

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO MANEJO DE BOSQUES Y MEDIO AMBIENTE



PATRON DE DISTRIBUCION DE LA FIBRA ESPIRAL EN FUSTES
DE *Pinus radiata* D. DON, EN UN RODAL DE 18 AÑOS DE EDAD

POR

RODRIGO JAVIER PEZO TRONCOSO

MEMORIA PARA OPTAR
AL TITULO PROFESIONAL
DE INGENIERO FORESTAL

CONCEPCION - CHILE

1997

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO MANEJO DE BOSQUES Y MEDIO AMBIENTE

PATRON DE DISTRIBUCION DE LA FIBRA ESPIRAL EN FUSTES
DE *Pinus radiata* D. DON, EN UN RODAL DE 18 AÑOS DE EDAD



MEMORIA PARA OPTAR
AL TITULO PROFESIONAL
DE INGENIERO FORESTAL

CONCEPCION - CHILE

1997

PATRON DE DISTRIBUCION DE LA FIBRA ESPIRAL EN FUSTES
DE *Pinus Radiata* D. Don, EN UN RODAL DE 18 AÑOS DE EDAD

Profesor Asesor



Luis Valenzuela Hurtado
Profesor Asociado
Ingeniero de Ejecución
en Maderas, M. Sc., Ph. D.

Profesor Asesor



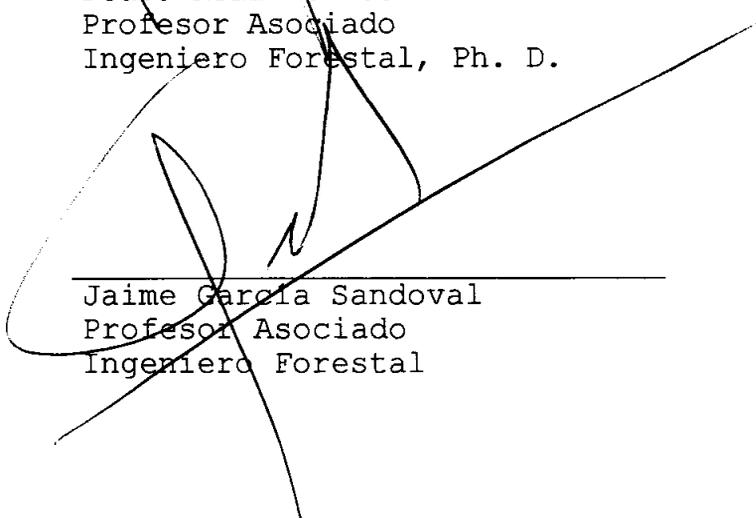
Eduardo Peña Fernández
Profesor Asistente
Ingeniero Forestal, M. Sc.

Director Departamento
Manejo de Bosques y
Medio Ambiente



Pedro Real Hermosilla
Profesor Asociado
Ingeniero Forestal, Ph. D.

Decano Facultad de
Ciencias Forestales



Jaime García Sandoval
Profesor Asociado
Ingeniero Forestal



A mis padres, Gladys y Armando

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a todos quienes hicieron posible la realización de este estudio, en especial :

- A Don Luis Valenzuela, Docente de la Facultad de Ciencias Forestales por su continua orientación y apoyo en la realización de esta tesis de grado.
- A Don Eduardo Peña, Docente de la Facultad de Ciencias Forestales por la cooperación y consejos brindados en la revisión del escrito.

ÍNDICE DE MATERIAS

CAPÍTULOS		PÁGINA
I	INTRODUCCIÓN	1
II	OBJETIVOS	5
	2.1 Objetivo general	5
	2.2 Objetivos específicos	5
III	MATERIALES Y MÉTODOS	6
	3.1 Descripción del área en estudio	6
	3.2 Descripción del rodal en estudio	7
	3.3 Materiales	8
	3.4 Selección de los árboles a medir	9
	3.5 Descripción del método de medición de la fibra en espiral	10
	3.6 Descripción del método de medición de la densidad	15
IV	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
	4.1 Patrón de variación radial	17
	4.2 Patrón de variación en altura	19
	4.3 Patrón de variación radial y en altura	25
	4.4 Comportamiento y distribución de la fibra espiral en el fuste	29

CAPÍTULOS	PÁGINA
4.5 Variables físicas asociadas a la fibra en espiral	31
V CONCLUSIÓN	35
VI RESUMEN	37
SUMMARY	38
VII BIBLIOGRAFÍA	39
VIII APÉNDICE	45



ÍNDICE DE TABLAS

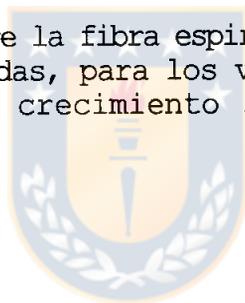
TABLA N°		PÁGINA
	<u>En el texto</u>	
1	Patrón de espiralidad de la fibra según la clasificación de Lowery (1966)	14
2	Función polinómica para los valores promedios y absolutos promedios de fibra espiral	24
3	Criterios de selección de las funciones ajustadas	34
	<u>En el apéndice</u>	
1A	Estadística de resultados del ángulo de inclinación de la fibra espiral (°) radio Oeste	46
1B	Estadística de resultados del ángulo de inclinación de la fibra espiral (°) radio Este	46
1C	Estadística de resultados del ángulo de inclinación de la fibra espiral (°) combinación radios Este-Oeste	46
2A	Estadística de resultados del ancho del anillo de crecimiento (mm) radio Oeste	47
2B	Estadística de resultados del ancho del anillo de crecimiento (mm) radio Este	47

TABLA N°		PÁGINA
2C	Estadística de resultados del ancho del anillo de crecimiento (mm) combinación radios Este-Oeste	47
3A	Estadística de resultados de la densidad (g/cm ³) radio Oeste	48
3B	Estadística de resultados de la densidad (g/cm ³) radio Este	48
3C	Estadística de resultados de la densidad (g/cm ³) Combinación radios Este-Oeste	48
4A	Estadística de resultados de inclinación de la fibra espiral con la altura radio Oeste	49
4B	Estadística de resultados de inclinación de la fibra espiral con la altura radio Este	49
4C	Estadística de resultados de inclinación de la fibra espiral con la altura combinación radios Este-Oeste	49

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N°		PÁGINA
	<u>En el Texto</u>	
1	Fundo los Alpes, rodal en estudio	7
2A	Instrumento diseñado por Leopold y Peña para medir la inclinación de la fibra espiral	9
2B	Instrumento de Breuil para determinar el volumen por inmersión en mercurio	9
3	Orientación diametral de Este a Oeste y de acuerdo al eje de referencia de las probetas destinadas a la medición de la fibra en espiral	11
4	Seccionamiento de las probetas para la medición de la fibra espiral por anillo de crecimiento	12
5	Patrón de variación radial para los valores de inclinación promedios de fibra espiral por anillo de crecimiento	18
6A	Patrón de variación en altura para los valores promedios de fibra espiral con relación al anillo de crecimiento	20
6B	Patrón de variación en altura para los valores absolutos promedios de fibra espiral con relación al anillo de crecimiento	21
7	Patrón de espiralidad de la fibra a lo largo del fuste y en relación a la altura de poda, para los valores promedios y absolutos promedios de fibra espiral	23

FIGURA N°	PÁGINA
8A	Patrón de variación radial y en altura de la fibra espiral ($^{\circ}$) en relación al anillo de crecimiento 27
8B	Patrón de variación radial y en altura de la fibra espiral ($^{\circ}$) en relación a la distancia desde la médula 28
9	Simulación del comportamiento y distribución de la fibra espiral por medio del modelo matemático diseñado por Xin Tian et al. (1996) 30
10	Relaciones entre la fibra espiral y las variables físicas asociadas, para los valores promedios por anillo de crecimiento 33



I. INTRODUCCIÓN

La fibra en espiral o fibra revirada es un defecto muy común en la madera de numerosas coníferas en el mundo, que reduce las propiedades estructurales y de resistencia de éstas. Se produce por alineamiento anormal de las células, las cuales en vez de ir aproximadamente paralelas al eje del fuste o rama van dispuestas en ángulo (Wangaard, 1950 ; Brazier, 1965 ; Noskowiak, 1968 ; Harris, 1969 ; Cown et al., 1991 ; Cown, 1992a ; Xin Tian et al., 1996).

Árboles con una fibra absolutamente recta son escasos, lo que ha llevado a reconocer que es un patrón normal de crecimiento (Tsoumis, 1981 citado por Peña, 1994 ; Harris, 1989 citado por Xian Tin, 1996 ; Harris, 1973), que difiere en espiralidad entre especies y entre los individuos de una misma especie, normalmente atribuido a una variación genética (Cown et al., 1991).

Sobre las causas de origen de la fibra en espiral existen variados planteamientos que pueden darse para comprender este fenómeno, sin que se logre explicar satisfactoriamente

su ocurrencia. Pero se cree que la inclinación de las fibras es una forma de acomodación de las células al incremento en longitud, después de haberse formado en el cambium (Paul Van Oye citado por Wangaard, 1950).

El patrón de comportamiento de la fibra en espiral es fuertemente variable como lo enfatiza Harris (1989) citado por Cown et al. (1991). Puede inclinarse a mano derecha o izquierda del eje principal del árbol, pudiendo cambiar su grado de inclinación con la altura en el fuste y desde la médula a la corteza (Wangaard, 1950 ; Lowery, 1966 ; Noskowiak, 1963 citado Harris, 1969 ; Fielding, 1967 citado por Bamber y Burley, 1983 ; Woodfin, 1969 ; Koch and Schlieter, 1991 ; Xin Tian et al., 1996).

Junto con los nudos y la densidad, la fibra en espiral provocan las mayores variaciones en la resistencia de la madera. Es por ésto, que muchos investigadores señalan que para obtener adecuados requerimientos de resistencia son esenciales productos con fibra recta, ya que la fibra en espiral provoca una disminución de propiedades como la resistencia a la tensión, compresión y cizalle, y por ende en la calidad del producto a comercializar (Wangaard, 1950;

Brazier, 1965 ; Northcott, 1965 citado por Woodfin, 1969 ; Cown et al., 1991 ; Koch and Schlieter, 1991 ; Cown, 1992a). Afectando la economía del proceso como lo señala investigaciones desarrolladas por Haslett et al. (1991) citado por Cown (1992b).

La presencia de este fenómeno afecta la estabilidad de la madera, produciendo en ésta una mayor contracción longitudinal y torsión durante el secado o producto de cambios atmosféricos. Lo que se ve favorecido por el establecimiento de especies exóticas de rápido crecimiento, en donde se obtienen trozas con una mayor proporción de madera juvenil, en la cual la fibra espiral es más severa (Keating and Gilfedder, 1966 ; Harris, 1965 citado por Bamber y Burley, 1983 ; Harris, 1984 ; Haslett and McConchie, 1986 citados por Kininmonth and Whitehouse, 1991 ; Cown et al., 1991 ; Koch and Schlieter, 1991 ; Cown, 1992a y 1992b).

