de varianzas, ya que no es afectado por el tamaño de la muestra.

Demostrado el supuesto de normalidad de las variables, se utilizó el test de correlación de Pearson, para determinar la relación entre las desviaciones de densidad de las cuñas con respecto al disco y el porcentaje de madera de compresión.

En la comparación de la densidad de las cuñas con mayor y menor madera de compresión, obtenidas del cuadrante con mayor madera de compresión de cada uno de los discos ubicados en el DAP y la máxima flecha, se utilizó el test paramétrico t-student. Todos los análisis estadísticos consideran un nivel de significancia del 95%.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la agrupación de las trozas dentro de cada uno de los grupos, mediante la evaluación de rectitud efectuada en terreno y la reagrupación de las trozas mediante el método de la máxima flecha, son presentada en el cuadro 2, también se muestran las trozas que fueron agrupadas de igual manera bajo las dos formas de agrupación empleadas.

Cuadro 2. Localización de las trozas dentro de cada grupo, según las dos formas de agrupación empleadas. Los números corresponden sólo a la identificación de cada una de las trozas.

<i>Datos de terreno</i>		<i>max flecha</i>		<i>Trozas repetidas</i>	
curvos/rectos	rectos/rectos	curvos/rectos	rectos/rectos	curvos/rectos	rectos/rectos
4	2	4	2	4	2
5	7	10	5	18	7
6	10	14	6	19	16
9	15	15	7	22	21
11	16	17	9	28	25
12	17	18	11		
13	21	19	12		
14	23	22	13		
18	24	23	16		
19	25	24	21		
22	26	26	25		
28		28			

4.1 Variación de la densidad entre grupos y su tendencia en altura

En la primera etapa del análisis, se esperaba encontrar mayores valores medios de densidad, en el grupo de trozas provenientes de los árboles que fueron curvos en su etapa juvenil, esta hipótesis se basa en estudios realizados sobre *Pinus radiata*, como el de Bannister y Vine (1981) y Donalson *et al.* (2004) quienes observaron presencia de madera de compresión en árboles con algún grado de curvatura en el fuste, además un aumento en los valores de densidad en estos individuos por esta causa.

A la vez se esperaba encontrar una mayor variación de densidad en el grupo C/R, debido a que estas trozas presentaban curvaturas en su etapa juvenil, las que según Nichols (1982) están directamente relacionadas a la cantidad de madera de compresión que el árbol puede contener en su etapa adulta, y como estudios anteriores han indicado que este tipo de madera no se encuentra distribuida homogéneamente (Low, 1964), debiera provocar aumentos de densidad solo en algunos sectores, lo que determinaría una mayor variación de la densidad a lo largo de las trozas.

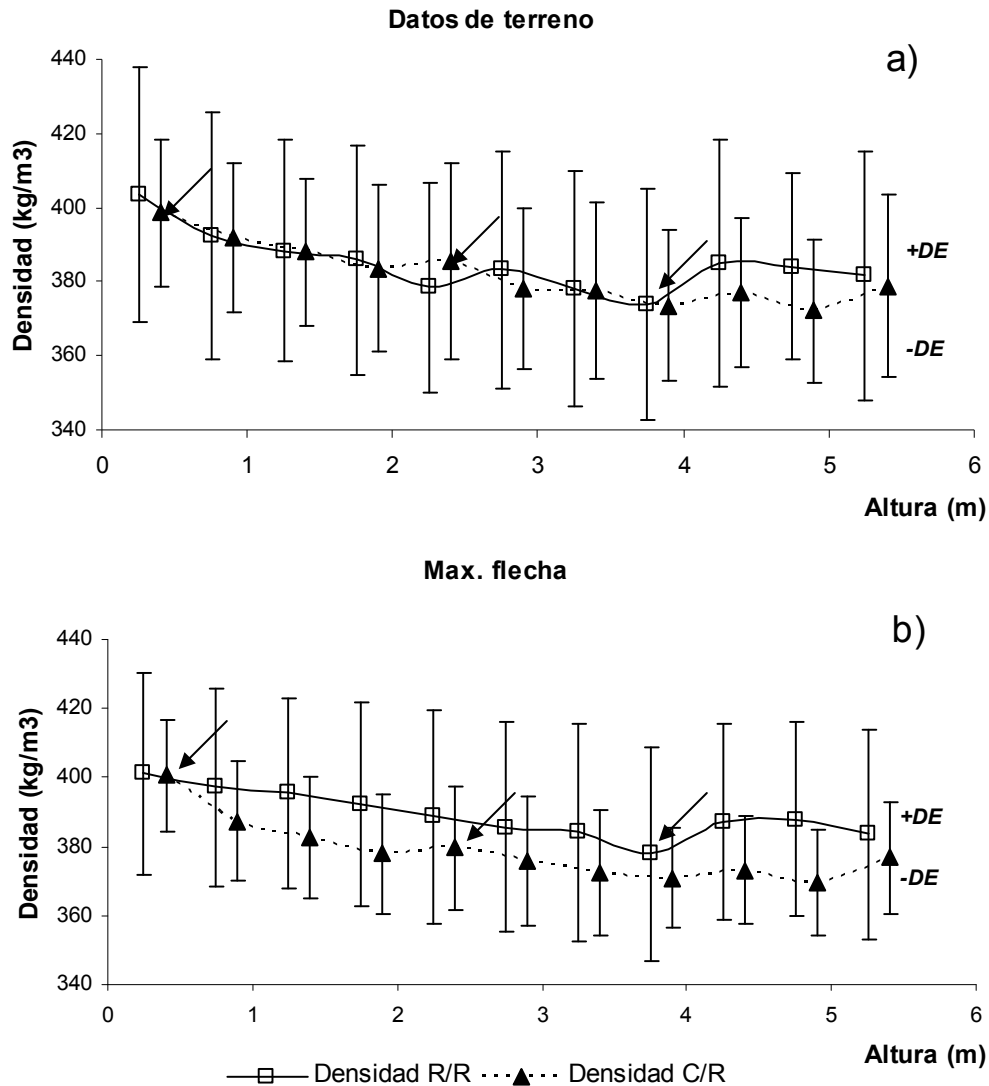


Figura 9. En (a) y (b), se presenta la tendencia y variación de la densidad a lo largo del fuste, cada punto (triángulo o cuadrado) refleja el promedio de densidad de todos los discos, del total de las trozas de cada grupo, agrupadas en rangos de 0,5 m de altura (anexo 3), los dos puntos situados en el mismo rango de altura fueron dibujados separados para su mejor lectura. Las flechas indican las alturas en las cuales se eliminaron algunos discos, debido a que estos se encontraban con gran cantidad de nudos, los que alteran los valores de densidad de la madera.

