

U N I V E R S I D A D D E C O N C E P C I O N
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
Departamento Manejo de Bosques y Medio Ambiente



**EFEECTO DE LA FERTILIZACION DE LA PRADERA SOBRE EL TRABAJO
EN FLEXION ESTATICA PARA MADERA DE *Pinus radiata* D.Don DE
16 AÑOS**

Por

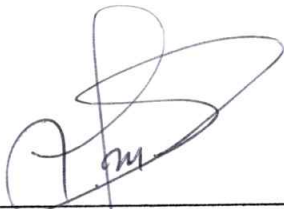
CRISTIAN IGOR DIAZ SANCHEZ

MEMORIA PARA OPTAR
AL TITULO DE
INGENIERO FORESTAL.

CONCEPCION - CHILE
2001


**EFFECTO DE LA FERTILIZACION DE LA PRADERA SOBRE EL TRABAJO
EN FLEXION ESTATICA DE LA MADERA DE *Pinus radiata* D.Don DE
16 AÑOS**

Profesor Asesor



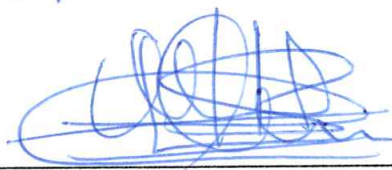
Luis Valenzuela Hurtado
Profesor Asociado
Ingeniero en Maderas;
Ph. D.

Profesor Asesor

Manuel Sánchez Olate
Profesor Asociado;
Ingeniero Forestal; Dr.

Director Departamento
Manejo de Bosques
Y Medio Ambiente



Manuel Lineros Parra
Profesor Asistente;
Ingeniero Forestal; Mg.

Decano Facultad de
Ciencias Forestales



Fernando Drake Aranda
Profesor Asociado;
Ingeniero Forestal.

Calificación de la memoria de título:

Luis Valenzuela Hurtado : 90 (Noventa) puntos.
Manuel Sánchez Olate : 90 (Noventa) puntos.



A Dios

A mis padres

A mis hermanos

Agradecimientos

A mis profesores Don Luis y Don Manuel por su confianza y experiencia transmitida en todo momento de mi carrera.

A mis hermanos Oscar y Graciela, a mis cuñados Carmen y Roberto, a mis sobrinos Lucia, Ximena, Rodrigo, Mariela y Alvarito por estar siempre preocupados de mí en todo momento entregándome cariño y apoyo.

A mis compañeros y amigos de laboratorio Sra. Kishi, Mauricio, Gonzalo, Felipe, Marcelo y Roger.

A mis queridos amigos que compartimos momentos muy lindos en la universidad , que gracias a su apoyo lograron que se terminara esta tesis, que estuvieron a mí lado en etapas muy triste de mi vida y me sacaron adelante a Iván, Sandra, Andrea, Cristina, Paulo, Mauricio, Hernán, Marcos.

A mi mamá y a mi abuelita.

INDICE DE MATERIAS

CAPITULO	PAGINAS
I.	INTRODUCCION..... 1
II.	MATERIALES Y METODOS 8
2.1.	Descripción del estudio 8
2.2.	Sitio de estudio 8
2.3.	Características de los tratamientos 9
2.4.	Estructura del muestreo 13
2.5.	Determinación de propiedad mecánica 14
2.5.1	Flexión estática 14
2.5.2	Determinación de densidades 17
2.6.	Análisis estadístico 18
2.6.1	Hipótesis 18
2.6.2	Diseño experimental 18
2.6.3	Comparación de medias 19
2.7	Regresiones múltiples entre Propiedades en flexión, densidad, ancho de anillo de crecimiento y fibra revirada 20
III.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN 21
3.1.	Resistencia mecánica en flexión 21
3.1.1	Totalidad de árboles muestreados 21
3.2.	Parámetros de energía en flexión 23
3.2.1	Trabajo elástico, plástico y total 24
3.3.	Parámetros comparativo de energía en flexión . 25

3.4.	Relaciones entre MOE, MOR, Densidad de la madera, ancho de anillo de crecimiento y Fibra revirada	27
3.5.	Regresiones lineales múltiples	30
IV.	CONCLUSIONES	34
V.	RESUMEN	35
VI.	SUMMARY	36
VII.	BIBLIOGRAFIA	37
VIII.	ANEXOS	43



INDICE DE TABLAS

TABLA N°	PAGINA
<u>En el texto</u>	
1. Esquema de aplicación de podas y raleos	12
2. Categoría de diámetros establecidos en tres rodales de <i>P. radiata</i> D.Don	13
3. Propiedades físicas y valores de resistencia en flexión para <i>P. radiata</i> D.Don para tres tipos de pradera	22
4. Parámetro comparativo del trabajo elástico, plástico y total para rodales de <i>P. radiata</i> D.Don creciendo en tres tipos de praderas en la VI Región de Chile.	24
5. Parámetros comparativos de energía para rodales de <i>P. radiata</i> D.Don creciendo en tres tipos de praderas en la VI Región de Chile.	26
6. Resultado para correlaciones de ELP, MOE, MOR	28
7. Resultado para correlaciones de Trabajo elástico, plástico y total	28

8.	Resultado para correlaciones de Módulo plástico de Janka, Trabajo específico de Janka y Coeficiente de Tetmajer	29
9.	Regresión lineal múltiple para parámetros de resistencia en flexión	30
10.	Regresión lineal múltiple para trabajo elástico en todos los tratamientos	31
11.	Regresión lineal múltiple para trabajo plástico en todos los tratamientos	31
12.	Regresión lineal múltiple para trabajo total en todos los tratamientos	32
13.	Regresión lineal múltiple para el Módulo plástico de Janka en todos los tratamientos	32
14.	Regresión lineal múltiple para el trabajo específico de Janka en todos los tratamientos	33

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°

PAGINA

En el texto

1. Espaciamiento de los árboles en el ensayo 10
2. Proceso seguido para el ensayo en flexión 16



INDICE DE FIGURAS

FIGURA N° PAGINA

En el anexo

3. Comportamiento gráfico de la madera cuando se aplica carga 44
4. Diagrama que muestra la curva carga-deflexión típica 48
5. Esquema del ensayo de flexión estática 49



I INTRODUCCION

El gran crecimiento del *Pinus radiata* D. Don, lo temprano con que alcanza los máximos de producción en volumen, la calidad muy aceptable de su madera para diversos usos, han propiciado su utilización en muchos países o regiones de la zona templada de todo el mundo. Varios países del hemisferio sur han adoptado a este pino para sus programas de forestación. Entre ellos, merece citarse, en primer lugar, a Nueva Zelanda en su calidad de pionero, que ya en los años veinte y treinta del siglo pasado realizó importantes plantaciones. Después de un período de asentamiento de estas plantaciones, a partir de los años sesenta surge un nuevo interés por esta especie y un relanzamiento de las repoblaciones que se prolonga hasta nuestros días, convirtiendo a Nueva Zelanda en el mayor productor actual de madera de *Pinus radiata* D. Don.