Mayor longitud en las rotaciones, el establecimiento de especies de lento crecimiento, los tratamientos silviculturales como la poda en el fuste, las prácticas culturales intensivas y la irrigación, y en particular el

mejoramiento genético tienden a reducir la aparición, desarrollo y severidad de la fibra en espiral (Jacobs, 1935 y Paul, 1956 citados por Noskowiak, 1963 ; Brazier, 1965 ; Daniel et al., 1982 ; Boyd, 1968, Smith et al., 1972 y Brazier, 1977 citados por Haygreen y Bowyer, 1982 ; Gerischer y De Villiers, 1963 citados por Bamber y Burley, 1983 ; Cown, 1992a y 1992b).



II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general.

Medir la inclinación de la fibra en espiral a partir de muestras de fustes de un rodal de *Pinus radiata* D. Don de 18 años de edad.

2.2 Objetivos específicos.

- Determinación del patrón de variación radial y el patrón de variación en altura de la fibra en espiral.
- Determinación del patrón de variación radial de la fibra espiral con la altura en el fuste.
- Relacionar la fibra en espiral con la densidad, ancho y distancia desde la médula del anillo de crecimiento.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio.

La información de este estudio fue recolectada desde el Fundo Los Alpes, propiedad del Sr. Julio Hermosilla, el cual se encuentra localizado a 20 km al noroeste de la Comuna de Santa Bárbara, VIII región.

La temperatura media anual en el área de estudio es de 13,8°C, con una media máxima en enero de 29°C, siendo la media en enero de 20,6°C y en julio de 8,3°C. La precipitación media anual es de 1285 mm con 4 meses secos (Almeyda y Sáez, 1958).

El rodal en estudio crece en un suelo derivado de cenizas volcánicas, con topografía de lomajes suaves. Presenta suelos medianamente profundos a profundos y de buen drenaje. La topografía del lugar es de lomajes con pendientes uniformes del 12 % (FIA, 1990).

3.2 Descripción del rodal en estudio.

El rodal en estudio, fue establecido en 1978, teniendo a la fecha una edad de 18 años. Está constituido por la especie *Pinus radiata* D. Don., sin la presencia de sotobosque. Fue plantado con un espaciamiento promedio de 5 m.

El rodal abarca una superficie de 10 ha aproximadamente, con un total de 236 arb/ha y un área basal de 31,0383 m²/ha. Ha sido sometido a las actividades silvícolas de poda y raleo, con tres intervenciones de poda a los 5, 7 y 11 años de edad a una altura de 3, 6 y 12 m respectivamente. Las intervenciones de raleo se han aplicado a los 9, 12 y 18 años de edad (Figura 1).

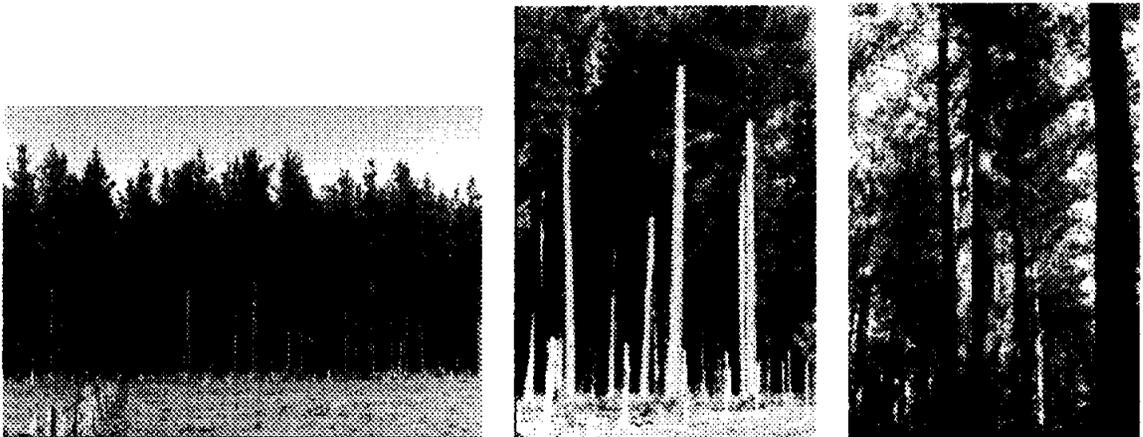


Figura 1. Fundo Los Alpes, rodal en estudio.

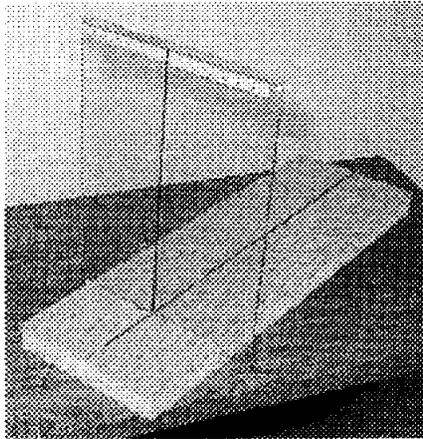
3.3 Materiales.

En la obtención de información en terreno se utilizó el siguiente material :

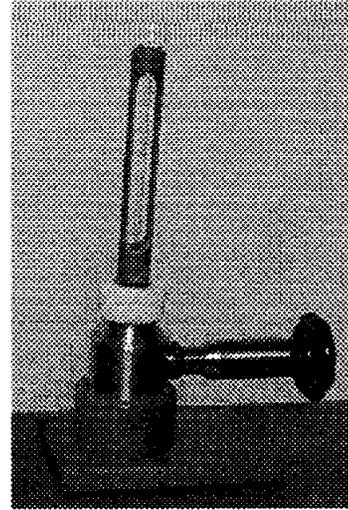
- a. Motosierra para el volteo y trozado de los árboles, y el corte de las rodelas.
- b. Otros materiales como huincha de distancia y elementos de marcar.

En las determinaciones de laboratorio llevadas a cabo en la Universidad de Concepción y Universidad del Bío-Bío, se utilizó el siguiente material :

- a. Instrumento diseñado por Peña y Leopold (Figura 2A).
- b. Instrumento de Breuil (Figura 2B).
- c. Sierra circular y sierra huincha.
- d. Estufa de secado ; con precisión de 5 °C y temperatura máxima de 200 °C.
- e. Otros materiales como formón, bolsas plásticas y elementos de marcar.



A



B

Figura 2. A) Instrumento diseñado por Leopold y Peña para medir la inclinación de la fibra espiral. B) Instrumento de Breuil para la determinación del volumen por inmersión en mercurio.

3.4 Selección de los árboles a medir.

La distribución diamétrica del rodal fue dividida en tres secciones con similar número de árboles por ha, quedando definidas aproximadamente por las siguientes clases diamétricas : de 28-38 cm, de 38-44 cm y de 44-54. Cada una de éstas secciones, a su vez, se dividió en tres subsecciones con similar número de árboles por hectárea. Luego, en cada sección se calculó el diámetro cuadrático medio, el cual representa el árbol de área basal media en

cada una de ellas, obteniéndose un árbol intensivo¹ por sección. De igual forma, se procedió en cada subsección, obteniéndose un árbol extensivo² en cada una de ellas.

3.5 Método de medición de la fibra en espiral.

Un árbol intensivo y extensivo dentro de cada sección se seleccionó en terreno para ser volteado y trozado, obteniéndose rodela de 5-10 cm de espesor a intervalos regulares de 3,20 m de altura en los árboles extensivos y de zonas cercanas a los verticilos en los intensivos . Una vez cortadas las rodela se marcaron para su posterior identificación.

Las rodela se analizaron detenidamente para detectar la presencia de defectos en la madera que pudiesen distorsionar las mediciones, en este caso, se reemplazaron por otras y nuevamente fueron marcadas para su identificación.

1 Intensivo : aquellos árboles que serán seleccionados como muestras para siete estudios diferentes, en los cuales la distancia entre rodela no es absoluta ni relativa.

2 Extensivo : aquellos árboles que serán seleccionados como muestras y de los cuales se obtendrán rodela a una altura absoluta aproximada de 3,2 m.

En laboratorio, las figuras de las probetas necesarias para medir la inclinación de la fibra y de la densidad en distintas posiciones del radio se trazaron en la cara de las rodela una vez medido el ancho de los anillos de crecimiento. Estas marcas se orientaron diametralmente de Este a Oeste, de acuerdo al eje principal del árbol como eje de referencia. Luego, se procedió a cortar las probetas, utilizando para ello una sierra huincha y una sierra circular (Figura 3).

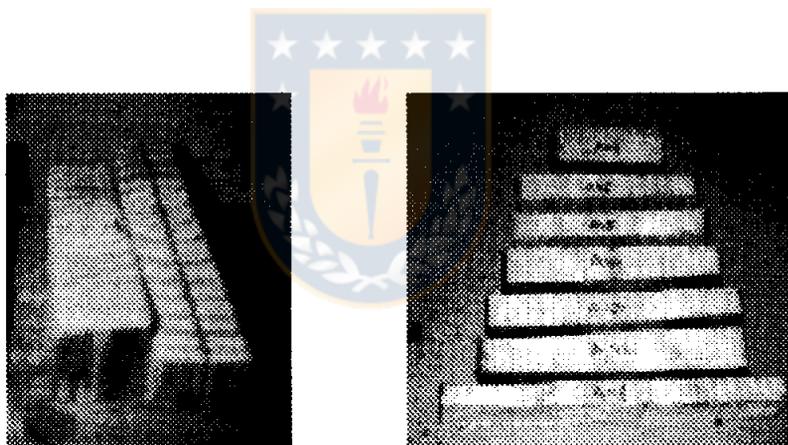


Figura 3. Orientación diametral de Este a Oeste y de acuerdo al eje de referencia de las probetas destinadas a la medición de la fibra en espiral.

En las probetas, se marcaron los anillos en donde se hicieron las mediciones de inclinación de la fibra. La enumeración y marcación se realizó desde la médula hacia la

periferia. Cada una de estas probetas llevó consigo la identificación del trozo de donde provinieron.

La evaluación de la inclinación de la fibra se realizó en planos perfectamente tangenciales, los que se obtuvieron mediante el seccionamiento de la probeta. Se tuvo en consideración que este seccionamiento se realizara en el centro de cada anillo de crecimiento, el que correspondió a la zona de la madera temprana por ocupar ésta la mayor porción del anillo (Figura 4).



Figura 4. Seccionamiento de las probetas para la medición de la inclinación de la fibra espiral por anillo de crecimiento.

El método consiste en copiar mediante un hilo la posición que adquiere la fibra en la cara tangencial de la probeta.

Para lo cual, se utilizó un instrumento que permite apoyar las probetas en un plano perpendicular a la médula sobre una superficie lisa, haciendo coincidir las líneas de referencias trazadas previamente en ellas, con aquella existente en el vidrio del instrumento montado perpendicularmente a la superficie.

Una vez que la probeta está centrada se ubica en la cara tangencial de ésta la presencia de algún canal resinífero, que al ser visible a simple vista y adquirir la misma inclinación de la fibra sirve de guía en la medición. Este procedimiento se siguió en cada una de las probetas y anillos desde la periferia a la médula.

Los patrones de variación desarrollados por la fibra en el fuste fueron definidos utilizando como base de referencia la clasificación de Lowery (1966) para los patrones de espiralidad de la fibra (Tabla 1).