Los análisis muestran que no existe diferencia estadísticamente significativa en los promedios de densidad, entre los grupos R/R y C/R, para los datos obtenidos desde terreno, pero sí en los datos derivados del método de la máxima flecha.

Se puede observar que en ninguno de los casos se cumple la hipótesis planteada al comienzo de esta sección, debido a que los valores medios presentados en cada uno de los grupos y en las dos formas de agrupamiento de las trozas, no corresponden

necesariamente a la influencia de la madera de compresión, sino que a valores de densidad inherente a cada individuo producto tanto de factores genéticos como medioambientales (Prado y Barros, 1989; Delmastro *et al.* 1980), entonces la diferencia observada entre los grupos con el método de la máxima flecha se debe esencialmente al agrupamiento de las trozas, ya que dentro del grupo R/R se encuentran trozas con altos valores de densidad, en relación a los altos valores de esta variable mostrados en el grupo C/R como la 7, 9 y la 16 y en el caso de los resultados obtenidos con la agrupación de las trozas en terreno no se observan diferencias debido a que los dos grupos presentan trozas con más o menos similares densidad (figura 10).

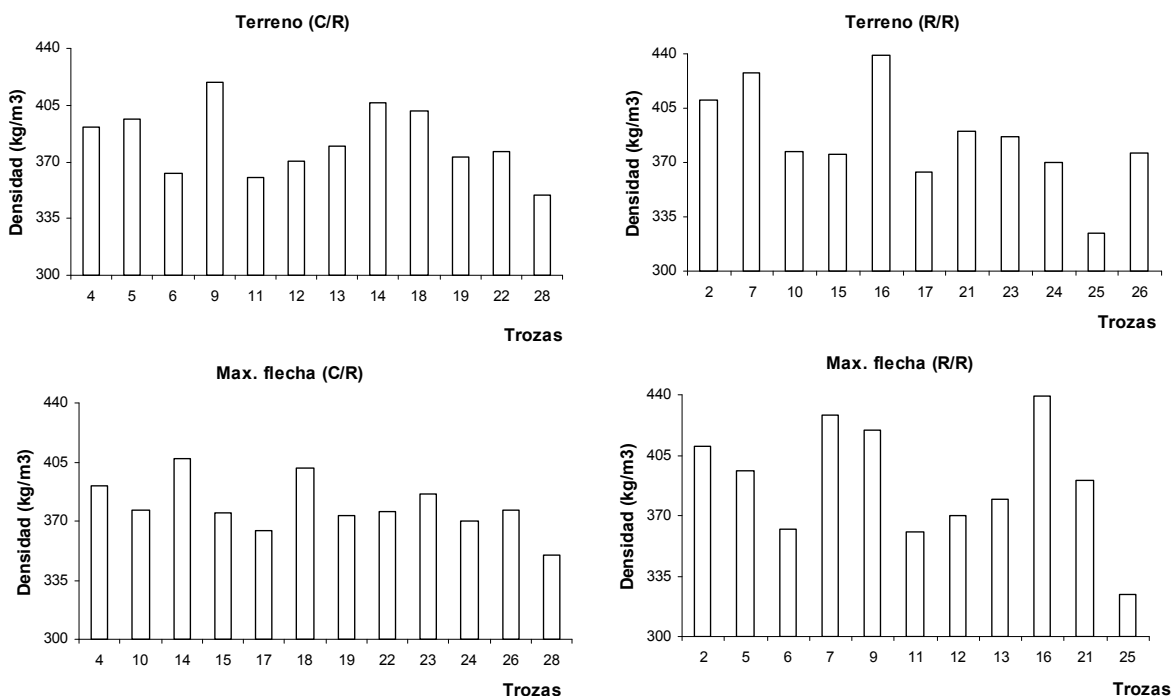


Figura 10. Densidad media de los discos en cada una de las trozas, mostrados por forma de agrupar las trozas y por grupo.

En los dos métodos de agrupación de las trozas, se apreciaron diferencias significativas en las varianzas entre los grupos R/R y C/R, lo cual es respaldado por los valores de los estadísticos de dispersión, que indican una mayor dispersión de los datos en el grupo R/R en comparación al grupo de los C/R (figura 9, 10).

Al igual que en el caso anterior, los valores obtenidos no necesariamente corresponden al efecto de la madera de compresión, sino que a las variaciones de densidad dentro de cada una de las trozas y entre ellas, debido a factores de heredabilidad y condiciones ambientales (Delmastro *et al.* 1980).

En la figura 10, se puede apreciar que la mayor variabilidad presentada en el grupo R/R es motivada por la participación de trozas con valores extremos dentro del grupo, como la número 25 con el valor más bajo y la 16 con el valor más elevado. Se esperaba que los grupos con mayor madera de compresión, mostraran mayor cantidad de oscilaciones desde un valor medio a otro en los diferentes rangos de altura a lo largo de la troza, pero al revisar los datos se observa que estas oscilaciones no son a causa de la madera de compresión sino de la eliminación de algunos discos, debido a la presencia de una gran cantidad de nudos dentro de ellos, esta ausencia de discos provoca aumentos o disminuciones de los valores medios de densidad a ciertas alturas (figura 9).

En general, se observa una mayor densidad en la base de las trozas, luego estos valores disminuyen de forma constante hasta aproximadamente los 4 m para después no presentar mayores variaciones (figura 9).

Estas diferencias de densidad en altura dependen de la participación de madera juvenil y madera madura, ya que a medida que se aumenta de altura en el fuste se presenta una mayor proporción de madera juvenil, la que se caracteriza por presentar menor densidad. En la base se presenta similar participación de madera juvenil y madera madura, lo que determina que los valores de densidad en esta posición sean más altos (Delmastro *et al.*, 1980).

Por otra parte, se puede decir que los valores medios de las trozas, que oscilan entre 324 kg/m^3 y 439 kg/m^3 se encuentran dentro de rangos normales para la especie, como los resultados obtenidos por Rantanen (2005) en *Pinus radiata* de 20 años, quien obtuvo dos discos, uno de cada extremo de la troza, cuyos valores medios fluctuaron entre 370 kg/m^3 y 452 kg/m^3 .

4.2 Altura representativa, relación entre rectitud y madera de compresión

En esta parte de los resultados, se esperaba encontrar mayor variación de densidad dentro de las trozas que conforman el grupo de árboles que fueron curvos en su etapa juvenil, en relación a las trozas del grupo de árboles que siempre fueron rectos. Esta hipótesis se basa en que árboles con algún grado de curvatura en el fuste presentan un aumento en los valores de densidad debido a la presencia de madera de compresión (Nichols, 1982) y a que la madera de compresión en general no se encuentra homogéneamente distribuida, ya que ésta depende del número y grado de las curvaturas a lo largo de la troza (Low, 1964).