En Australia y Sudáfrica el *Pinus radiata* D. Don ha tenido una buena acogida, si bien a mucha menor escala que en Nueva Zelanda.

Entre los países hispanos del hemisferio Sur figura Chile en primer lugar por la importancia lograda de sus plantaciones con *Pinus radiata* D. Don. Las repoblaciones con esta especie no empezaron con fuerza hasta los años cincuenta, pero ya en el momento actual se ha convertido en el país del mundo con mayores extensiones dedicadas a este árbol, que alcanzan a 1.400.000 hectáreas y representan el

78% del total de la superficie reforestada del país (INFOR, 1997).

Ahora bien, si consideramos que el objetivo principal del bosque es la producción de madera, el silvicultor debe buscar las herramientas que permitan mejorar el uso del suelo y los recursos vegetacionales existentes en el, procurando la protección, conservación y su productividad final. El mejoramiento de la calidad de la madera requiere que el silvicultor intervenga continuamente, efectuando labores como el espaciamiento, controlar la proporción de copa viva y las características de crecimiento deseables dentro de un rodal en desarrollo (Daniel et al., 1982).

La calidad es un término subjetivo y debe ser definido en cualquier contexto. En el caso de la madera, se define generalmente como una medida de las características o atributos inherentes (parámetros de calidad) que influyen las propiedades de los productos forestales que de ella se derivan.

Las intervenciones silvícolas como el raleo, la poda y la fertilización afectan en pequeña o gran medida la densidad de la madera, y esta a su vez se suele asociar con su resistencia mecánica; pero se debe considerar que un aumento de la densidad no conlleva necesariamente a un aumento de las propiedades mecánicas (Daniel et al., 1982).

La fertilización de uso común bajo ciertas condiciones, se orienta a suplir las deficiencias nutricionales que puedan

generar una alteración en el normal desarrollo biológico del rodal (Gray y Kyanka, 1974).

Según Rudman y Mckinnell (1970), los cambios en las condiciones de crecimiento como resultado del tratamiento con fertilización está frecuentemente asociado con cambios en la calidad de la madera.

PROPIEDADES DE LA MADERA AFECTADAS POR LA FERTILIZACIÓN

La fertilización tiene como objetivo principal mejorar la producción en volumen por unidad de superficie, sin dejar de lado los efectos directos que esta practica trae en la calidad de la madera (Cahill y Briggs, 1992). La fertilización provoca cambios en diversas propiedades de la madera atribuibles principalmente al aumento drástico de la tasa de crecimiento de los árboles fertilizados, este efecto se manifiesta en forma inmediata en los árboles y se mantiene por un periodo que puede comprender entre los tres y cinco años, según el tipo de especie tratada y la forma de aplicación; transcurrido este periodo las propiedades de la madera retoman su tendencia normal (McKinnel y Rudman, 1973; Brix y Mitchell, 1983).

EFEECTO DE LA FERTILIZACIÓN SOBRE LA DENSIDAD DE LA MADERA.

Cown y Mcconchie (1980), encontraron que para *Pinus radiata* la densidad varía a través de la altura del árbol como a su vez experimenta un aumento en forma definida desde la médula a la corteza. Valenzuela y Nakayama (1991),

reportaron para árboles con edades entre 20 y 25 años la densidad se incrementa de 0,43 a 0,55 g/cm³ y alcanza valores de 0,579 g/cm³ cerca de la corteza durante los primeros 10 años de crecimiento.

Según Cown y McConchie (1981), la aplicación de fertilizante en *P. radiata* provoca una disminución de la densidad de la madera en los años inmediatamente posteriores a esta aplicación, por su parte Cahill y Briggs (1992), muestran en su estudio que la densidad de la madera sufre una disminución de un 5 a un 16% debido a la fertilización, para posteriormente volver a sus niveles normales después de un periodo de 4 a 6 años, esta disminución es atribuida al cambio de las longitudes de las traqueidas.

Rudman y Mckinnel (1971), señalan que para *P. radiata* la respuesta a la aplicación fertilizantes combinados es un aumento en su crecimiento en los árboles y esto provoca alteraciones en los patrones de densidad dentro de cada anillo de crecimiento.

Puentes (1996), explica que para la especie de *P. radiata* no se encontró un cambio en la densidad de la madera debido a la utilización de la fertilización en los árboles cuando se acompaña de fósforo con nitrógeno, potasio, boro u otra serie de complejos nutricionales, resultados semejantes se muestran en el estudio de Nicholls (1971), indicando que la fertilización con fosfato puede utilizarse en sitios pobres, obteniendo altos volúmenes de madera sin provocar un deterioro en las propiedades.

EFFECTO DE LA FERTILIZACION SOBRE LA CANTIDAD DE LEÑO TARDIO.

Daniel et al., (1982), señala que la diferenciación de los leños producida en el árbol es consecuencia de la alteración de las condiciones fisiológicas internas del árbol, como un reflejo de las variaciones ambientales ocurridas en los diversos ciclos de crecimiento a los que está sometido.

Pinto (1997), indica que la variación del porcentaje de leño tardío tiene valores mínimos de 16% y máximo de 39%, con un promedio general de 29%. Al analizar este tipo de madera respecto a la edad del cambium se encontró que a partir del segundo anillo hasta el anillo nueve aumenta de 16% a 30%, luego se observa un incremento menor. Por su parte Puente (1996), encontró que no existía diferencia significativa en el porcentaje de leño tardío en árboles tratados con diferentes tipos de fertilizantes.