TABLA 1. PATRÓN DE ESPIRALIDAD DE LA FIBRA SEGÚN LA CLASIFICACIÓN DE LOWERY (1966).

PATRONES DE ESPIRALIDAD	DESCRIPCIÓN
1	Incrementa a la izquierda alejándose de cero.
1A	Incrementa a la izquierda y luego decrece hasta un valor cercano a cero.
2	Decrece a la izquierda hasta un valor cercano a cero.
2A	Decrece a la izquierda seguido por un incremento alejándose de cero.
3	Cambia de izquierda a derecha.
4	Espiralidad izquierda relativamente sin cambios.
5	Incrementa a la derecha alejándose de cero.
5A	Incrementa a la derecha y luego decrece hasta un valor cercano a cero.
6	Decrece a la derecha hasta un valor cercano a cero.
6A	Decrece a la derecha seguido por un incremento alejándose de cero.
7	Cambia de derecha a izquierda.
8	Espiralidad derecha relativamente sin cambios.
9	Esencialmente grano recto.

En la simulación del comportamiento y distribución de la fibra espiral a lo largo del fuste se utilizó el modelo matemático diseñado por Xin Tian et al. (1996). Éste fue

desarrollado por medio del método de regresión múltiple no lineal, en el cual un grupo de ecuaciones a diferentes alturas en el fuste se ajustan para representar el patrón de variación de la fibra espiral (Androws, 1974 y Ratowsky, 1989 citados por Xin Tian et al., 1996). El modelo se ajustó por medio de un software estadístico con los datos del estudio.

Se compone de la siguiente forma :

$$Z = b_0 - b_1 \ln(X) + (b_2 - b_3 \ln(X)) * Y - (b_4 - b_5 \ln(X)) * Y^2$$

$$X \geq 1$$

Donde X = Anillo de crecimiento.
 Y = Altura en el fuste (m).
 Z = Inclinación de la fibra espiral (°).
 b₀, ..., b₅ = Parámetros a estimar.

3.6 Descripción del método de medición de la densidad.

Mediante el instrumento de Breuil se determinó el volumen húmedo de las probetas por inmersión en mercurio. El instrumento consta de un vaso cilíndrico de acero con una tapa rosca, en la mitad del cual está fijo un tubo capilar de vidrio. Perpendicular al vaso hay un cilindro montado horizontalmente y en el cual un pistón puede moverse hacia

atrás y adelante mediante un tornillo micrométrico. La muestra de madera se introduce en el vaso del instrumento y se presiona girando el pistón hasta que el mercurio en el tubo capilar llegue a igualar el anillo de ajuste. En seguida, se lee la posición del tornillo micrométrico, para luego retirar la muestra del instrumento. Por último, teniendo apretada la tapa rosca nuevamente el tornillo micrométrico es girado hasta que el mercurio alcanza el anillo de ajuste una vez más. Una segunda medida debe ser tomada y el volumen es obtenido de la diferencia entre la primera y la segunda medida. Posteriormente, las probetas son secadas por 48 horas a 80 °C, o hasta alcanzar peso constante y pesadas luego en seco. La densidad se determina a través de la relación peso seco dividido por volumen húmedo (Pérez, 1983).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Patrón de variación radial.

El patrón de variación radial para los valores de inclinación promedios por anillo de crecimiento desde la médula a la corteza, se aprecia en la figura 5. La fibra en espiral adquiere inclinación inicial en dirección izquierda, incrementando rápidamente en ángulo hasta alcanzar un valor máximo completado el segundo anillo. Luego, desciende subsecuentemente en grado de inclinación con la edad cambial hasta un valor cercano a cero, siempre en dirección izquierda. Por último, cambia de dirección hacia la derecha, incrementando en ángulo a medida que se avanza hacia la corteza desde un valor próximo a cero. Como lo señala Harris (1965) citado por Cown et al. (1991), se produce un quiebre importante entre el anillo n° 1 y 2 que enmascara las tendencias y afecta los resultados. Ambos radios presentan el mismo comportamiento y distribución radial y no difieren significativamente en la magnitud de los ángulos alcanzados por la fibra. El patrón de variación anteriormente descrito es el más comúnmente reportado en

coníferas (Cown et al., 1991 ; Kininmonth and Whitehouse, 1991 ; Nicholls y Brown, 1973 ; Northcoot, 1957 citado por Lowery, 1966 ; Peña, 1994 ; Woodfin, 1969).

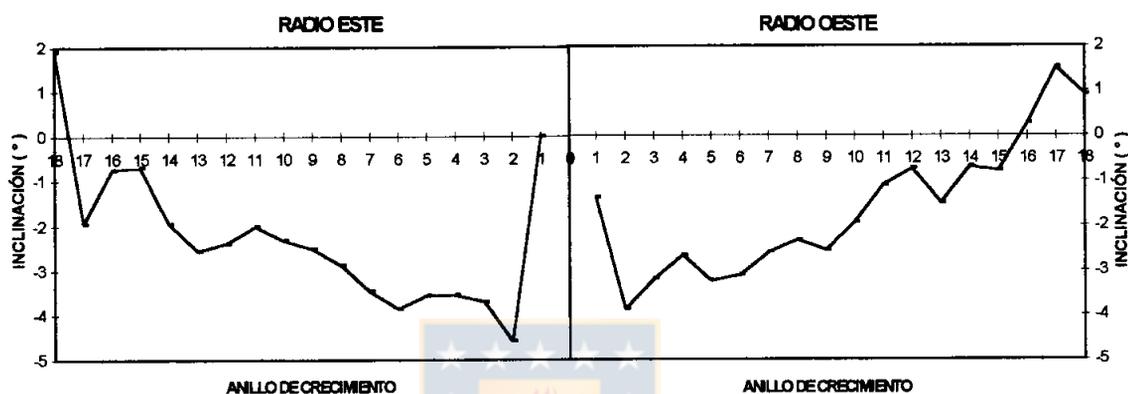


Figura 5. Patrón de variación radial para los valores de inclinación promedio de fibra espiral por anillo de crecimiento.

En la madera juvenil, 10 primeros anillos medidos desde la médula a la periferia, la inclinación de la fibra es claramente superior a la presentada en la madera madura como se puede ver en la figura. Los ángulos en ésta son más leves y adquieren gradualmente inclinación en dirección derecha en la medida que se avanza hacia la corteza.

Peña (1994) utilizando el mismo método de medición de fibra espiral en un rodal de *Pinus radiata* D. Don de 52 años de

edad sin manejo, determinó el mismo patrón de variación radial al presentado en este estudio para los valores promedios, pero con ángulos de inclinación superiores. Ésta menor inclinación de la fibra puede ser debido a la aplicación de tratamientos silvícolas al que ha sido sometido el rodal en estudio o producto de condiciones de sitio diferentes entre ambos rodales.

4.2 Patrón de variación en altura.

En el patrón de variación en altura con relación al anillo de crecimiento, la fibra espiral incrementa en ángulo desde la base del tronco hasta alcanzar un valor máximo, después del cual decrece en inclinación a medida que se asciende en altura. Tanto los valores promedios como los valores absolutos promedios mostraron el mismo patrón de variación (Figura 6A y 6B), siguiendo de esta forma, la tendencia señalada por Brazier (1965), Harris (1973), Cown et al. (1991) y Koch and Schlieter (1991) para los valores promedios de fibra espiral.

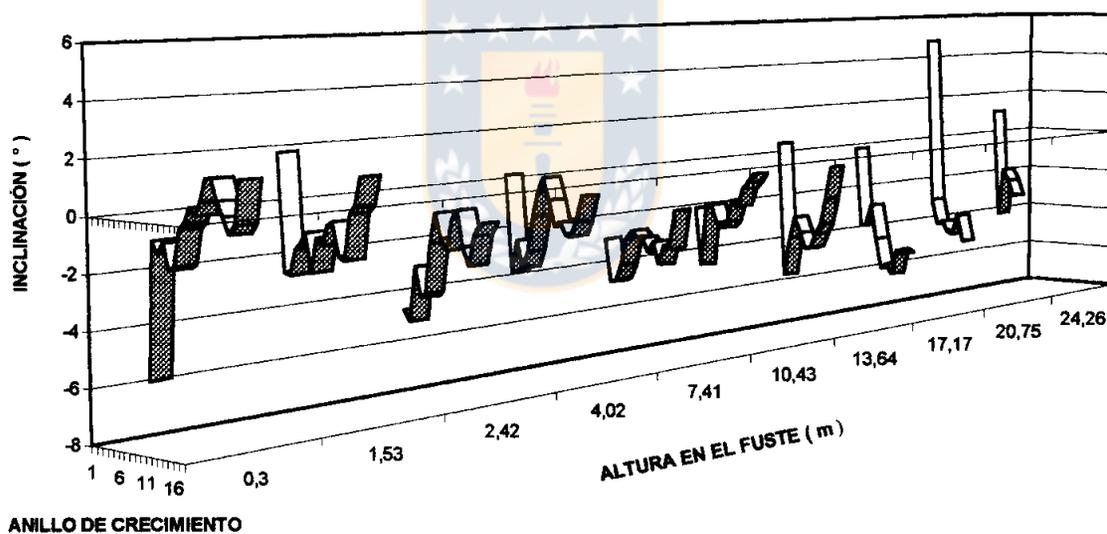
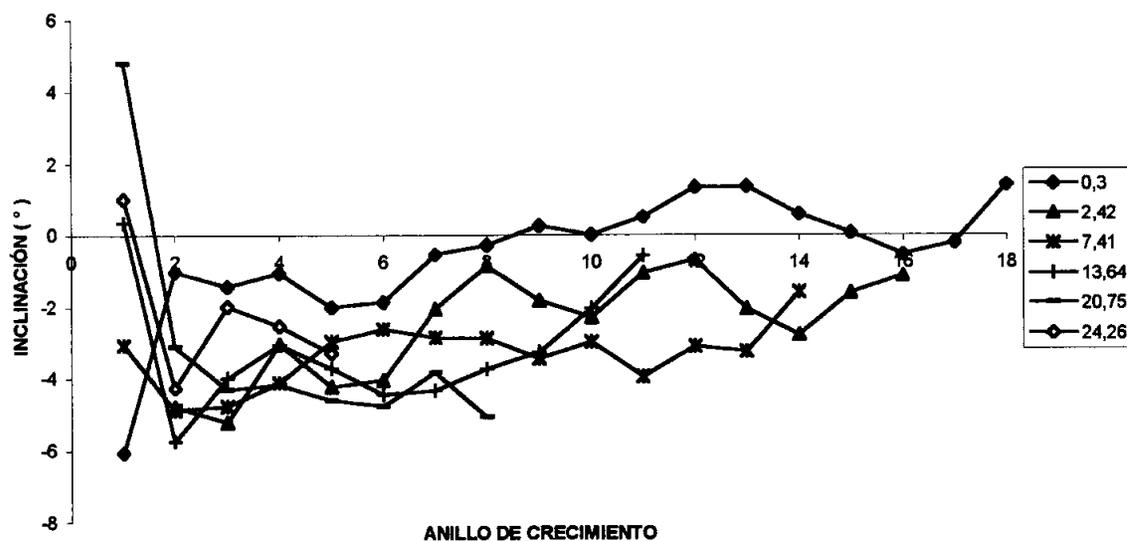


Figura 6A. Patrón de variación en altura para los valores promedios de fibra espiral con relación al anillo de crecimiento (Arriba : modo de líneas 2-D ; Abajo : modo de líneas 3-D).