Para determinar en que grupo de trozas existen mayores variaciones de densidad, se calculó el promedio de densidad de cada uno de los discos de la troza y se buscó la altura en la cual este valor se encontraba, luego se obtuvo el coeficiente de variación de esta "altura representativa" entre las trozas de cada grupo (anexo 4), este valor se utilizó como un índice para mostrar en que grupo las trozas presentaban mayores variaciones de densidad.

Cuadro 3. Densidad media (\bar{D}) de cada grupo de árboles y variación de la “altura representativa” entre las trozas de cada grupo, representada por el coeficiente de variación.

<i>Datos de terreno</i>				
<i>Grupos</i>	<i>n</i>	\bar{D} <i>trozas</i>	<i>altura de \bar{D}</i>	<i>CV%</i>
Rectos/Rectos	11	385 kg/m ³	2,54 ± 0,86 m	34
Curvos/Rectos	12	383 kg/m ³	2,50 ± 1,43 m	53

<i>Método máxima flecha</i>				
<i>Grupos</i>	<i>n</i>	\bar{D} <i>trozas</i>	<i>altura de \bar{D}</i>	<i>CV%</i>
Rectos/Rectos	11	390 kg/m ³	2,63 ± 1,10m	42
Curvos/Rectos	12	379 kg/m ³	2,46 ± 1,26 m	51
\bar{x} Poblacional		384 kg/m ³	2,54 ± 1,52 m	

Aunque se observan mayores valores de coeficiente de variación en el grupo de árboles C/R, el análisis de varianzas indica que no existen diferencias significativas entre los grupos, para las dos formas de agrupar los datos, lo cual difiere de los resultados encontrados por Nichols (1982) y Low (1964).

Es probable, que estos resultados se deban a que no existan realmente marcadas diferencias en las curvaturas entre los dos grupos de trozas, a causa de la alta subjetividad mostrada por el método utilizado en aquellos años para estimar la forma del fuste en terreno. En la época en que se hicieron estas mediciones la escala de rectitud utilizada consideraba solo 3 categorías, por lo que en muchos casos es evidente, que se cometieran errores de subestimación y sobreestimación de los valores de rectitud. En la actualidad las escalas utilizadas para estimar la forma del fuste consideran 6 categorías de rectitud, de esta manera se reduce la probabilidad de cometer errores al estimar este parámetro ⁽¹⁾.

Otra explicación para estos resultados, es que sin importar la forma en como las trozas se agrupen, las diferencias seguirán siendo estadísticamente no significativas, producto de la baja diferencia de densidad intrínseca de cada individuo.

Por otra parte, se observa que la densidad media de cada troza, está ubicada aproximadamente en la mitad de la troza de 5 m de largo en los dos grupos de trozas, hay que considerar que esto no sólo representa el valor de una sola troza sino el de todas las que son parte de la población, por lo tanto, es posible que en algunas trozas esta altura representativa se ubique a 1,02 m como en otras a 4,06 m.

¹ Pérez E. 2008. Cooperativa de mejoramiento genético. Comunicación personal

4.3 Relación entre densidad y madera de compresión.

En la figura 11, el eje de las ordenadas muestra los porcentajes de las desviaciones de densidad, obtenidas al restar los valores de densidad de las cuñas con mayor y menor madera de compresión, a los valores de densidad del disco del cual fueron extraídas, el que presentó, en todos los casos valores medios de densidad inferiores con respecto a las cuñas, debido a que éste posee cantidades menores de madera de compresión en relación a su área total, en la figura el valor del disco se ve representado por el valor cero del eje Y.

Luego los resultados de las restas fueron transformados en porcentajes, en relación al valor total del disco. Este cálculo fue efectuado en los discos provenientes del DAP y la máxima flecha, de cada una de las trozas de este estudio.

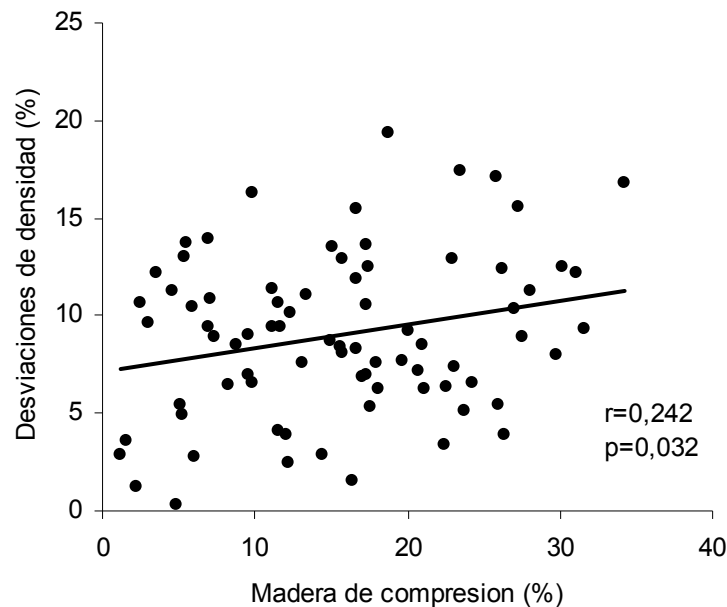


Figura 11. Relación entre los porcentajes de las desviaciones de densidad de las cuñas, con respecto al los discos extraídos, y la cantidad de madera de compresión de cada una de las cuñas.

Como la madera de compresión presenta valores de densidad elevados (Donaldson, 2004), se esperaba que las cuñas con las mayores desviaciones de densidad con respecto al disco del cual fueron extraídas, mostraran al mismo tiempo mayores porcentajes de este tipo de madera, de este modo, se observaría una relación positiva entre los dos valores porcentuales, lo que indicaría en consecuencia una asociación positiva entre densidad y madera de compresión (anexo 5).

Antes de realizar el análisis de correlación se observó que dos de los datos obtenidos desde las cuñas mostraban valores ilógicos, probablemente debido a errores en la medición del porcentaje de madera de compresión, por lo tanto, éstos fueron excluidos (anexo 5).

De esta forma, el 98% de los datos muestran una relación positiva entre los valores porcentuales de las desviaciones y la madera de compresión, con un 95% de confiabilidad estadística, lo que corrobora antecedentes anteriores que señalan una asociación positiva entre densidad y madera de compresión (Harris, 1977; Donaldson, 2004; Nichols, 1982).