Para otras especies se encontró que el porcentaje de leño tardío disminuye por la aplicación del fertilizante. En *Pseudotsuga menziessii* el porcentaje de leño tardío disminuyó posterior a la aplicación del fertilizante por un periodo de 3 a 4 años (McKinell y Rudman, 1973; Brix y Mitchell, 1980; Pearson y Gilmore, 1980).

Cown y McConchie (1981), muestran en su estudio que en el año posterior de aplicada la fertilización el incremento en el área basal fue de 150%, produciéndose una disminución

del porcentaje de leño tardío. Similar situación encontraron para *P. radiata* Rudman y McKinnel (1971), donde la aplicación de fertilizantes fosforados provocó una baja en el porcentaje de leño tardío.

EFEECTO DE LA FERTILIZACION SOBRE EL ESPESOR DE LA PARED CELULAR.

En *P. radiata*, La mayoría de las especies, presenta diferencias en el espesor de la pared celular en sentido radial y tangencial y entre el leño temprano y leño tardío (Cown, 1975 citado por Moya, 2000).

La fertilización tiene un efecto directo sobre el cambium, alterando no solo la cantidad de células que produce (Brix y Mitchell, 1980), si no también la forma de esta (Erickson y Harrison, 1974 citado por Moya, 2000).

Para la influencia de la fertilización sobre el espesor de pared celular, no existe una teoría clara sobre sus efectos. La variación de la pared celular va a depender del tipo de fertilizante utilizado y del crecimiento inicial que tenga el árbol antes de la aplicación (Willians y Hamilton, 1961; Klen, 1968 citados por Moya, 2000).

EFEECTO DE LA FERTILIZACION SOBRE LA FIBRA REVIRADA.

Según Pezo (1997), señala que la fibra revirada o grano en espiral es el ángulo entre la alineación de las fibras de la madera y el eje longitudinal del fuste, siendo presentado este defecto en la madera en casi todas las

en la utilización de la madera con fibra revirada, juntos con los nudos y la densidad, provocan las mayores variaciones en la resistencia de la madera.

Para la especie *Pseudotsuga menziessii*, Erickson y Arima (1974), citados por Cahill y Briggs (1992), reportan que la fertilización interrumpe la tendencia a la disminución del ángulo fibrilar, produciendo un aumento del ángulo en 2 a 3 grados en árboles con 20 años de edad.

De acuerdo a lo señalado anteriormente, este trabajo se orienta a cuantificar el efecto de la fertilización en la resistencia mecánica en flexión de la madera de *P. radiata* producto de la fertilización propiamente tal de la pradera donde crece el rodal.

La madera utilizada proviene de tres ensayos silvopastorales implementados por CONAF, con el propósito de incorporar nuevos terrenos de baja productividad a la actividad forestal sin descuidar la necesidad de los propietarios por forraje para sus animales.

Los ensayos poseen el mismo esquema de manejo silvícola (Poda y Raleo), pero su diferencia radica en el esquema de fertilización que se empleo para cada ensayo.

II MATERIALES Y METODOS

2.1. Descripción del estudio

El estudio se realizó en Laboratorio Silvotecnológico de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción. La Madera fue proporcionada por CONAF de la VI Región.

Consistió en evaluar el efecto de la fertilización de la pradera en la resistencia a la flexión en estado seco y determinar parámetros de trabajo en flexión a una altura del 25% del DLU en madera de *P. radiata* D. Don.

2.2 Sitio de estudio

CONAF de la VI Región, inició en el año 1983 un programa de investigación en el cual se considera la descripción y análisis de la fertilidad natural de los suelos, para tal efecto se realizaron ensayos silvopastorales en la localidad de Tanumé, que se encuentra a una distancia de 150 Km. al oeste de la ciudad de Rancagua, Chile.

El proyecto considero la implementación de módulos agrosilvopastorales durante el año 1983, donde los árboles de *Pinus radiata* fueron asociados con trigo y manejo de praderas, para luego de un año transformarse en un ensayo silvopastoral con la introducción de bovinos.

El Centro Experimental de Tanumé perteneciente a la CONAF está ubicado en la Comuna de Pichilemu Provincia de Cardenal Caro, VI Región ($34^{\circ}9'$ - $34^{\circ}15'$ latitud sur y $72^{\circ}53'$ - $72^{\circ}59'$ longitud oeste), esta zona presenta un clima templado subhúmedo con gran influencia marítima, además se presentan cuatro meses de sequía; la precipitación media anual es de 705.22 mm, con temperatura media anual de 11.6°C y una humedad relativa de 88.8% (Vargas, 1996).

Arriagada (1998), describe el suelo donde se ubican los ensayos silvopastorales como originarios de sedimentos marinos, los cuales se clasifican dentro del Orden Alfisol y Suborden Xeralfs. Presentando una textura franco arcillosa, de color pardo rojizo oscuro en profundidad. La estructura es de bloques angulares y subangulares y prismáticos en profundidad. Son suelos profundos, susceptibles a erosión de manto y su capacidad de uso se clasifica como IV.

2.3. Características de los tratamientos

En 1983 se establecieron diferentes tipos de tratamientos dentro del ensayo, con el propósito encontrar el mejor esquema de producción integrado entre el pino, pradera y bovinos, por tal razón se establecieron diferentes tipos de praderas. A su vez, en las diferentes praderas establecidas, se evaluó el efecto de la fertilización con elementos como nitrógeno, en forma de superfosfato triple y urea, sobre el desarrollo y producción de la pradera y el bosque.

En un principio el proyecto silvopastoral se inició con el establecimiento de la plantación a una densidad de 625 árboles por hectárea, con un arreglo de cuatro plantas por conglomerado y a una distancia de 2 x 2 m entre plantas y de 6 x 6 m entre conglomerado (Figura 1).