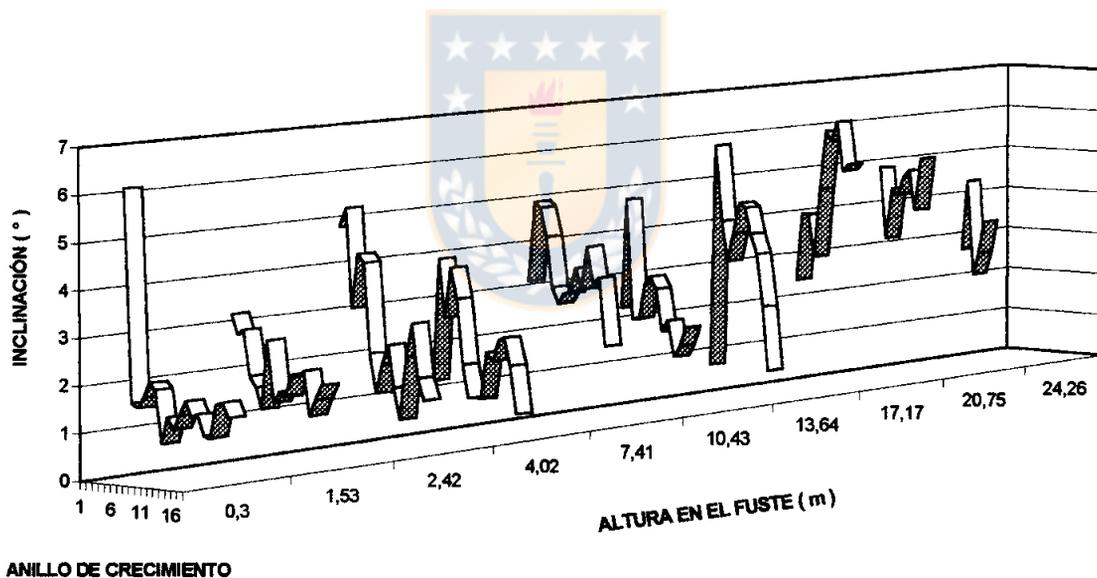
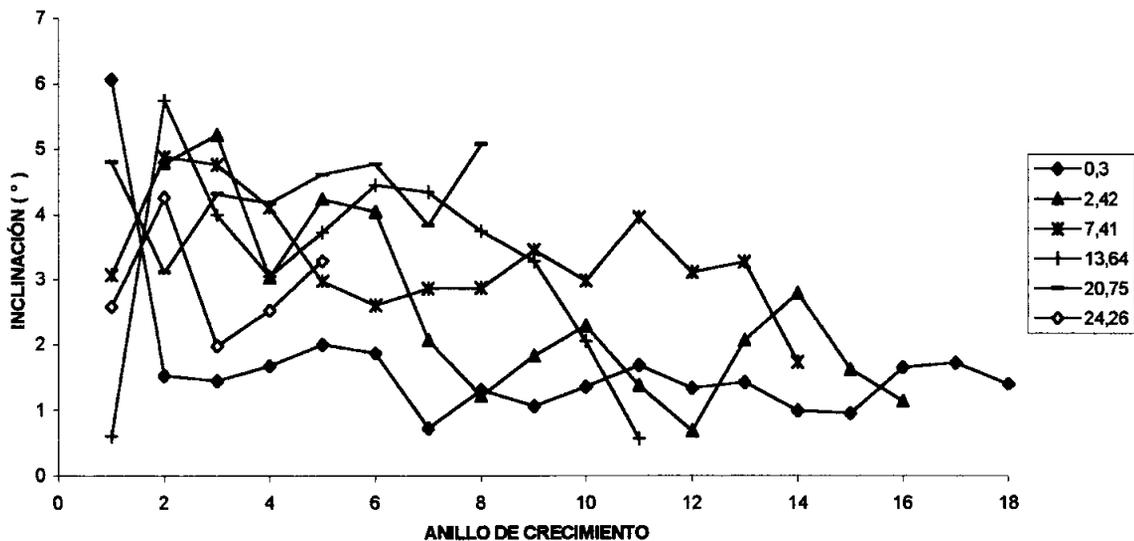


Figura 6B. Patrón de variación en altura para los valores absolutos promedios de fibra espiral con relación al anillo de crecimiento (Arriba : modo de líneas 2-D ; Abajo : modo de líneas 3-D).

La fibra espiral con la altura en el fuste sigue el mismo patrón de variación radial descrito anteriormente. Presenta un fuerte quiebre entre el primer y segundo anillo medido desde la médula a la corteza, luego de lo cual decrece en severidad con la edad cambial.

La figura 7 muestra mediante el trazado de líneas de tendencia polinomiales el patrón de espiralidad que adquiere la fibra a lo largo del fuste y en relación a la altura de poda, para los valores de inclinación promedios y absolutos promedios (Tabla 2).

En ambos casos la magnitud de los ángulos alcanzados por la fibra es mayor sobre los 12 m, altura desde la cual la inclinación incrementa rápidamente hasta alcanzar un valor máximo a una altura de 17,17 m. Con ángulos de $-4,28^\circ$ y $-4,39^\circ$ para los valores promedios de los radios Oeste y Este respectivamente, y de $4,28^\circ$ radio Oeste y $4,80^\circ$ radio Este para los valores absolutos promedios. La espiralidad de la fibra decrece fuertemente una vez superado este máximo valor.

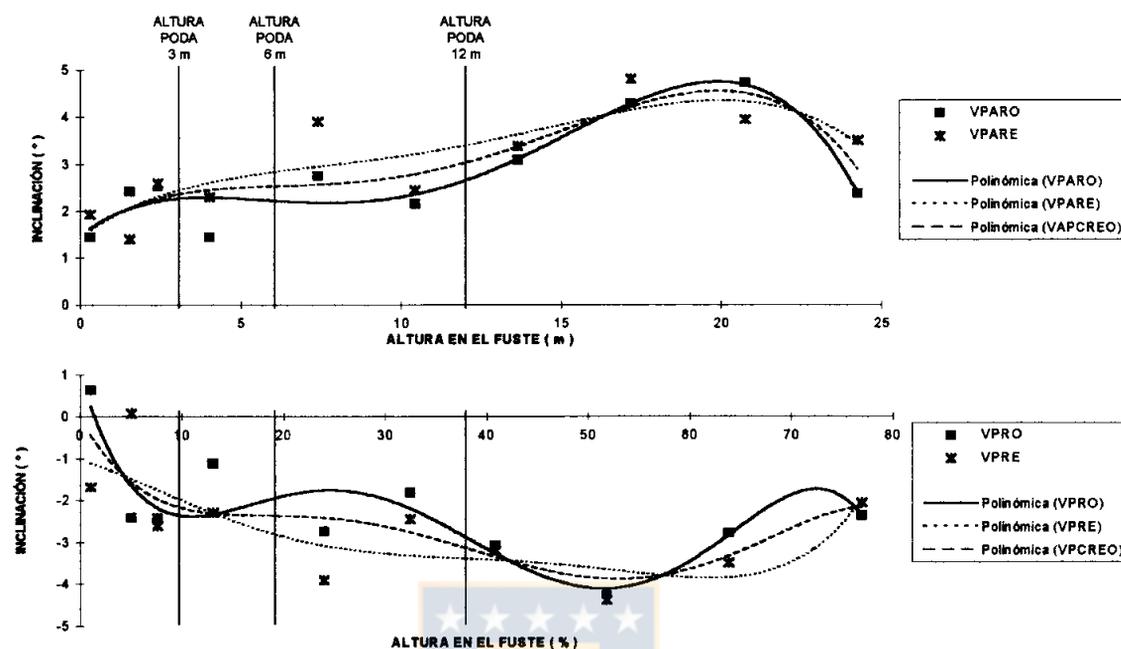


Figura 7. Patrón de espiralidad de la fibra a lo largo del fuste y en relación a la altura de poda, para los valores promedio y absolutos promedios de fibra espiral.

Leyenda :

- VPARE : Valor promedio absoluto radio Este.
- VPARO : Valor promedio absoluto radio Oeste.
- VAPCREO : Valor absoluto promedio combinación radios Este-Oeste.
- VPRE : Valor promedio radio Este.
- VPRO : Valor promedio radio Oeste.
- VPCREO : Valor promedio combinación radio Este-Oeste.

Bajo los 3 m de altura los ángulos son leves, pero aumentan en severidad hasta los 3 m, desde donde la inclinación de la fibra en promedio se mantiene hasta los 6 m de altura, disminuyendo en el radio Oeste e incrementando levemente en el radio Este.

TABLA 2. FUNCIÓN POLINÓMICA PARA LOS VALORES PROMEDIOS Y ABSOLUTOS PROMEDIOS DE FIBRA ESPIRAL.

VALORES PROMEDIOS DE FIBRA ESPIRAL					
RADIO	FUNCIÓN POLINÓMICA	n	R ²	EEE	F
ESTE	$y=3E-8x^5-6E-6x^4+0,0003x^3-0,0053x^2-0,07x-1,0287$	10	0,6200	1,1734	1,3056 *
OESTE	$y=-2E-7x^5+3E-5x^4-0,0023x^3+0,0668x^2-0,8097x-1,00034$	10	0,7615	0,9507	2,5549 *
ESTE-OESTE	$y=-6E-8x^5+1E-5x^4-0,001x^3+0,0307x^2-0,4398x-0,0126$	20	0,5947	0,9366	4,1091 *
VALORES ABSOLUTOS PROMEDIOS DE FIBRA ESPIRAL					
RADIO	FUNCIÓN POLINÓMICA	n	R ²	EEE	F
ESTE	$y=-9E-5x^4+0,0041x^3-0,0626x^2+0,4742x+1,4601$	10	0,7122	0,7617	3,0933 *
OESTE	$y=-0,0002x^4+0,0091x^3-0,1132x^2+0,5178x+1,4941$	10	0,8690	0,5238	8,2897 *
ESTE-OESTE	$y=-0,0002x^4+0,0066x^3-0,0879x^2+0,496x+1,4771$	20	0,7261	0,6195	9,9412 *

* Nivel de confianza de 95 %.

Nota : n = Número de datos R² = coeficiente de determinación
 EEE = Error estándar de estimación
 F = F estadístico.

Sobre los 6 m y bajo los 12 m de altura la magnitud de los ángulos en promedio aumenta, pero suavemente en comparación a la presentada sobre los 12 m.

La inclinación de la fibra en promedio se mantuvo sin incrementar bajo la altura de poda final o sólo lo hizo

parcialmente, inclusive en algunos casos disminuyó. Posiblemente las ramas en el fuste estén estrechamente ligadas al desarrollo espiral de la fibra. Por lo que la aplicación de podas en el fuste tendería a reducir la severidad de la fibra espiral en la madera (Jacobs, 1935 citado por Noskowiak, 1963 ; Gerischer and De Villiers, 1963 citados por Bamber y Burley, 1983).