La siguiente figura, al igual que la anterior trata de explicar la relación existente entre densidad y madera de compresión, permitiendo observar de forma individual, las diferencias de densidad de las cuñas con mayor y menor cantidad de madera de compresión obtenidas desde el mismo disco.

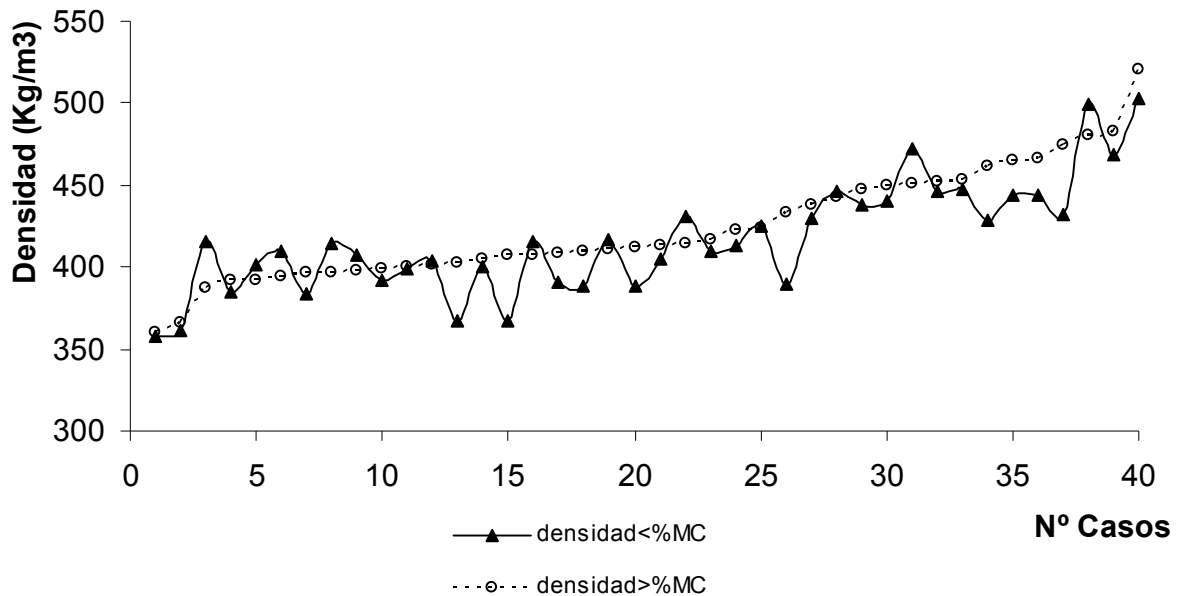


Figura 12. Los “casos” representan a las densidades de las cuñas con mayor y menor madera de compresión obtenidas desde el cuadrante con mayor madera de compresión de cada disco, estos fueron extraídos del DAP y la máxima flecha de cada una de las trozas. Los valores de las cuñas con los mayores porcentajes de madera de compresión fueron dispuestas en orden ascendente.

En estos resultados se esperaba que las cuñas con cantidades de madera de compresión mas elevadas, tengan valores de densidad mayores que las cuñas con una menor cantidad de madera de compresión, lo que indicaría una relación positiva entre densidad y madera de compresión (figura 12).

Los resultados muestran que en el 63% de los casos se presentan diferencias estadísticas significativas entre las cuñas. Donde las cuñas con mayor madera de compresión, muestran una mayor densidad que las cuñas con menor porcentaje de madera de compresión (cuadro 4). Lo que indica que existe correlación positiva entre densidad y madera de compresión, y aprueba antecedentes anteriores que señalan una asociación positiva entre estas variables (Harris, 1977; Donaldson, 2004; Nichols, 1982), esto es lógico pensando en el aumento en el espesor de la pared celular hasta en un 26% en madera de compresión severa (Donaldson, 2004).

Es importante señalar que de los 25 casos (63%), 10 muestran un delta de diferencia entre los valores de densidad de las cuñas superior al resto de los casos, este delta aumenta las diferencias encontradas y tiene efecto sobre su significancia estadística.

Cuadro 4. Número y porcentajes de casos, que muestran la relación de densidad entre las cuñas, donde; <: cuñas con mayor madera de compresión presentan valores de densidad menores que las cuñas con menor madera de compresión; =: cuñas con mayor y menor madera de compresión presentan densidades similares; >: cuñas con mayor madera de compresión presentan valores de densidad por sobre las cuñas con menor madera de compresión.

Relación de densidad	Nº Casos	% Casos
<	10	25
=	5	13
>	25	63

En el 38% de los casos no se encontraron diferencias significativas de densidad entre las cuñas con mayor y menor porcentaje de madera de compresión. Como estas cuñas fueron extraídas de un mismo cuadrante dentro del disco, es probable que las diferencias en las cantidades de madera de compresión dentro de éste no hayan sido considerables, además, es posible que dentro de algunos de estos cuadrantes se hayan presentado sólo leves cantidades de este tipo de madera. Según los resultados obtenidos por Donaldson *et al.* (2004) no existe diferencia entre madera de compresión leve y madera opuesta, pero si un aumento hasta de un 22% en madera de compresión severa.

5. CONCLUSIONES

- No se presentaron diferencias significativas entre los valores medios de densidad entre los grupos R/R y C/R, para la agrupación según la evaluación de rectitud en terreno. Pero si según la agrupación de las trozas con el método de la máxima flecha, mostrando un mayor valor el grupo de las trozas R/R, estas diferencias son provocadas por las diferencias intrínsecas de densidad entre las trozas.
- Se encontraron diferencias significativas en la variación de la densidad entre grupos, en las dos formas de agrupar los datos, en los dos casos el grupo con mayor variación fue el grupo de las trozas R/R, estas diferencias se deben a que en este grupo se encontraron las trozas con la mayor y menor densidad de todas las trozas.
- La tendencia de densidad básica en altura siguió patrones considerados normales para la especie (*Pinus radiata*), donde los valores más altos se encontraron cercanos a la base de la troza, para luego presentar una disminución casi constante en altura.
- La altura media representativa del total de las trozas se encontró a los 2,54 m de altura de las trozas y mostró una variación de más menos 1,52 m. No se encontraron diferencias significativas al comparar las varianzas de las “alturas representativas” de la densidad de las trozas, entre los grupos con diferentes patrones de rectitud en su etapa juvenil.
- Se identificó una correlación positiva entre densidad y madera de compresión.
- Por la subjetividad con el método a trasluz se recomienda para un próximo estudio utilizar métodos mas avanzados para la determinación de madera de compresión como RGB (red-green-blue) o con imágenes espectrales, aunque se incurre en un mayor costo estos métodos aumentan la precisión en la toma de datos y se obtienen mejores resultados finales.