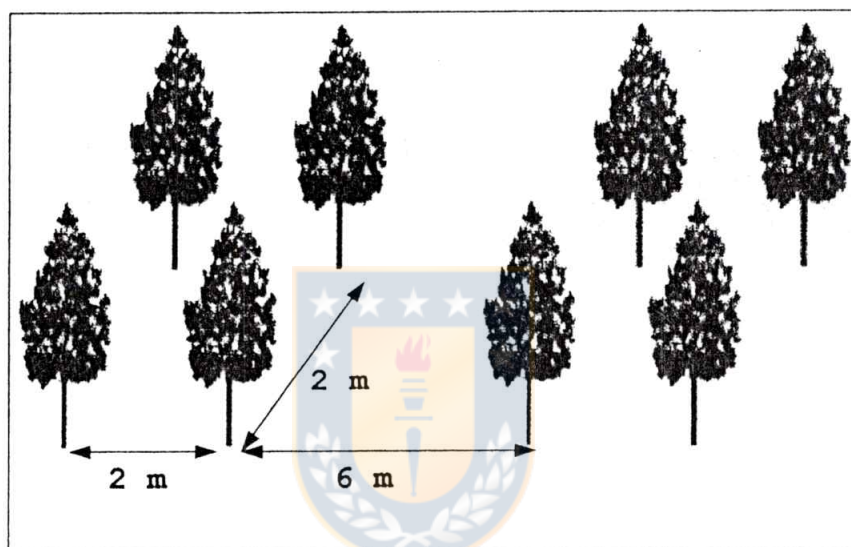


Figura 1. Espaciamiento de los árboles en el ensayo.

Las plantas utilizadas en los ensayos fueron producidas a raíz desnuda en el vivero de Tanumé, el cual utilizó semilla mejorada proveniente de la Octava Región.

La técnica de plantación correspondió a la de arado en surco, plantándose sobre el camellón, en la tierra removida y mullida, siguiendo las curvas de nivel, con herramientas como el azadón y el azapico (Vargas, 1996).

En el año 1984 se inició el establecimiento de las praderas para bovinos las cuales tuvieron una duración de 10 años y luego de este periodo, pasó a ser una plantación comercial.

Las praderas establecidas fueron las siguientes:

- **Pradera sin fertilizar (NF):** En este tratamiento no se utilizó ningún tipo de forraje para siembra, solamente se permitió el desarrollo natural del pasto. En los análisis de los componentes de esta pradera se identificó como especies predominantes *Paspalum coeruleum* (azulillo) Avena barata (Teatina) *Vulpia dertonensis* (pasto delgado) *Plantago lanceolata* (siete venas) y *Hordeum sp.* (cebadilla). En este tipo de pradera no se utilizó ningún tipo de fertilizante.
- **Pradera sembrada (FA):** En el momento de la siembra de la pradera se fertilizó con 209 kg/ha de fósforo en forma de superfosfato triple y 196 kg/ha de nitrógeno en forma de urea y posteriormente fue fertilizada a razón de 109 kg/ha de nitrógeno y 109 kg/ha de fósforo hasta el año 11 de establecida.
- **Pradera mejorada (FC):** En este tipo de pradera no se sembró forraje. Las especies de forraje eran las mismas que se presentaban en la pradera natural, pero con la diferencia de que hubo una aplicación de fertilizante a razón de 76 y 122 kg/ha con nitrógeno y fósforo en forma de superfosfato triple y urea, respectivamente, en el

mes de agosto de los años 3, 6 y 11. La forma de aplicación fue directamente a la pradera y fue hecha en el surco directamente.

Los ensayos silvopastorales con ganado bovino permanecieron sólo durante los primeros 12 años de establecida la plantación. Posteriormente a los 12 años, estos ensayos tuvieron como objetivo la producción comercial de madera aserrada.

Las practicas silvícolas como poda y raleo fueron aplicadas a los tres ensayos en la misma forma (Tabla 1).

Las podas se realizaron antes de cada raleo y éste último se aplicó en el mes de abril para todos los tipos de pradera. La aplicación de la poda se realizó hasta un 50% de la altura total de los árboles en cada intervención.

Tabla 1. Esquema de aplicación de podas y raleos.

Pradera	Aplicación	Edad de los árboles (años)	Altura de la copa		Densidad de la plantación	
			Antes de la poda (m)	Después de la poda (m)	Antes del raleo (arb/ha)	Después del raleo (arb/ha)
FC	Primera	6,5	7,39	4,36	549	324
	Segunda	7,5	13,08	6,26	324	214
	Tercera	10,5	24,02	13,7	214	172
NF	Primera	6,5	7,99	4,99	523	360
	Segunda	7,5	14,29	9,39	358	229
	Tercera	10,5	24,43	13,9	229	180
FA	Primera	6,5	7,88	4,22	540	325
	Segunda	7,5	14,00	7,10	338	217
	Tercera	10,5	24,32	13,20	220	179

Fuente: Arriagada, 1998

2.4. Estructura del muestreo

Para la selección de los árboles a muestrear, se confeccionó la distribución de frecuencia acumulada de los diámetros presentes en cada rodal y se procedió a dividir en tres partes, correspondientes a los terciles de la distribución (Tabla 2), permitiendo asociar los diámetros con clase de copa: dominante (DOM), intermedio (INT) y suprimido (SUP) (Moya, 2000).

Tabla 2. Categoría de diámetros establecidos en los tres rodales de *P.radiata*.

Categoría	Tipo de árbol	Rango diamétrico (cm)		
		FC	NF	FA
Categoría 1	SUP	30,00-36,40	26,00-35,00	29,00-36,00
Categoría 2	INT	35,50-38,90	35,00-38,00	36,00-40,00
Categoría 3	DOM	39,00-48,30	38,00-45,00	40,00-50,00

De cada clase de copa, se seleccionaron tres árboles al azar, obteniendo como resultado nueve árboles por cada ensayo. Se procedió a tener especial cuidado en los árboles seleccionados fueran rectos, sin bifurcaciones y sin daños aparentes.

Durante la corta de los árboles, se marcó el norte por medio de una línea desde la base hasta el DAP, con el fin de poder ubicar en el laboratorio el resto de los puntos cardinales en la troza. En cada árbol volteado se procedió

a marcar y cortar una troza de 1,3 m desde el 25% de la altura del DLU hacia abajo.

2.5. Determinación de propiedad mecánica

2.5.1 Flexión estática

El ensayo mecánico que se realizó en este estudio corresponde a la flexión estática, utilizando madera con un contenido de humedad promedio de 13%.