4.3 Patrón de variación radial y en altura.

El patrón de variación radial con la altura en el fuste que se reportó en el estudio se muestra en la figura 8A y 8B. El patrón que adquiere la fibra en espiral es complejo y variable, está formado principalmente por una inclinación inicial en dirección izquierda de la fibra espiral. Representada, según la clasificación de Lowery (1966), por los patrones de espiralidad 1, 1A, 2, 2A, 3 y 4. En menor ocurrencia se presentó la inclinación inicial en dirección derecha, la cual está conformada por los patrones de espiralidad 5, 5A y 7.

El patrón más comúnmente exhibido en dirección inicial izquierda fue 1A (28,6 %), incrementa a la izquierda y

luego decrece hasta un valor cercano a cero, seguido de 3 (19 %), cambia de izquierda a derecha, y 1 (9,5 %), incrementa a la izquierda alejándose de cero. En dirección inicial derecha el patrón más común reportado fue 7 (21,4 %), cambia de derecha a izquierda, seguido por 5 (7,1 %), incrementa a la derecha alejándose de cero.



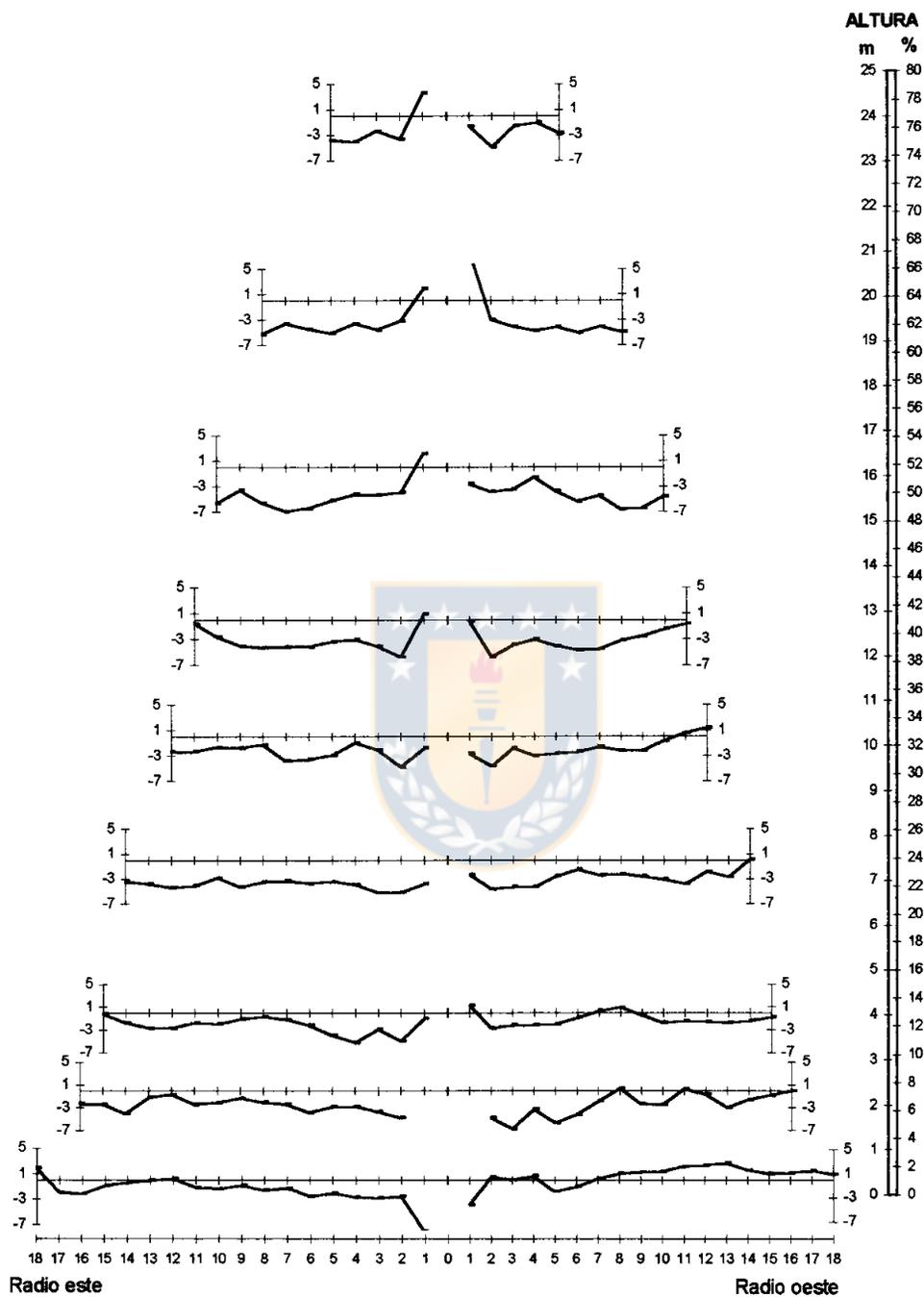


Figura 8A. Patrón de variación radial y en altura de la fibra espiral ($^{\circ}$) en relación al anillo de crecimiento.

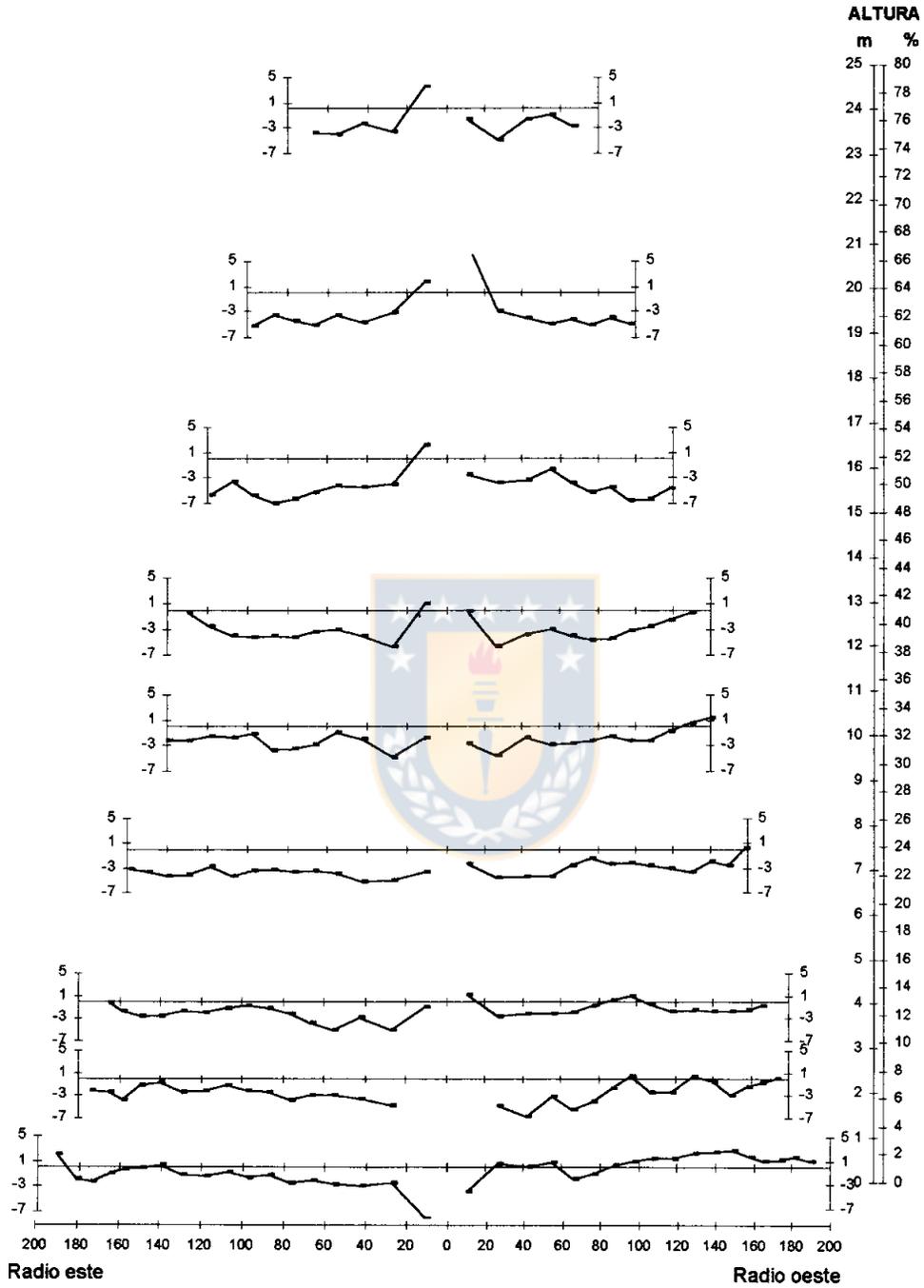


Figura 8B. Patrón de variación radial y en altura de la fibra espiral ($^{\circ}$) en relación a la distancia desde la médula (mm).

La presencia de fibra espiral con inclinación en dirección izquierda es claramente predominante en el fuste y su proporción aumenta a medida que se asciende en altura, cualquiera sea el patrón de espiralidad que adquiriera (Noskowiak, 1963 ; Lowery, 1966 ; Woodfin, 1969).

4.4 Comportamiento y distribución de la fibra espiral en el fuste.

Para una mayor comprensión de los antecedentes expuestos anteriormente como resultado de este estudio, se llevó a cabo la simulación del comportamiento y distribución de la fibra espiral en el fuste, mediante el modelo matemático utilizado por Xin Tian et al. (1996).

La variable dependiente, inclinación de la fibra espiral, quedó explicada en un 73 % por las variables independientes anillo de crecimiento y altura en el fuste. Los valores de los parámetros a estimar fueron los siguientes : $b_0=-3,722$, $b_1=-1,364$, $b_2=-0,335$, $b_3=-0,041$, $b_4=-0,017$ y $b_5=-0,007$.

Su representación se muestra en la figura 9, en donde se aprecia claramente la espiralidad que adquiere la fibra a lo largo del fuste, en la base del cual ésta presenta una

leve inclinación en dirección derecha. A medida que se asciende en altura y de acuerdo al anillo de crecimiento, la inclinación se hace más severa hasta alcanzar un valor máximo (zonas más oscura de la figura) en dirección izquierda, para posteriormente ir gradualmente disminuyendo en severidad con la altura y la edad cambial.