6. BIBLIOGRAFIA

- Bannister, M.H; M.H Vine. 1981. An early progeny trial in *Pinus radiata*. 4. Wood density. New Zealand Journal of Forestry Science. 11(3): 221-243.
- Boyd, J.D. 1977. Relationship between fibre morphology and shrinkage of wood. Wood Science and Technology 11: 3–22.
- Brown, H.P.; A.J. Panshin; CC Forsaith. 1949. Textbook of wood technology. Mc Graw Hill. New york. 652 p.
- Centro Información Recursos Naturales (CIREN). 1999. Estudio Agrológico de la provincia de Valdivia-X Región. Descripciones de suelos: materiales y símbolos. Santiago, Chile. 389 p.
- Delmastro, R.; J. Díaz-vaz.; J. Schlatter.; 1980. Variabilidad de las características hereditarias del *Pinus radiata* (D. Don). Revisión bibliográfica. Investigación y desarrollo forestal. Corporación Nacional Forestal. Santiago, Chile. 157 p.
- Delmastro, R.; J. Díaz-vaz.; J. Schlatter.; C. Balocchi 1981. Variabilidad de las características hereditarias del *Pinus radiata* (D. Don). Informe n°3. Investigación y desarrollo forestal. Corporación Nacional Forestal. Valdivia, Chile. 187 p.
- Diaz-vaz, J.E. 2003. Anatomía de maderas. Primera edición. Chile, Marisa Cuneo ediciones. 151p.
- Diaz-vaz, J.E.; A. Fernandez; L. Valenzuela; M. Torres. 2007. Madera de compresión en pino radiata D. Don: I, características anatómicas. Maderas: Ciencia y tecnología. 9(1): 29-43.
- Diaz-vaz, J.E.; F. Ojeda. 1980. Densidad intraincremental de *Pseudotsuga menziesii*. Bosque(Chile). 3(2): 86-95.
- Diaz-vaz, J.E., S. Rodríguez; A. Fernandez; M. Torres. 1992. Madera de compresión en pino radiata, informe final. Informe de convenio N°199. Convenio Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile-Compañía de papeles y cartones fabrica Laja, 96 p.
- Donaldson, LL.; J. Grace; G. Downes. 2004. Whithin-tree variation in anatomical properties of compression wood in radiate pine. IAWA journal. 25(3): 253-271.
- Harris, J.M. 1977. Shrinkage and density of radiata pine compression Wood in relation to its anatomy and mode of formation. New Zealand Journal of Forestry Science. 7(1): 91-106.

- Instituto Nacional de Normalización (INN). 1986. NCh 176/2. Madera-parte 2: Determinación de la densidad. INN. Santiago (Chile). 11 p.
- Instituto Forestal (INFOR). 2005. El sector forestal chileno en una mirada. Instituto de investigación forestal, Valdivia, Chile. 64 p.
- Jovanovski, A; M. Jaramillo; G. Loguercio; S. Antequera. 2002. Densidad de la madera de *Pinus ponderosa* (Dougl. Ex Laws) en tres localidades de Argentina. Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico. Bosque(Chile). 23(2): 99-104.
- Jozsa, L. A.; G. R. Middleton . 1994. A discussion of wood quality attributes and their practical implications. Forintek Canada Corp. Western Laboratory: 42 p.
- Kininmonth, J.A.; L.J. Whitehouse. 1991. Properties and uses of New Zealand *Radiata pine*. Volume one-wood properties. Forest Research Institute. Roturua, New Zealand. (6): 1-28.
- López, A.; A. Gutiérrez. 1991. Propiedades y tecnología de la madera de pino radiata del país vasco. Madrid, España. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. 243 p.
- Low, A. 1964. A Study of Compression Wood in Scots Pine (*Pinus silvestris* L.). Forestry. (37): 179-201.
- Nichols, J.W.P. 1982. Wind action, leaning stems and compression wood in *Pinus radiata* D.Don. Australian forest research. (12): 75-91.
- Panshin, A.J.; C. De Zeeuw. 1980. Textbook of Wood technology. 4th ed. McGraw-Hill Book Co. New Cork. 302-312 p.
- Paz, J.; M. Ceballos. 1966. Propiedades Fundamentales del *Pinus radiata* (D.Don). Proyecto de Investigación CIC N° 2, Informe Final. 60 p.
- Perez, V. 1983. Manual de propiedades físicas y mecánicas de maderas chilenas. Revisión bibliográfica. Investigación y desarrollo forestal. Corporación Nacional Forestal. Santiago, Chile. 452 p.
- Pillow, M.Y. 1941. A New Method of Detecting Compression Wood. Journal of Forestry. (39): 385-387.
- Prado, J.; S. Barros. 1989. *Eucalyptus* principios de silvicultura y manejo. INFOR/CORFO. Santiago, Chile. 199 p.
- Rantanen, M. 2005. Circunferential variation in wood density in *Radiata pine*. Tampere polytechnic. New zealand, Faculty of forestry. 27 p.

- Thavatchai, V.; Sineenart, T.; Chukiat, V. 2004. A comparison of type I error and power of Bartlett's test, Levene's test and Cochran's test under violation of assumptions. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 26(4): 537-547.
- Timell, T.E. 1986. Compression wood in Gimnosperms Springer-Verlag. New York. Volumen 1. Cap7. 706 p.
- Vargas, G.; J.E. Diaz-vaz. 1992. Densidad básica y ancho de anillo afectado por madera de compresión en *Pinus radiata* creciendo en Valdivia-Chile. Simposio *Pinus radiata* investigación en Chile, Universidad Austral de Chile. 386 p.
- Warensjo, M. 2003. Compression wood in Scots pine and Norway spruce - Distribution in relation to external geometry and the impact on dimensional stability in sawn wood. Doctoral thesis. Sweden, University of Agricultural Sciences. 36 p.

ANEXOS

Anexo 1

Abstract and key words

ABSTRACT AND KEYWORDS

The objective of the present study is to determine patterns of variability of density, their relation to the shape of the stem and the existence of compression wood.

Samples used for the study originate from a progeny trial *of open -pollination* which belongs to the company "Forestal Valdivia Company". The study area is located in the 14th Region (Región de los Ríos), commune of La Unión, district of Cumleufú, at the plot of land named Cumleufú Sur (Lat. 40° 8' - Long. 73° 17').

The present study analyzes 12 selected trees, which in their juvenile stage, from six years of age, had a curved stem and 20 years later were straight (C/R). Furthermore it analyzes 11 trees which have been straight in both their juvenile and their adult stage (R/R).