Para la obtención de las probetas ensayadas, se realizó la marcación y posterior corte de una vigueta de 10 cm de espesor de Norte a Sur, cada una de las viguetas fueron clasificadas de acuerdo a una nomenclatura establecida. Estas viguetas fueron encastilladas en el laboratorio para la disminución del contenido de humedad (Figura 2).

La obtención de las probetas se realizó cortando la vigueta en dirección longitudinal a través de la médula obteniéndose dos semi-viguetas (A y B), la probeta n°1 es la primera que se obtiene desde la corteza hacia la médula sucesivamente. El largo de la probeta guardó relación con la sección transversal, ya que la distancia de los apoyos donde es ensayada la probeta está relacionada entre el largo de la probeta (L) y la altura (h) de esta en 14 veces ($L/h=14$) (NCh987,1986).

Una vez confeccionadas las probetas con una sobre medida de aproximadamente 5 mm, fue apilada en una pieza de

acondicionamiento que posee una temperatura de 22°C y un contenido de humedad relativa de 60%, lo cual permitió llegar a un contenido de humedad de equilibrio cercano al 12%. Cuando las probetas alcanzaron la humedad de equilibrio se dimensionaron de acuerdo a la norma conservando la relación alto-largo.

El ensayo se realizó en el Laboratorio Silvotecnológico de la Madera que dispone una maquina de ensayos universal marca Metrotec S.A.

La probeta fue colocada entre dos apoyos, de tal manera que la carga fuera aplicada paralela a los anillos de crecimiento (cara radial) y se empezó a aplicar a la mitad de la distancia entre los apoyos (Anexo 6).

Para el registro de la deflexión, provocada por la carga en la probeta de madera, se instaló un dispositivo en la mitad de la altura de la probeta, este dispositivo sirve de apoyo al vástago de un reloj comparador, el cual puede medir hasta 50 mm de deflexión con una precisión de 0,05 mm.

Las mediciones de deflexión se realizaron cada 10 Kg. de fuerza aplicada, hasta que ocurriera la ruptura de la probeta.

Antes de empezar el ensayo se ingresaron datos de la probeta como dimensiones de ancho, largo y espesor, su peso, la cantidad y ancho de anillos y la fibra revirada, a un formulario previamente diseñado.

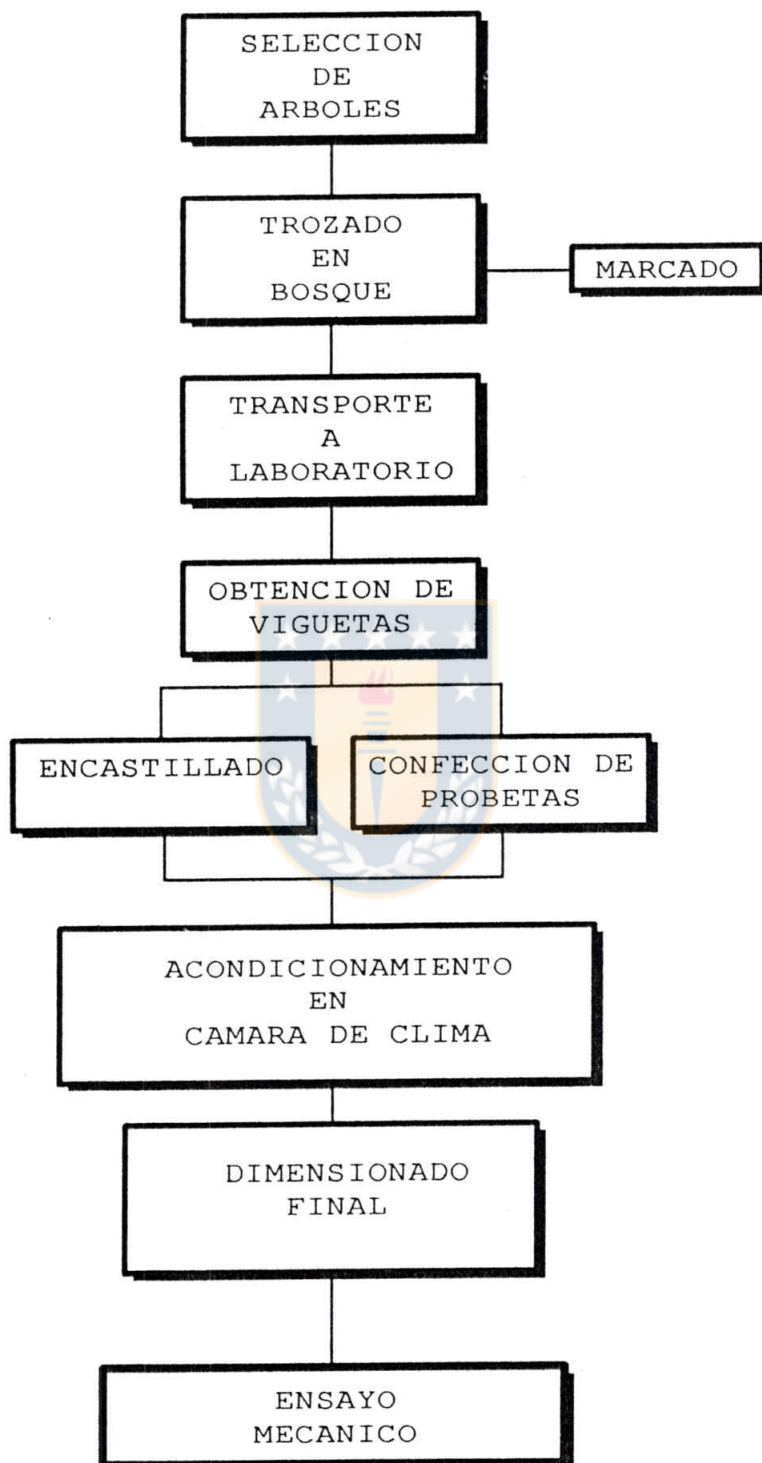


Figura N°2 Proceso seguido para el ensayo en flexión.

Utilizando los datos de carga y deflexión registrados en el formulario, se procedió a la construcción de las curvas carga versus deflexión (Anexo 5).

Obtenidas las curvas se calculo el limite proporcional y las áreas bajo la curva, el método utilizado fue de recortar estas áreas del papel y pasarlas por la maquina que mide área foliar perteneciente al Laboratorio de Fisiología de árboles.