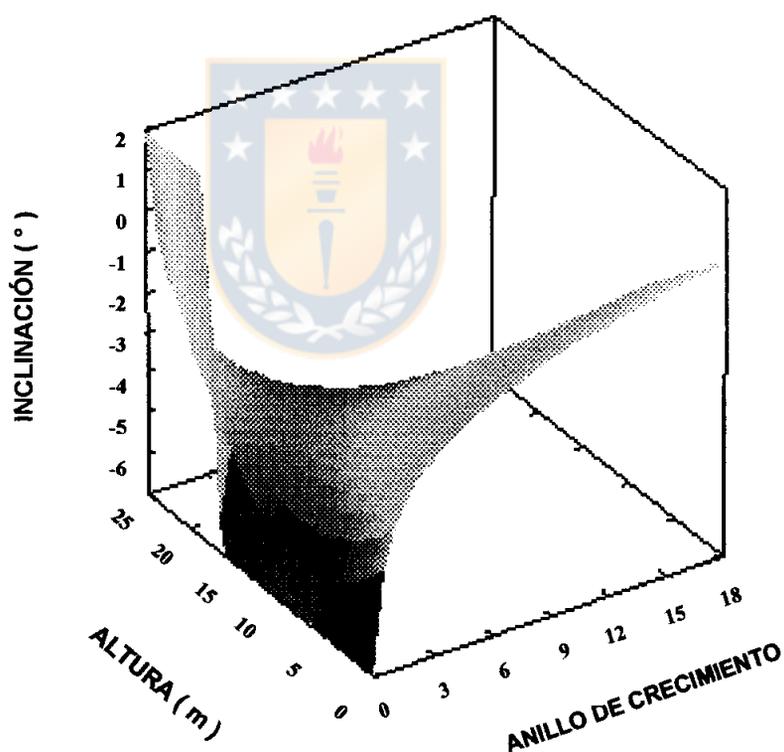


Figura 9. Simulación del comportamiento y distribución de la fibra espiral por medio del modelo matemático diseñado por Xin Tian et al. (1996).

4.5 Variables físicas asociadas a la fibra espiral.

Por medio de un software estadístico se relacionó la inclinación de la fibra espiral con las variables densidad, ancho y distancia desde la médula del anillo de crecimiento, y el factor de densificación, definido como la densidad en el radio alcanzado por el anillo de crecimiento (Figura 10).

Las funciones ajustadas fueron del tipo regresión simple y su elección se realizó en base a los criterios de coeficiente de determinación, error estándar de estimación y F estadístico (Tabla 3).

4.5.1 Relación con el ancho del anillo de crecimiento.

Esta variable mostró la más baja correlación entre las variables físicas analizadas, explicando en un 76,85 % la inclinación de la fibra en espiral. La que fue más leve en dirección derecha y más severa en dirección izquierda en la medida que el ancho del anillo fue mayor. Esta relación es predecible, ya que la inclinación de la fibra tiende a disminuir con la edad cambial, de igual modo que el ancho en el anillo de crecimiento.

4.5.2 Relación con la densidad. La inclinación de la fibra espiral fue explicada en un 86,93 % por la variable densidad. Ésta alta correlación ha sido documentada por Peña (1994), quién estableció que la densidad está estrechamente ligada a los ángulos de espiralidad de la fibra en la madera. Un incremento en el valor de la densidad se traduce en una disminución en la inclinación de la fibra en dirección izquierda y en un aumento en dirección derecha.

4.5.3 Relación con la distancia desde la médula del anillo de crecimiento. Ambas variables mostraron estar fuertemente correlacionadas, siendo la inclinación de la fibra explicada en un 93,48 % por la distancia desde la médula. Al igual que en el ancho del anillo de crecimiento esta relación es predecible, ya que el desarrollo espiral de la fibra está ligado al crecimiento diametral en el árbol. Entre mayor es la distancia desde la médula mayor es la inclinación alcanzada por la fibra en dirección derecha y menor en izquierda.

4.5.4 Relación con el factor de densificación. Esta variable presentó la más alta correlación entre las

variables físicas relacionadas con la inclinación de la fibra, la que fue explicada en un 93,56 % por el factor de densificación. Éste al incrementar en magnitud presenta un aumento en la inclinación de la fibra en dirección derecha y una progresiva disminución en dirección izquierda.

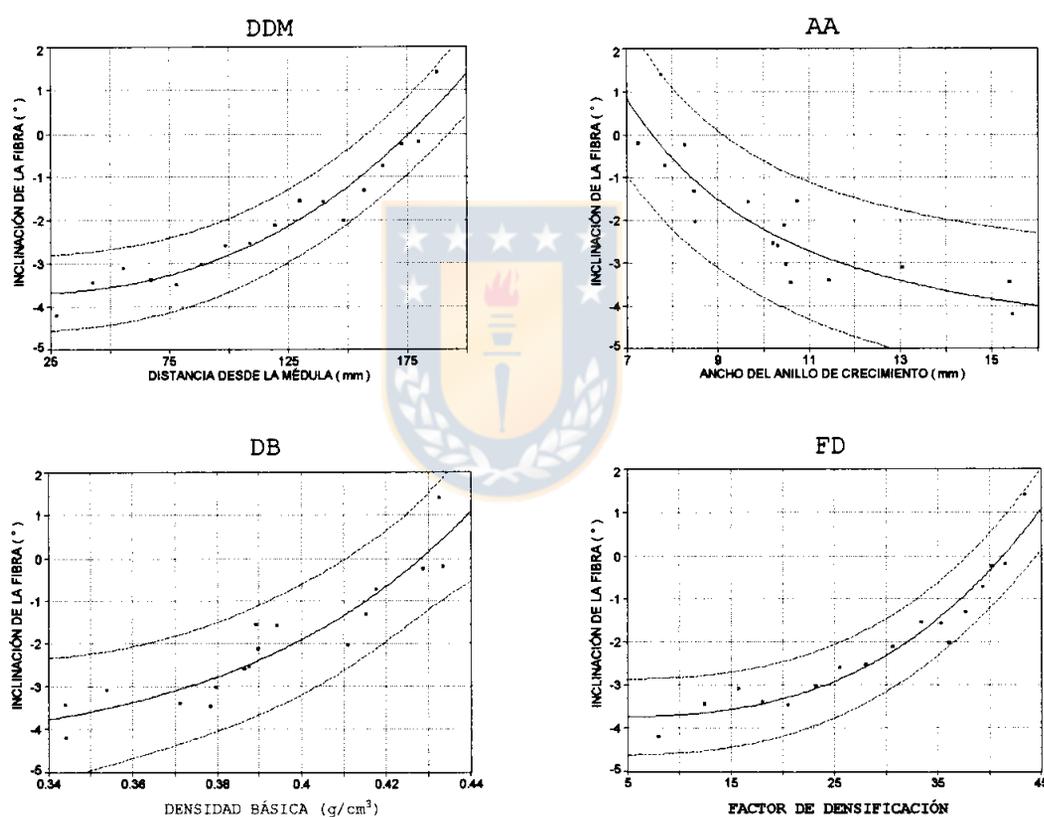


Figura 10. Relaciones entre la fibra espiral y las variables físicas asociadas, para los valores promedios por anillo de crecimiento.

Leyenda :

- DDM : Distancia desde la médula (mm).
- AA : Ancho del anillo de crecimiento (mm).
- DB : Densidad básica (g/cm³).
- FD : Factor de densificación.

TABLA 3. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LAS FUNCIONES AJUSTADAS.

Funciones Ajustadas	Parámetros Estimados	Criterios de Selección		
		R ²	EEE	F
$FE=a+b*FD^3$	a=-3,7634 b=5,2878E-5	0,9356	0,3844	217,8199 *
$FE=a+b*DDM^{2.5}$	a=-3,7224 b=8,9987E-6	0,9348	0,3867	214,9262 *
$FE=a+b*D^c$	a=-4,4809 b=4245,1349 c=8,0879	0,8693	0,5669	46,5397 *
$FE=a+b/AA^2$	a=-5,1663 b=295,0508	0,7685	0,7288	49,7844 *

* Nivel de confianza de 95 %.

Nota : FE = Inclinación de la fibra espiral FD = Factor de densificación
 DDM = Distancia desde la médula
 D = Densidad AA = Ancho del anillo de crecimiento
 R² = Coeficiente de determinación EEE = Error estándar de estimación
 F = F estadístico.

V. CONCLUSIÓN

- La totalidad de los árboles analizados en el estudio presentaron fibra en espiral con una clara predominancia de fibra con inclinación en dirección izquierda.
- El patrón de variación radial de la fibra espiral desarrolló rápidamente una máxima inclinación en dirección izquierda hasta el  segundo anillo de crecimiento, decreciendo posteriormente en inclinación con la edad cambial.
- A lo largo del radio, la magnitud de los ángulos de espiralidad alcanzados por la fibra en dirección izquierda es mayor a la presentada en dirección derecha.
- La madera juvenil, 10 primeros anillos de crecimiento, presentó ángulos bastante más severos a los determinados en la madera madura.
- El patrón de distribución de la fibra a lo largo del fuste fue claramente de espiralidad con inclinación inicial

en dirección izquierda, representado por los patrones 1A, 3 y 1, según la clasificación realizada por Lowery (1966).

- Los ángulos promedios y absolutos promedios alcanzados por la fibra espiral en el fuste fueron notoriamente más severos sobre la altura de poda final, bajo esta altura la inclinación se mantuvo o incrementó sólo levemente. Con una máxima inclinación sobre los 12 m y a una altura de 17,17 m.

- Las variables en las funciones ajustadas mostraron tener una alta correlación, lo que permitiría estimar más fácilmente el ángulo desarrollado por la fibra espiral en trozos o fustes, pudiéndose asociar de esta forma el grado de espiralidad de la fibra con la reducción en las propiedades de resistencia y estabilidad de la madera.

- La densidad de la madera mostró estar estrechamente relacionada con el patrón de variación de la fibra. Un aumento en el valor de la densidad provoca una disminución del ángulo de inclinación de la fibra en dirección izquierda y una progresiva inclinación en dirección derecha.

VI. RESUMEN

La fibra espiral en *Pinus radiata* D. Don presenta un patrón de variación radial bien definido para los valores promedios por anillo, basado en una inclinación inicial en dirección izquierda. Patrón comúnmente reportada en coníferas.

La fibra en el patrón de variación en altura incrementa desde la base del fuste hasta alcanzar un valor máximo, después del cual decrece fuertemente, determinándose los mayores ángulos de inclinación sobre la altura de poda. Posiblemente dado por la aplicación de tratamientos silvícolas al que ha sometido el rodal en estudio.

Las variables como el ancho del anillo de crecimiento, la distancia del anillo desde la médula y la densidad se encuentran estrechamente relacionadas con la fibra espiral.

SUMMARY

The spiral grain in *Pinus radiata* D. Don presents a pattern of clean-looking radial variation for the average values by ring, based on an initial slope in left direction. Usually reported pattern in coniferous.

The fiber in the variation pattern in height increase from the base of the stem until reaching a maximum value, after of which decreases strongly, being determined the greater slope angles on the pruning height. Possibly consider the application of silviculture treatments to which has been submitted the stand in study.

The variables as the broad of the growth ring, the distance of the ring from the pith and the density are found narrowly related to the spiral fiber.