Simultaneously another study was conducted applying the same collection of trees. The logs are regrouped in R/R and C/R, according to the method of the "maximum bow", which is defined as the largest distance between a straight line, drawn from one extreme to another of the logs, and the surface of the log.

To realize the analysis, two discs were extracted from each log: one from the area of the DBH section and another from the area of the maximum bow. Each disc was divided into quadrants. In a further step two wedges were cut out of the quadrant with the highest percentage of compression wood, one from the area of more and one from the area with lower compression wood.

The results of the first analysis do not show any significant difference in average density between the groups. The second study, applying the maximum bow method, shows significant variations between the groups.

The results show significant differences between the variances of the two forms of grouping the data. The group R/R represents higher variability. Additionally, the study identifies a clear tendency towards a decreasing density from the basis of the stem up to the top.

There are no significant differences between the groups regarding to the coefficients of variation of the "representative heights".

The study reveals a positive correlation between density and compression wood and a significant correlation between the derivations of density and compression wood ($r=0,242$). Furthermore there are significant differences between the densities of the wedges and their various degrees of compression wood.

Key words: variability, representative height, DHB section, maximum bow.

Anexo 2

Porcentaje de curvatura de las trozas según el método de la máxima flecha

Cuadro 1. Clasificación de curvatura según el método de la máxima flecha, donde SED representa el promedio de los diámetros menores de la troza.

Troz	SED	Desviación (cm)	% Curvatura
24	2,000	6,68	334
19	1,950	4,51	231
23	2,319	5,19	224
14	2,250	4,94	220
28	2,650	5,66	214
18	1,950	3,31	170
10	3,536	5,98	169
4	2,150	3,38	157
26	2,500	3,91	156
22	2,950	4,46	151
17	2,100	3,07	146
15	3,050	4,14	136
16	2,450	3,27	133
6	3,250	4,33	133
13	4,600	5,11	111
12	3,700	3,87	105
11	2,800	2,90	104
5	3,300	3,13	95
21	2,950	2,58	87
9	3,350	2,73	82
25	3,016	2,42	80
2	2,300	1,71	75
7	4,450	2,33	52

Anexo 3

Densidad y madera de compresión en las trozas

Cuadro 1. Promedio de densidad y madera de compresión en cada una de las trozas.

<i>Troza</i>	<i>Densidad (kg/m3)</i>	<i>DS(kg/m3)</i>	<i>%CV</i>	<i>MC(%)</i>	<i>DS(%)</i>	<i>%CV</i>
16	439,04	9,26	2,11	6,25	3,60	57,63
7	427,91	7,75	1,81	12,81	12,71	99,24
9	419,26	4,45	1,06	17,58	11,03	62,77
2	410,01	8,13	1,98	3,99	2,77	69,57
14	406,65	15,64	3,85	3,22	2,41	74,72
18	401,05	5,84	1,46	11,45	8,84	77,26
5	396,16	8,80	2,22	6,18	3,63	58,71
4	391,04	8,39	2,15	20,08	10,63	52,93
21	390,48	6,60	1,69	14,85	11,31	76,16
23	386,25	8,57	2,22	8,16	5,91	72,38
13	379,55	7,19	1,89	15,21	8,56	56,25
10	376,72	15,72	4,17	9,61	7,04	73,25
26	376,16	4,44	1,18	8,09	4,69	57,93
22	375,92	12,18	3,24	5,56	4,33	78,02
15	374,89	15,32	4,09	11,32	10,23	90,34
19	373,18	15,25	4,09	7,22	4,81	66,64
12	370,35	8,26	2,23	14,56	7,29	50,08
24	370,05	6,05	1,63	5,39	3,72	68,92
17	364,03	13,52	3,71	7,36	5,32	72,26
6	362,48	14,43	3,98	4,93	3,71	75,41
11	360,32	6,79	1,88	12,21	8,36	68,47
28	349,76	9,82	2,81	5,29	5,14	97,06
25	324,40	4,67	1,44	5,26	2,87	54,62

Cuadro 2. Las tablas muestran los promedios de densidad y su desviación a diferentes alturas en las trozas, estos valores medios fueron calculados en rangos de 0,5 m.

terreno				
Rango de altura (m)	\bar{D} R/R (kg/m3)	\bar{D} C/R (kg/m3)	DS R/R (kg/m3)	DS C/R (kg/m3)
[0-0,5[	403,52	398,52	34,570	19,786
[0,5-1[	392,55	391,75	33,277	20,189
[1-1,5[	388,26	388,07	29,816	19,830
[1,5-2[	385,96	383,57	30,983	22,456
[2-2,5[	378,43	385,50	28,412	26,447
[2,5-3[	383,25	377,92	32,047	21,753
[3-3,5[	378,10	377,53	31,717	23,774
[3,5-4[	373,89	373,49	31,241	20,486
[4-4,5[	384,88	376,90	33,368	20,134
[4,5-5[	384,09	372,10	25,125	19,289
[5-5,5]	381,64	378,85	33,551	24,620

max flecha				
Rango de altura (m)	\bar{D} R/R (kg/m3)	\bar{D} C/R (kg/m3)	DS R/R (kg/m3)	DS C/R (kg/m3)
[0-0,5[	401,15	400,79	29,466	16,187
[0,5-1[	397,30	387,40	28,692	17,255
[1-1,5[	395,50	382,66	27,646	17,809
[1,5-2[	392,10	377,86	29,512	17,448
[2-2,5[	388,60	379,70	30,849	17,950
[2,5-3[	385,60	375,99	30,442	18,662
[3-3,5[	384,10	372,40	31,555	18,278
[3,5-4[	377,80	370,77	30,932	14,417
[4-4,5[	387,00	373,15	28,510	15,590
[4,5-5[	387,90	369,45	28,119	15,500
[5-5,5]	383,60	376,69	30,323	16,267

Anexo 4

Altura donde se encuentra la densidad promedio de cada individuo

Alturas donde se encuentra la densidad promedio

Cuadro 1. Resultados para los datos recolectados en terreno

RECTOS/RECTOS			CURVOS/RECTOS		
árbol	altura DB (m)	Densidad(kg/m3)	árbol	altura DB (m)	Densidad(kg/m3)
2	1,390	410,014	4	0,660	391,038
7	1,570	427,906	5	2,230	396,165
10	2,300	376,724	6	4,350	362,476
15	1,765	374,889	9	3,820	419,263
16	1,990	439,044	11	4,780	360,318
17	4,230	364,028	12	3,890	370,353
21	2,330	390,475	13	1,540	379,553
23	3,090	386,253	14	2,280	406,653
24	3,340	370,047	18	1,550	401,053
25	2,850	324,400	19	1,150	373,178
26	3,090	376,156	22	1,350	375,924
Media	2,540	385,449	28	4,760	349,756
Desviación estándar	0,864	31,625	Media	2,697	382,144
CV%	34		Desviación estándar	1,445	21,685
			CV%	53,6	