Con la obtención de estos valores se procedió a calcular el Módulo de elasticidad (MOE), Módulo de ruptura (MOR), Esfuerzo en el limite proporcional (ELP), Trabajo elástico (W_e), Trabajo plástico (W_p), Trabajo total (W_t), Coeficiente de Tetmajer (η), Módulo plástico de Janka (z) y el Trabajo específico de Janka (α).

2.5.2 Determinación de densidades.

Una vez terminado un set de ensayos, se procedió a cortar de cada probeta ensayada, un trozo de 2x2x2 cm aproximadamente. Estos trozos de probeta fueron pesados con una precisión de 0,01 gr. y medidas en dirección tangencial, radial y longitudinal con una precisión de 0,05 mm.

La determinación del peso, así como el volumen, fueron realizados con el contenido de humedad del ensayo, con

estos valores y el peso anhidro se calculo la densidad nominal de la probeta.

2.6 Análisis estadístico.

2.6.1 Hipótesis.

La hipótesis formulada para el análisis de las variables de estudio indica que la fertilización tiene un efecto en el crecimiento de los árboles ya sea en altura, diámetro y volumen. La incidencia en estas variables provoca una variación de la densidad de la madera y ancho de anillo de crecimiento, que como se sabe están muy relacionadas con las propiedades físicas y mecánicas de la madera.

2.6.2 Diseño experimental.

Para la prueba de la hipótesis planteada anteriormente se estableció un diseño experimental en bloques completamente aleatorios, compuesto este bloque de dos factores, siendo el primero de ellos el tratamiento de fertilización, en tres niveles (FA, FC y NF) y el otro factor corresponde a la clase de copa en el rodal en tres niveles (SUP, INT y DOM). El factor de bloque se consideró el punto cardinal de la madera dentro del fuste, ya que puede existir la posibilidad que las propiedades de la madera sean diferentes en estos puntos; sobre todo cuando se aplica fertilizante se produce una mayor proporción de madera de

reacción en algunas posiciones de los árboles (Cown, 1981; Cahill y Briggs, 1992).

Las diferencias que se producen entre las posiciones cardinales no fueron de interés en el cumplimiento de los objetivos planteados, por lo que se decidió su bloqueo.

Por tratarse de dos factores se consideró la interacción entre la clase de copa de copa y el tratamiento, con ello resultó un diseño en bloques completamente aleatorio, con arreglo factorial 3 x 3.

2.6.3 Comparación de medias.

Para detectar las diferencias entre los tratamientos FA, FC y NF se realizó un análisis de varianza para cada variable respuesta.

Es importante señalar que las comparaciones de las variables respuesta que se realizaron fueron principalmente entre los tratamientos FA, FC y NF y no las diferencias que ocurren dentro de las clases de copa para un mismo tratamiento.

Al no existir interacción entre clase de copa y le tratamiento se realizaron comparaciones entre FA, FC y NF.

El programa SYSTAT 5,03© fue utilizado para el análisis de varianza y las comparaciones de las medias obtenidas (SYSTAT, Inc.) El procedimiento utilizado fue el PROC GLM

(general linear model) y para realizar las comparaciones se usó la prueba de TUKEY.

2.7 Regresiones múltiples entre Propiedades en flexión, densidades ancho anillo de crecimiento y fibra revirada

Se asignó como variable dependiente a algunas propiedades en flexión obtenidas en el estudio para cada tratamiento como el Módulo de elasticidad, módulo de ruptura, los trabajos elástico, plástico y total finalizando con el coeficiente de tetmajer y se asignó como variables independiente al ancho de anillo de crecimiento (AAC), densidad de la madera (D), la fibra revirada (FR), el Módulo de elasticidad (MOE) y el módulo de Ruptura (MOR) . Con el procedimiento de stepwise se detectó las variables válidas que explicaron el modelo.

III RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 Resistencia mecánica en flexión

3.1.1 Totalidad de árboles muestreados

Una vez evaluados los datos, los resultados indicaron que el MOE osciló en un rango de 19590 a 156757 Kgf/cm², por otra parte el MOR presentó valores entre 346 a 1064 Kgf/cm² y el Esfuerzo limite proporcional (ELP) se mantuvo entre 131 a 645 Kgf/cm².

Los máximos valores de MOE y MOR encontrados en este estudio son inferiores a los reportados por Valenzuela y Nakayama (1991), que señalan para el MOE rangos de 70000 a 167700 Kgf/cm², tanto que para el MOR los valores fueron de 559 a 1120 Kgf/cm². La diferencia puede establecerse debido a que los árboles utilizados en este estudio presentaban esquemas de manejo de tres podas y tres raleos, con una densidad de plantación muy baja y una edad de 16 años, a diferencia del estudio realizado por Valenzuela y Nakayama (1991), donde el árbol no tiene ningún tipo de manejo y con una edad de 25 años.

Cown et al.(1982), Kininmonth y Whitehouse (1991) obtuvieron en *P. radiata* de 20 años creciendo en Nueva Zelanda, rangos de valores de 80000 a 140000 Kgf/cm² para el MOE y de 600 a 1110 Kgf/cm² para el MOR, siendo superiores a los encontrados en este estudio, esto puede

deberse a que la edad máxima de los árboles no fue superior a los 16 años.

El análisis estadístico de los datos determinó que no existe diferencias significativas en el MOE y MOR para los tres tratamientos, pero si se encontró diferencia significativa para el ELP, donde el mayor valor correspondió a aquellos árboles provenientes de praderas fertilizadas anualmente (Tabla 3).

Tabla 3. Propiedades físicas y valores de resistencia en flexión para *P. radiata* D. Don en tres tipos de praderas.