VII. BIBLIOGRAFÍA

1. Almeyda, E. y F. Sáez. 1958. Recopilación de datos climáticos de Chile y mapas sinópticos respectivos. Ministerio de Agricultura, Dirección General de Producción Agraria y Pesquera. Santiago, Chile.
2. Bamber, R. K. and J. Burley. 1983. The Wood Properties of Radiata Pine. Commonwealth Agricultural Bureaux. London. England.
3. Brazier, J. D. 1965. An Assessment of the Incidence and Significance of Spiral Grain in Young Conifer Trees. Forest Products Journal 15(8) : 308-312.
4. Cown, D. J., G. D. Young and M. O. Kimberley. 1991. Spiral Grain Patterns in Plantation-Grown *Pinus radiata*. New Zealand Journal of Forestry Science 21(2/3) : 206-216.

5. Cown, D. J. 1992a. New Zealand Radiata Pine and Douglas Fir : Suitability for Processing. New Zealand Ministry of Forestry. FRI Bulletin No. 168. 74.
6. Cown, D. J. 1992b. Corewood (Juvenil Wood) in ***Pinus radiata***-Should we be Concerned ? New Zealand Journal of Forestry Science 22(1) : 87-95.
7. Daniel, T., J. Helms y F. Baker. 1982. Principios de Silvicultura. Mc.Graw-Hill. México. 492p.
8. FIA. 1990. Proyecto Suelos Forestales de la VIII Región. Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile.
9. Harris, J. M. 1969. On the Causes of Spiral Grain in Corewood of Radiata Pine. New Zealand Journal of Botany 7(3) : 189-213.

10. Harris, J. M. 1973. Spiral Grain and Xylem Polarity in Radiata Pine : Microscopy of Cambial Reorientation. New Zealand Journal of Forestry Science 3(3) : 363-378.
11. Harris, J. M. 1984. Non-destructive Assessment of Spiral grain in standing trees. New Zealand Journal of Forestry Science 14(3) : 395-399.
12. Haygreen, J. G. and J. L. Bowyer. 1982. Forest Products and Wood Science. The Iowa State University Press / Ames.
13. Keating, W. G. and J. J. Gilfedder. 1966. Distribution of Moisture in Treated and Untreated Poles. Forest Products Journal 16(1) : 251.
14. Kininmonth, J. A. and L. J. Whitehouse. 1991. Properties and Uses in New Zealand Radiata Pine. Ministry of Forestry. Forest Research Institute. Roturoa. New Zealand.

15. Koch and Schlieter, P. and J. Schlieter. 1991. Spiral Grain and Annual Ring Width in Natural Unthinned Stands of Lodgepole Pine in North America. United States Department of Agriculture. Forest Service Intermountain Research Station. Research Paper INT-449. 53p.
16. Lowery, D. P. 1966. A Spiral Grain Classification System and Its Application. Forest Products Journal 16(1) : 47-50.
17. Nicholls, J. W. P. and A. G. Brown. 1973. The Relationship Between Ring Width and Wood Characteristics in Double-Stemmed Trees of Radiata Pine. New Zealand Journal of Forestry Science 4(1) : 105-111.
18. Noskowiak, A. F. 1963. Spiral Grain in trees. Forest Products Journal 13(7) : 226-275.

19. Noskowiak, A. F. 1968. Spiral Grain Patterns From Increment Cores. *Forest Products Journal* 18(4) : 57-60.
20. Pérez, V. A. 1983. Manual de Propiedades Físicas y Mecánicas de Maderas Chilenas. CONAF. Documento de Trabajo N° 47. Santiago, Chile. 451p.
21. Peña, F. 1994. Estudio del Grano Espiral, en un Rodal de 52 Años de *Pinus radiata* D. Don. Tesis de Grado. Depto. de Ing. Ejec. en Maderas. Universidad del Bío-Bío. Concepción, Chile.
22. Xin Tian, D. J. Cown and M. J. F. Lausberg. 1996. Modelling of *Pinus radiata* Wood Properties. *New Zealand Journal of Forestry Science* 25(2) : 200-213.
23. Wangaard, F. 1950. *The Mechanical Properties of Wood*. Jhon Wiley & Sons, Inc. New York. 377p

24. Woodfin, R. O. 1969. Spiral Grain Patterns in Coast Douglas-Fir. Forest Product Journal 19(1) : 53-60.



VIII. APÉNDICE

El apéndice contiene la estadística de resultados de los valores promedios de las variables ángulo de inclinación de la fibra espiral, densidad y ancho del anillo de crecimiento para los radios individuales y como combinación de ambos.



TABLA 1A : ESTADÍSTICA DE RESULTADOS DEL ÁNGULO DE INCLINACIÓN DE LA FIBRA

ESPIRAL (°) RADIO OESTE.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Media	-1,37	-3,86	-3,19	-2,66	-3,23	-3,10	-2,59	-2,34	-2,55	-1,93	-1,12	-0,74	-1,49	-0,70	-0,78	0,26	1,52	0,91
Error típico	0,62	0,48	0,36	0,44	0,44	0,49	0,52	0,55	0,53	0,46	0,49	0,52	0,73	0,61	0,46	0,46	1,52	0,91
Desv. estándar	3,18	3,30	2,54	3,07	3,05	3,29	3,40	3,54	3,31	2,78	2,79	2,76	3,65	2,73	1,85	1,53	2,64	1,29
Varianza	10,12	10,87	6,46	9,40	9,32	10,81	11,58	12,55	10,96	7,75	7,78	7,64	13,31	7,46	3,44	2,35	6,97	1,67
Rango	13,52	17,80	11,18	14,24	14,68	16,38	13,23	15,58	13,54	10,55	12,36	11,41	14,95	10,83	7,81	5,79	4,57	1,83
Mínimo	-5,75	-12,93	-7,98	-8,30	-11,2	-11,8	-9,58	-11,0	-9,58	-7,50	-7,02	-6,22	-10,4	-7,02	-4,15	-3,35	0,00	0,00
Máximo	7,77	4,88	3,20	5,94	3,50	4,57	3,66	4,57	3,96	3,05	5,33	5,18	4,57	3,81	3,66	2,44	4,57	1,83
Cuenta	45,00	48,00	49,00	49,00	49,00	45,00	43,00	41,00	39,00	36,00	32,00	28,00	25,00	20,00	16,00	11,00	3,00	2,00

TABLA 1B : ESTADÍSTICA DE RESULTADOS DEL ÁNGULO DE INCLINACIÓN DE LA FIBRA

ESPIRAL (°) RADIO ESTE.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Media	0,00	-4,57	-3,69	-3,55	-3,55	-3,85	-3,46	-2,87	-2,51	-2,32	-2,01	-2,39	-2,56	-1,94	-0,69	-0,74	-1,93	1,90
Error típico	0,95	0,43	0,39	0,41	0,40	0,35	0,47	0,51	0,48	0,53	0,65	0,51	0,47	0,58	0,65	1,13	2,57	1,90
Desv. estándar	4,46	2,96	2,76	2,88	2,82	2,38	3,05	3,28	3,02	3,17	3,66	2,70	2,33	2,58	2,60	3,75	4,45	2,69
Varianza	19,91	8,75	7,63	8,29	7,97	5,67	9,31	10,75	9,13	10,07	13,37	7,32	5,42	6,66	6,77	14,06	19,79	7,26
Rango	18,15	12,75	13,43	11,97	13,80	9,99	14,84	13,84	13,77	14,77	16,61	10,34	9,21	9,98	8,46	14,08	8,24	3,81
Mínimo	-10,53	-12,45	-10,53	-8,62	-8,62	-8,62	-11,49	-9,58	-11,33	-9,90	-10,21	-9,58	-8,30	-8,30	-5,11	-7,98	-7,02	0,00
Máximo	7,62	0,30	2,90	3,35	5,18	1,37	3,35	4,27	2,44	4,88	6,40	0,76	0,91	1,68	3,35	6,10	1,22	3,81
Cuenta	43,00	47,00	49,00	49,00	49,00	45,00	43,00	41,00	39,00	36,00	32,00	28,00	25,00	20,00	16,00	11,00	3,00	2,00

TABLA 1C : ESTADÍSTICA DE RESULTADOS DEL ÁNGULO DE INCLINACIÓN DE LA FIBRA

ESPIRAL (°) COMBINACIÓN RADIOS ESTE-OESTE.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Media	-0,74	-4,21	-3,44	-3,11	-3,39	-3,48	-3,03	-2,60	-2,53	-2,13	-1,56	-1,57	-2,02	-1,32	-0,74	-0,24	-0,21	1,41
Error típico	0,55	0,32	0,27	0,30	0,30	0,30	0,35	0,38	0,36	0,35	0,41	0,38	0,44	0,43	0,39	0,61	1,54	0,91
Desv. estándar	3,84	3,14	2,65	2,99	2,93	2,88	3,24	3,40	3,15	2,97	3,26	2,83	3,08	2,70	2,22	2,84	3,78	1,82
Varianza	14,76	9,84	7,03	8,95	8,58	8,29	10,51	11,57	9,92	8,82	10,61	8,04	9,46	7,28	4,94	8,08	14,29	3,30
Rango	18,30	17,80	13,73	14,56	16,35	16,38	15,15	15,58	15,29	14,77	16,61	14,76	14,95	12,11	8,76	14,08	11,59	3,81
Mínimo	-10,53	-12,93	-10,53	-8,62	-11	-12	-11,49	-11	-11,33	-9,90	-10,21	-9,58	-10	-8,30	-5,11	-7,98	-7,02	0,00
Máximo	7,77	4,88	3,20	5,94	5,18	4,57	3,66	4,57	3,96	4,88	6,40	5,18	4,57	3,81	3,66	6,10	4,57	3,81
Cuenta	88,00	95,00	98,00	98,00	98,00	90,00	86,00	82,00	78,00	72,00	64,00	56,00	50,00	40,00	32,00	22,00	6,00	4,00

TABLA 2A : ESTADÍSTICA DE RESULTADOS DEL ANCHO DEL ANILLO DE CRECIMIENTO (mm)
RADIO OESTE.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Media	12,17	15,31	15,41	13,45	11,65	10,79	10,53	10,18	9,97	9,83	10,70	9,27	8,62	8,83	9,22	8,55	7,00	6,50
Error típico	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,08	0,08	0,08	0,08	0,13	0,23	0,15	0,05
Desv. estándar	0,45	0,40	0,34	0,32	0,30	0,33	0,32	0,29	0,37	0,37	0,44	0,44	0,38	0,34	0,51	0,78	0,26	0,07
Varianza	0,20	0,16	0,11	0,10	0,09	0,11	0,10	0,09	0,13	0,14	0,19	0,19	0,15	0,12	0,26	0,60	0,07	0,01
Rango	18,00	18,50	18,00	15,00	11,50	16,50	15,50	11,00	16,00	18,00	16,00	16,00	14,00	10,50	18,00	29,00	5,00	1,00
Mínimo	2,00	6,50	9,00	7,00	6,50	5,00	4,50	5,00	2,00	2,00	4,00	1,00	3,00	4,00	3,00	2,00	5,00	6,00
Máximo	20,00	25,00	27,00	22,00	18,00	21,50	20,00	16,00	18,00	20,00	20,00	17,00	17,00	14,50	21,00	31,00	10,00	7,00
Cuenta	45,00	48,00	49,00	49,00	49,00	45,00	43,00	41,00	39,00	36,00	32,00	28,00	25,00	20,00	16,00	11,00	3,00	2,00