Cuadro 2. Resultado para los datos obtenidos de la máxima flecha

RECTOS/RECTOS			CURVOS/RECTOS		
árbol	altura DB (m)	Densidad(kg/m3)	árbol	altura DB (m)	Densidad(kg/m3)
2	1,390	410,014	4	0,660	391,038
5	2,230	396,165	10	2,300	376,724
6	2,590	362,476	14	2,280	406,653
7	1,570	427,906	15	1,765	374,889
9	3,820	419,263	17	4,230	364,028
11	4,780	360,318	18	1,550	401,053
12	3,890	370,353	19	1,150	373,178
13	1,540	379,553	22	1,350	375,924
16	1,990	439,044	23	3,090	386,253
21	2,330	390,475	24	3,340	370,047
25	2,850	324,400	26	3,090	376,156
Media	2,635	389,088	28	4,760	349,756
Desviación estándar	1,1039	34,0077	Media	2,464	378,808
CV%	42		Desviación estándar	1,263	15,612
			CV%	51	

Anexo 5

Densidad y madera de compresión en las cuñas

Cuadro 1. Promedio del porcentaje de madera de compresión en las cuñas extraídas desde los discos del DAP (D) y la máxima flecha (F). Fueron obtenidas 2 cuñas de cada disco de las zonas con mayor y menor madera de compresión, desde el cuadrante con mayor presencia de madera de este tipo. En **negrita** datos excluidos.

Árbol	Rodela	Ubicación	Área cuña(cm2)	Área con MC(cm2)	Madera de compresión (%)
2	5	mayor D	4,0	0,8	19,7
2	5	menor D	4,6	0,7	15,6
2	6	mayor F	6,8	1,2	17,3
2	6	menor F	4,4	1,3	30
4	6	mayor D	8,5	1,1	13,4
4	6	menor D	4,8	0,2	4,9
4	11	mayor F	6,4	1,7	26
4	11	menor F	6,5	0,3	5,1
5	4	mayor D	5,5	1,3	23,0
5	4	menor D	5,1	1,4	28,1
5	11	mayor F	4,6	1,2	25,8
5	11	menor F	3,7	1,0	27,5
6	5	mayor D	5,3	1,1	21,0
6	5	menor D	7,4	0,5	7,4
6	10	mayor F	4,6	1,2	26,2
6	10	menor F	4,6	0,1	2,5
7	7	mayor D	7,3	1,3	17,6
7	7	menor D	8,2	1,0	12,1
9	6	mayor D	5,4	1,2	22,5
9	6	menor D	4,5	0,2	4,6
9	10	mayor F	5,5	0,8	15,1
9	10	menor F	4,1	0,1	1,6
11	7	mayor D	5,6	0,9	15,7
11	7	menor D	5,8	1,0	17,3
11	8	mayor F	6,2	1,1	17,4
11	8	menor F	5,4	0,7	13,1
12	4	mayor D	11,6	2,1	18,1
12	4	menor D	6,0	0,1	1,2
12	6	mayor F	7,7	1,3	17,1
12	6	menor F	6,1	0,3	5,3
13	7	mayor D	7,9	1,3	16,7
13	7	menor D	7,2	0,8	11,7
13	11	mayor F	8,5	1,7	20,0
13	11	menor F	5,7	1,2	20,7
14	5	mayor	4,1	1,1	27,3
14	5	menor	3,4	0,1	3,5
15	5	mayor D	6,3	0,9	14,4
15	5	menor D	6,3	1,7	27
15	7	mayor F	5,0	0,5	9,9
15	7	menor F	6,8	0,6	8,3
16	5	mayor D	4,0	1,4	34,2
16	5	menor D	5,6	0,9	15,7

Continuación.....

Árbol	Rodela	Ubicación	Área cuña(cm2)	Área con MC(cm2)	Madera de compresión (%)
16	9	mayor F	4,5	0,7	15,0
16	9	menor F	4,5	0,2	5,4
17	5	mayor D	5,1	1,5	30,2
17	5	menor D	5,5	0,9	16
17	12	mayor F	4,2	1,0	23,5
17	12	menor F	2,6	0,2	5,9
18	5	mayor D	2,8	0,9	31,1
18	5	menor D	4,3	0,1	3,0
18	8	mayor F	2,5	0,2	8,8
18	8	menor F	3,1	0,4	11,6
19	5	mayor D	6,7	0,5	7,1
19	5	menor D	6,0	1,0	16,6
19	7	mayor F	5,6	0,6	11,2
19	7	menor F	5,8	0,7	11,2
21	6	mayor D	8,7	2,0	23,1
21	6	menor D	5,1	0,9	18,0
21	8	mayor F	7,1	0,9	12,2
21	8	menor F	6,2	0,6	9,6
*22	5	mayor D	5,6	1,9	33
22	5	menor D	5,6	1,2	21,1
*22	8	mayor F	4,5	1,4	32
22	8	menor F	4,0	0,9	23,7
23	6	mayor D	3,4	0,6	18,7
23	6	menor D	2,9	0,2	7,0
23	9	mayor F	2,9	0,3	9,9
23	9	menor F	3,2	0,2	5,5
24	4	mayor D	6,7	1,1	16,6
24	4	menor D	5,8	0,4	6,0
24	7	mayor F	6,6	1,6	24,3
24	7	menor F	5,6	1,3	22
25	4	mayor D	7,1	0,2	2,2
25	4	menor D	6,7	0,6	9,6
25	7	mayor F	5,4	0,7	12,3
25	7	menor F	5,8	0,4	7,0
26	5	mayor D	6,1	1,6	26
26	5	menor D	5,4	0,6	11,5
26	7	mayor F	4,7	1,5	31,6
26	7	menor F	4,3	0,7	17,3

Cuadro 2. Desviaciones de densidad en porcentaje, de las cuñas extraídas desde los discos del DAP (D) y la máxima flecha (F). Fueron obtenidas 2 cuñas de cada disco de las zonas con mayor y menor madera de compresión, desde el cuadrante con mayor presencia de madera de este tipo. En negrita datos excluidos.