Propiedad	Parámetro Estadístico	TRATAMIENTOS		
		FA	FC	NF
MOE	\bar{x}	63149,69 A	65455,85 A	66735,35 A
	σ	18172,84	19383,21	21541,38
	n	157	152	135
MOR	\bar{x}	602,03 A	589,77 A	595,53 A
	σ	120,37	109,41	112,52
	n	157	152	135
ELP	\bar{x}	343,37 A	316,59 B	312,93 B
	σ	92,93	88,50	97,36
	n	157	152	135
Ancho de anillo (mm)		14,26 A	14,29 A	13,59 A
σ (mm)		3,19	3,10	3,33
Densidad nominal 13% (g /cm ³)		0,389 A	0,390 A	0,387 A
σ (g /cm ³)		0,042	0,043	0,039
Fibra revirada (grados)		7,04 A	6,18 B	5,71 B
σ (grados)		3,78	2,42	2,43

\bar{x} : Promedio en kgf/cm², σ : desviación estándar en kgf/cm², n: numero de muestras

Nota: Valores en una misma propiedad mecánica con distinta letra, existe diferencia significativa ($\alpha=0,05$)

De acuerdo a la tabla 3, se puede observar que la fibra revirada presenta una diferencia significativa en aquellos árboles provenientes de praderas fertilizadas anualmente, siendo un 12,21 y 18,89% mayor que los árboles de praderas fertilizadas cada cuatro años y de praderas no fertilizadas respectivamente. Contrario fue el resultado obtenido por Durnbrell y McGrath (2000), que en su estudio para *Pinus radiata* D. Don de 36 años creciendo en Australia, no encontraron diferencia en la fibra revirada en los árboles provenientes de distintos esquemas de fertilización.

Este resultado encontrado puede explicar la diferencia que se presenta en el MOE de los tres tratamientos, aunque como se dijo anteriormente no es significativa, se puede observar (tabla 3) que el menor valor de MOE se presenta en los árboles de praderas fertilizadas anualmente y el mayor en la pradera no fertilizada, donde se coincide con un mayor y menor ángulo de fibra revirada respectivamente.

3.2 Parámetros de energía en flexión

Los valores de Trabajo elástico (W_e) están en el rango de 0,021 a 0,343 kg-cm/cm³, el Trabajo plástico (W_p) de 0,133 a 2,103 kg-cm/cm³, y para el Trabajo total (W_t) tiene como rango de valores 0,174 a 2,301 kg-cm/cm³.

Los valores reportados en este estudio son inferiores a los encontrados por Moya (2000) y también a los publicados por

Valenzuela y Nakayama (1991) para *Pinus radiata* D. Don de 25 años sin manejo intensivo.

3.2.1 Trabajo Elástico, Plástico y Total

Al analizar el rodal en su totalidad (Tabla 5). Se aprecia una diferencia significativa mayor en los trabajos elástico, plástico y total que pertenecen a la pradera fertilizada anualmente.

Tabla 4. Parámetro comparativo del trabajo elástico, plástico y total para rodales de *P. radiata* creciendo en tres tipos de praderas en la VI Región de Chile.

		TRATAMIENTOS		
Propiedad	Parámetro Estadístico	FA	FC	NF
WE	\bar{x}	0,1085 A	0,090 B	0,0884 B
	σ	0,0466	0,0390	0,0431
	n	157	152	135
WP	\bar{x}	0,7070 A	0,6110 B	0,6180 B
	σ	0,3280	0,2360	0,2460
	n	157	152	135
WT	\bar{x}	0,8150 A	0,7000 B	0,7060 B
	σ	0,3490	0,248	0,2570
	n	157	152	135

\bar{x} : Promedio en kg-cm/cm³, σ : Desviación estándar en kg-cm/cm³, n: Numero de muestras

Nota: Valores con distinta letra existe diferencia significativa ($\alpha=0,05$)

Los resultados indican que para el trabajo elástico encontrado en árboles provenientes de praderas fertilizadas anualmente fue significativamente mayor con respecto a los árboles provenientes de praderas fertilizadas cada cuatro años y las praderas no fertilizadas, siendo esta diferencia de 20,55 y 22,77% respectivamente. La misma situación ocurre para el trabajo plástico y total, las diferencias son de 15,71 y 14,40% para el trabajo plástico y de 16,42 y 15,43% para el trabajo total respectivamente.

Esto se puede explicar por la influencia que tiene la fibra revirada en el aumento de los tres tipos de trabajo en los árboles provenientes de praderas fertilizadas anualmente.

3.3 Parámetros comparativos de energía en flexión.

El valor del Módulo plástico de Janka (Z) osciló entre 0,003 a 0,060 (cm/kgf), el Trabajo específico de Janka (α) obtuvo valores de 43,5 a 237,8 (kgf) y el Coeficiente de tetmajer (η) sus valores fueron de 0,23 a 0,92.

El η no se vio afectado por los tratamientos de fertilización, ello se debe, a que éste parámetro mide la presencia de defectos sobre la madera en flexión (Valenzuela y Nakayama, 1991), tales como la presencia de nudos, grietas internas o bien fibra revirada. Las muestras utilizadas para este ensayo estaban libre de nudos y grietas, por lo que este coeficiente de algún modo podría reflejar el efecto de la fibra revirada que posee el árbol.

Tabla 5. Parámetros comparativos de energía para rodales de *P. radiata* creciendo en tres tipos de praderas en la VI Región de Chile.

Propiedad	Parámetro Estadístico	TRATAMIENTOS		
		FA	FC	NF
Módulo plástico de Janka (Z)	\bar{x}	0,0141 A	0,0113 B	0,0109 B
	σ	0,0085	0,0046	0,0045
Trabajo específico de Janka (α)	\bar{x}	111,44 A	115,3 AB	120,90 B
	σ	27,16	28,58	28,18
Coeficiente de Tetmajer (η)	\bar{x}	0,67 A	0,66 A	0,66 A
	σ	0,062	0,071	0,073

Z (cm/kgf); η (adimensional), α (kgf)

NOTA: Para una misma propiedad mecánica con igual letra no se encontró diferencia significativa ($\alpha=0,05$).

El parámetro que mide la plasticidad de la madera (Z) presentó un mayor valor en aquellos árboles provenientes de praderas fertilizadas anualmente, es decir, existe una deflexión mayor de la madera antes de que ocurra la falla, siendo esta diferencia de 29,3% y 24,7% con respecto a los árboles de praderas no fertilizadas y fertilizadas cada cuatro años .

El α , mide la tenacidad de la madera, registrándose el mayor valor en los árboles que provienen de praderas no fertilizadas.