TABLA 2B : ESTADÍSTICA DE RESULTADOS DEL ANCHO DEL ANILLO DE CRECIMIENTO (mm)
RADIO ESTE.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Media	11,73	15,60	15,37	12,64	11,22	10,40	10,44	10,41	10,42	11,07	10,73	10,07	8,38	8,13	6,44	8,00	7,50	9,00
Error típico	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,09	0,10	0,11	0,16	0,10	0,40
Desv. estándar	0,43	0,43	0,34	0,33	0,35	0,36	0,33	0,39	0,41	0,40	0,38	0,37	0,44	0,46	0,42	0,53	0,17	0,57
Varianza	0,19	0,19	0,11	0,11	0,12	0,13	0,11	0,15	0,17	0,16	0,15	0,13	0,20	0,22	0,18	0,28	0,03	0,32
Rango	17,00	21,00	17,00	18,50	17,50	15,00	13,00	16,00	16,00	17,50	15,00	18,00	23,00	19,00	17,50	15,50	3,00	8,00
Mínimo	3,00	6,00	9,00	7,00	6,00	5,00	5,00	3,50	4,00	4,00	3,00	3,00	2,00	3,00	1,50	2,00	5,50	5,00
Máximo	20,00	27,00	26,00	25,50	23,50	20,00	18,00	19,50	20,00	21,50	18,00	21,00	25,00	22,00	19,00	17,50	8,50	13,00
Cuenta	43,00	47,00	49,00	49,00	49,00	45,00	43,00	41,00	39,00	36,00	32,00	28,00	25,00	20,00	16,00	11,00	3,00	2,00

TABLA 2C : ESTADÍSTICA DE RESULTADOS DEL ANCHO DEL ANILLO DE CRECIMIENTO (mm)
COMBINACIÓN RADIOS ESTE-OESTE.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Media	11,95	15,45	15,39	13,05	11,44	10,59	10,49	10,30	10,20	10,45	10,72	9,67	8,50	8,48	7,83	8,27	7,25	7,75
Error típico	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,09	0,14	0,08	0,18
Desv. estándar	0,44	0,41	0,34	0,32	0,32	0,34	0,32	0,34	0,39	0,39	0,41	0,40	0,41	0,40	0,48	0,65	0,20	0,36
Varianza	0,19	0,17	0,11	0,10	0,10	0,12	0,10	0,12	0,15	0,15	0,17	0,16	0,17	0,16	0,23	0,42	0,04	0,13
Rango	18,00	21,00	18,00	18,50	17,50	16,50	15,50	16,00	18,00	19,50	17,00	20,00	23,00	19,00	19,50	29,00	5,00	8,00
Mínimo	2,00	6,00	9,00	7,00	6,00	5,00	4,50	3,50	2,00	2,00	3,00	1,00	2,00	3,00	1,50	2,00	5,00	5,00
Máximo	20,00	27,00	27,00	25,50	23,50	21,50	20,00	19,50	20,00	21,50	20,00	21,00	25,00	22,00	21,00	31,00	10,00	13,00
Cuenta	88,00	95,00	98,00	98,00	98,00	90,00	86,00	82,00	78,00	72,00	64,00	56,00	50,00	40,00	32,00	22,00	6,00	4,00

TABLA 3A : ESTADÍSTICA DE RESULTADOS DE LA DENSIDAD (g/cm^3) RADIO OESTE.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Media	0,37	0,35	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,41	0,41	0,41	0,41	0,43	0,45
Error típico	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00
Desv. estándar	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,08	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,01
Rango	0,17	0,13	0,14	0,15	0,11	0,15	0,17	0,13	0,15	0,18	0,15	0,48	0,15	0,14	0,12	0,16	0,06	0,01
Mínimo	0,30	0,30	0,28	0,28	0,33	0,30	0,31	0,33	0,32	0,32	0,31	0,04	0,34	0,35	0,36	0,34	0,40	0,44
Máximo	0,47	0,43	0,42	0,43	0,44	0,45	0,48	0,46	0,47	0,50	0,46	0,52	0,49	0,49	0,48	0,50	0,46	0,45
Cuenta	45,00	48,00	49,00	49,00	49,00	45,00	43,00	41,00	39,00	36,00	32,00	28,00	25,00	20,00	16,00	11,00	3,00	2,00

TABLA 3B : ESTADÍSTICA DE RESULTADOS DE LA DENSIDAD (g/cm^3) RADIO ESTE.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Media	0,37	0,34	0,34	0,35	0,37	0,38	0,37	0,38	0,38	0,39	0,39	0,39	0,41	0,42	0,43	0,43	0,44	0,42
Error típico	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04
Desv. estándar	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,02	0,06
Rango	0,14	0,10	0,14	0,14	0,16	0,16	0,14	0,15	0,15	0,16	0,16	0,15	0,22	0,19	0,17	0,16	0,03	0,08
Mínimo	0,31	0,29	0,29	0,26	0,28	0,30	0,30	0,31	0,31	0,30	0,32	0,31	0,28	0,30	0,32	0,34	0,42	0,38
Máximo	0,45	0,39	0,43	0,40	0,44	0,46	0,44	0,46	0,46	0,46	0,48	0,46	0,50	0,49	0,49	0,50	0,45	0,46
Cuenta	43,00	47,00	49,00	49,00	49,00	45,00	43,00	41,00	39,00	36,00	32,00	28,00	25,00	20,00	16,00	11,00	3,00	2,00

TABLA 3C : ESTADÍSTICA DE RESULTADOS DE LA DENSIDAD (g/cm^3) COMBINACIÓN RADIOS ESTE-OESTE

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Media	0,37	0,34	0,34	0,35	0,37	0,38	0,38	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,41	0,42	0,42	0,43	0,43	0,43
Error típico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
Desv. estándar	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04	0,02	0,04
Varianza	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rango	0,17	0,14	0,15	0,17	0,16	0,16	0,18	0,15	0,16	0,20	0,17	0,48	0,22	0,19	0,17	0,16	0,06	0,08
Mínimo	0,30	0,29	0,28	0,26	0,28	0,30	0,30	0,31	0,31	0,30	0,31	0,04	0,28	0,30	0,32	0,34	0,40	0,38
Máximo	0,47	0,43	0,43	0,43	0,44	0,46	0,48	0,46	0,47	0,50	0,48	0,52	0,50	0,49	0,49	0,50	0,46	0,46
Cuenta	88,00	95,00	98,00	98,00	98,00	90,00	86,00	82,00	78,00	72,00	64,00	56,00	50,00	40,00	32,00	22,00	6,00	4,00

TABLA 4A: ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DE INCLINACIÓN DE LA FIBRA ESPIRAL POR ALTURA RADIO OESTE.

ALTURA (%)	1,00	5,02	7,63	13,07	23,98	32,45	40,83	51,82	63,81	76,93
Media	-2,3274	-3,7967	-4,3722	-3,0196	-1,7287	-2,8253	-1,1889	-2,4305	-2,4381	0,8074
Error típico	0,7495	0,6547	0,5583	0,3942	0,3491	0,3160	0,2976	0,4277	0,3031	0,3456
Desv. estándar	3,6719	3,4021	4,0648	3,2027	2,4434	2,8084	2,7761	2,8693	2,0782	2,4682
Varianza	13,4825	11,5741	16,5223	10,2574	5,9700	7,8873	7,7088	8,2329	4,3188	6,0918
Rango	14,6767	16,0706	18,8704	12,6019	12,3846	10,5705	14,9454	10,5416	9,9753	11,7173
Mínimo	-11,1719	-8,2991	-12,9275	-9,0971	-7,6607	-7,9800	-10,3739	-7,3415	-8,2991	-6,3839
Máximo	3,5048	7,7715	5,9429	3,5048	4,7239	2,5905	4,5715	3,2000	1,6762	5,3334
Cuenta	24,0000	27,0000	53,0000	66,0000	49,0000	79,0000	87,0000	45,0000	47,0000	51,0000
Nivel Conf (95%)	1,4690	1,2832	1,0943	0,7727	0,6841	0,6193	0,5833	0,8383	0,5941	0,6774

TABLA 4B: ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DE INCLINACIÓN DE LA FIBRA ESPIRAL POR ALTURA RADIO ESTE.

ALTURA (%)	1,00	5,02	7,63	13,07	23,98	32,45	40,83	51,82	63,81	76,93
Media	-2,6332	-3,9749	-4,9008	-3,4592	-2,5024	-3,9257	-2,3253	-2,5534	-0,1264	-1,5067
Error típico	0,8023	0,4668	0,4164	0,3996	0,3698	0,3775	0,3027	0,3618	0,3461	0,4216
Desv. estándar	3,9306	2,3700	3,0602	3,2219	2,5889	3,3557	2,8238	2,3997	2,3471	3,0111
Varianza	15,4495	5,6169	9,3647	10,3805	6,7024	11,2610	7,9736	5,7586	5,5091	9,0668
Rango	16,2374	9,4893	14,8435	15,4972	12,2466	15,4963	11,9707	11,5136	12,4792	11,7895
Mínimo	-8,6183	-7,6607	-11,4911	-9,10971	-7,9799	-12,4487	-8,6183	-8,6183	-6,3839	-7,9799
Máximo	7,6191	1,8286	3,3524	6,4001	4,2667	3,0476	3,3524	2,8953	6,0953	3,8096
Cuenta	24,0000	26,0000	54,0000	65,0000	49,0000	79,0000	87,0000	44,0000	46,0000	51,0000
Nivel Conf (95%)	1,5725	0,9110	0,8162	0,7832	0,7249	0,7400	0,5934	0,7091	0,6783	0,8264

TABLA 4C: ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DE INCLINACIÓN DE LA FIBRA ESPIRAL POR ALTURA COMBINACIÓN RADIOS ESTE-OESTE.

ALTURA (%)	1,00	5,02	7,63	13,07	23,98	32,45	40,83	51,82	63,81	76,93
Media	-2,4803	-3,8841	-4,6389	-3,2377	-2,1156	-3,3755	-1,7571	-2,4912	-1,2947	-0,3496
Error típico	0,5436	0,4004	0,3467	0,2802	0,2560	0,2493	0,2160	0,2791	0,2583	0,2847
Desv. estándar	3,7659	2,9147	3,5856	3,2075	2,5342	3,1333	2,8495	2,6333	2,4909	2,9760
Varianza	14,1821	8,4956	12,8561	10,2878	6,4221	9,8178	8,1197	6,9341	6,2043	8,6563
Rango	18,7910	16,0706	18,8704	15,4972	12,7038	15,4963	14,9454	11,8183	14,3944	13,3133
Mínimo	-11,1719	-8,2991	-12,9275	-9,0971	-7,9799	-12,4487	-10,3739	-8,6183	-8,2991	-7,9799
Máximo	7,6191	7,7715	5,9429	6,4001	4,7239	3,0476	4,5715	3,2000	6,0953	5,3334
Cuenta	48,0000	53,0000	107,0000	131,0000	98,0000	158,0000	174,0000	89,0000	93,0000	102,0000
Nivel Conf (95%)	1,0654	0,7847	0,6794	0,5493	0,5017	0,4886	0,4234	0,5471	0,5062	0,5775