Árbol	Rodela	Ubicación	Densidad cuña (Kg/m3)	Densidad disco (Kg/m3)	Desviaciones de densidad (%)
2	5	mayor D	443,2	411,6	7,7
2	5	menor D	446,0	411,6	8,4
2	6	mayor F	466,3	410,6	13,6
2	6	menor F	443,5	410,6	8,0
4	6	mayor D	433,6	390,4	11,1
4	6	menor D	389,4	390,4	0,3
4	11	mayor F	410,6	395,1	3,9
4	11	menor F	416,6	395,1	5,4
5	4	mayor D	453,4	401,5	12,9
5	4	menor D	446,9	401,5	11,3
5	11	mayor F	461,3	393,9	17,1
5	11	menor F	429,0	393,9	8,9
6	5	mayor D	401,8	370,4	8,5
6	5	menor D	403,5	370,4	8,9
6	10	mayor F	398,6	354,5	12,4
6	10	menor F	392,3	354,5	10,7
7	7	mayor D	452,2	429,4	5,3
7	7	menor D	446,0	429,4	3,9
9	6	mayor D	450,8	423,7	6,4
9	6	menor D	471,8	423,7	11,3
9	10	mayor F	474,3	417,8	13,5
9	10	menor F	432,6	417,8	3,6
11	7	mayor D	397,8	368,1	8,1
11	7	menor D	407,2	368,1	10,6
11	8	mayor F	408,3	362,9	12,5
11	8	menor F	390,6	362,9	7,6
12	4	mayor D	402,1	378,8	6,2
12	4	menor D	367,7	378,8	2,9
12	6	mayor F	391,5	366,4	6,9
12	6	menor F	384,4	366,4	4,9
13	7	mayor D	422,5	377,6	11,9
13	7	menor D	413,1	377,6	9,4
13	11	mayor F	417,3	382,1	9,2
13	11	menor F	409,6	382,1	7,2
14	5	mayor	482,6	417,6	15,6
14	5	menor	468,3	417,6	12,2
15	5	mayor D	387,6	376,8	2,9

Continuación.....

Árbol	Rodela	Ubicación	Densidad cuña (Kg/m3)	Densidad disco (Kg/m3)	Desviaciones de densidad (%)
15	5	menor D	415,9	376,8	10,4
15	7	mayor F	399,6	374,8	6,6
15	7	menor F	399,3	374,8	6,5
16	5	mayor D	519,9	445,3	16,8
16	5	menor D	502,7	445,3	12,9
16	9	mayor F	480,6	442,1	8,7
16	9	menor F	499,4	442,1	13,0
17	5	mayor D	406,9	361,6	12,5
17	5	menor D	367,2	361,6	1,5
17	12	mayor F	412,1	351,1	17,4
17	12	menor F	388,1	351,1	10,5
18	5	mayor D	447,7	399,1	12,2
18	5	menor D	437,5	399,1	9,6
18	8	mayor F	429,3	395,8	8,5
18	8	menor F	438,1	395,8	10,7
19	5	mayor D	413,9	373,3	10,9
19	5	menor D	431,1	373,3	15,5
19	7	mayor F	407,5	372,5	9,4
19	7	menor F	415,0	372,5	11,4
21	6	mayor D	424,3	394,9	7,4
21	6	menor D	424,7	394,9	7,6
21	8	mayor F	396,8	387,1	2,5
21	8	menor F	414,2	387,1	7,0
*22	5	mayor D	394,0	385,5	2,2
22	5	menor D	409,5	385,5	6,2
*22	8	mayor F	392,5	382,0	2,7
22	8	menor F	401,3	382,0	5,1
23	6	mayor D	464,9	389,4	19,4
23	6	menor D	443,5	389,4	13,9
23	9	mayor F	450,2	387,0	16,3
23	9	menor F	440,0	387,0	13,7
24	4	mayor D	409,2	377,7	8,3
24	4	menor D	388,4	377,7	2,8
24	7	mayor F	396,5	371,8	6,6
24	7	menor F	384,3	371,8	3,4
25	4	mayor D	366,1	361,8	1,2
25	4	menor D	356,3	326,8	9,0
25	7	mayor F	359,8	326,7	10,1
25	7	menor F	357,3	326,7	9,4
26	5	mayor D	405,5	384,4	5,5
26	5	menor D	400,2	384,4	4,1
26	7	mayor F	413,5	378,4	9,3
26	7	menor F	404,7	378,4	7,0

Anexo 6

Madera de compresión en el DAP y la máxima flecha

Cuadro 1. Porcentajes de madera de compresión en cada cuadrante de los discos ubicados en el DAP. .

DAP	Madera de compresión por cuadrante				promedio MC(%)
Trozos	A	B	A	B	
2	2,5	2,5	7,5	2,5	3,75
4	7,5	7,5	2,5	12,5	7,5
5	7,5	2,5	7,5	12,5	7,5
6	7,5	7,5	2,5	7,5	6,25
9	17,5	2,5	12,5	12,5	11,25
11	17,5	17,5	12,5	2,5	12,5
12	12,5	7,5	12,5	17,5	12,5
13	22,5	22,5	17,5	12,5	18,75
15	7,5	2,5	2,5	12,5	6,25
16	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
17	17,5	7,5	2,5	12,5	10
18	12,5	17,5	22,5	7,5	15
19	17,5	7,5	12,5	12,5	12,5
21	2,5	2,5	22,5	7,5	8,75
22	2,5	2,5	2,5	7,5	3,75
23	2,5	2,5	12,5	7,5	6,25
24	2,5	2,5	7,5	2,5	3,75
25	7,5	7,5	7,5	2,5	6,25
26	7,5	7,5	12,5	12,5	10

Cuadro 1. Porcentajes de madera de compresión en cada cuadrante de los discos ubicados en la máxima flecha.

Max. Flecha	Madera de compresión por cuadrante				promedio MC(%)
Trozos	A	B	A	B	
2	2,5	2,5	7,5	2,5	3,75
4	37,5	27,5	17,5	32,5	28,75
5	7,5	2,5	2,5	17,5	7,5
6	2,5	7,5	7,5	7,5	6,25
9	27,5	12,5	27,5	27,5	23,75
11	27,5	22,5	12,5	2,5	16,25
12	17,5	12,5	17,5	17,5	16,25
13	32,5	17,5	7,5	7,5	16,25
15	12,5	2,5	12,5	32,5	15
16	2,5	2,5	7,5	7,5	5
17	12,5	7,5	2,5	2,5	6,25
18	12,5	12,5	32,5	12,5	17,5
19	7,5	12,5	12,5	12,5	11,25
21	7,5	7,5	27,5	17,5	15
22	2,5	2,5	12,5	7,5	6,25
23	2,5	2,5	7,5	7,5	5
24	2,5	2,5	7,5	7,5	5
25	2,5	7,5	7,5	2,5	5
26	7,5	7,5	12,5	12,5	10