3.4 Relaciones entre MOE, MOR, Densidad de la madera, Ancho de anillo de crecimiento y Fibra revirada.

Los resultados de todas las relaciones efectuadas para los parámetros de resistencia en flexión, de comparación y tipos de trabajo se muestran en las tablas 8, 9 y 10.

Al analizar las tablas se observa que las correlaciones mas altas se encontraron al confrontar el esfuerzo limite proporcional con el MOE y MOR, también existe una buena relación entre el MOE y MOR.

La mayoría de los coeficientes de correlación encontrados fueron significantes al nivel 1%. Por otro lado, también se encontraron coeficientes no significativos, como los reportados entre los distintos tipos de trabajo con el MOE y en ancho de anillo de crecimiento.

Tabla 6. Resultado para correlaciones de ELP, MOE, MOR.

	MOE			MOR			Ancho anillo			Densidad básica			Fibra revirada		
	FA	FC	NF	FA	FC	NF	FA	FC	NF	FA	FC	NF	FA	FC	NF
ELP	0,64**	0,82**	0,73**	0,84**	0,80**	0,81**	-0,46**	-0,47**	-0,53**	0,62**	0,48**	0,56**	-0,54**	-0,33**	-0,42**
MOE	1	1	1	0,77**	0,82**	0,79**	-0,58**	-0,56**	-0,69**	0,55**	0,59**	0,72**	0,44**	-0,22**	-0,38**
MOR	0,77**	0,82**	0,79**	1	1	1	-0,49**	-0,50**	-0,58**	0,74**	0,67**	0,71**	-0,61**	-0,38**	-0,47**

Nota: *:Significante al nivel 5%, **: Significante al nivel 1%, ns: no hay significancia al nivel 1 ni 5%.

Tabla 7. Resultado de correlaciones para Trabajo elástico, plástico y total.

	MOE			MOR			Ancho anillo			Densidad básica			Fibra revirada		
	FA	FC	NF	FA	FC	NF	FA	FC	NF	FA	FC	NF	FA	FC	NF
We	0,12 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,21*	0,53**	0,41**	0,41**	-0,21**	-0,19 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	0,44**	0,18 ^{ns}	0,19 ^{ns}	-0,37**	-0,23**	-0,25**
Wp	-0,08 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,40**	0,38**	0,31**	-0,11 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,28**	0,12 ^{ns}	0,18 ^{ns}	-0,41**	-0,13**	-0,41**
Wt	-0,06 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,44**	0,42**	0,37**	-0,13 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,32**	0,15 ^{ns}	0,21*	-0,43**	-0,15**	-0,43**

Nota: *:Significante al nivel 5%, **: Significante al nivel 1%, ns: no hay significancia al nivel 1 ni 5%.

Tabla 8. Resultado para correlaciones de Módulo plástico de Janka, Trabajo específico de Janka y Coeficiente de tetmajer.

	MOE			MOR			Ancho anillo			Densidad básica			Fibra revirada		
	FA	FC	NF	FA	FC	NF	FA	FC	NF	FA	FC	NF	FA	FC	NF
Z	-0,60**	-0,63**	-0,39**	-0,25**	-0,40**	-0,36**	0,20 ^{ns}	0,42**	0,35**	-0,16 ^{ns}	-0,37**	-0,31**	-0,01 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	-0,02 ^{ns}
α	0,65**	0,65**	0,69**	0,62**	0,73**	0,81**	-0,47**	-0,38**	-0,46**	0,31**	0,36**	0,62**	-0,33**	-0,41**	-0,52**
η	-0,05 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,14 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	0,07 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,01 ^{ns}	-0,24**	0,08 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	-0,27 ^{ns}

Nota: *:Significante al nivel 5%, **: Significante al nivel 1%, ns: no hay significancia al nivel 1 ni 5%.

3.5 Regresiones lineales múltiples.

Las regresiones efectuadas para la resistencia en flexión, tipos de trabajo y parámetros de comparación como variables dependientes, con sus respectivos coeficientes de determinación (R^2) y test de Fisher (F), se muestran en las tablas 11 a la 16.

Al no existir diferencia significativa en el Módulo de elasticidad y de ruptura entre los distintos tipos de praderas, se procedió al ajuste de un modelo lineal múltiple utilizando la suma total de mediciones de los tres tipos de tratamientos.

Tabla 9. Regresión lineal múltiple para parámetros de resistencia en flexión.

Regresión	n	R^2	Fc	Fm
MOE= 29189,4-2635,15* <i>AAC</i> +202193* <i>D</i> -894,59* <i>FR</i>	444	0,56	2,62	190
MOR= 130,69+0,002677* <i>MOE</i> -1,8974* <i>AAC</i> +966,89* <i>D</i> - 9,2050* <i>FR</i>	444	0,73	2,39	303

NOTA n: Número de muestras, R^2 : Coeficiente de determinación, Fc: Fisher crítico, Fm: Fisher muestral.

Tabla 10. Regresión lineal múltiple para trabajo elástico en todos los tratamientos.

Trat	Regresión	n	R ²	Fc	Fm
FA	We= 0,0185-0,8E-6*MOE-0,0019*AAC+0,5091*D-0,0041*FR	157	0,28	2,43	15
FC	We= 0,0887-0,0017*AAC*0,1192*D-0,0033*FR	152	0,09	2,66	5,44
NF	We= 0,0509+0,1508*D-0,0036*FR	135	0,07	3,06	5,49

NOTA n: Número de muestras, R²: Coeficiente de determinación, Fc: Fisher crítico, Fm: Fisher muestral.



Tabla 11. Regresión lineal múltiple para trabajo plástico en todos los tratamientos.

Trat	Regresión	n	R ²	Fc	Fm
FA	Wp= 0,9032-0,96E-5*MOE-0,0130*AAC+2,4664*D-0,0529*FR	157	0,32	2,43	18,4
FC	Wp= 0,8731-0,0421*FR	152	0,18	3,90	34,6
NF	Wp= 0,0993-0,28E-5*MOE+0,0129*AAC+2,0470*D-0,0454*FR	135	0,24	2,44	10,4

NOTA n: Número de muestras, R²: Coeficiente de determinación, Fc: Fisher crítico, Fm: Fisher muestral.

Tabla 12. Regresión lineal múltiple para trabajo total en todos los tratamientos.

Trat	Regresión	n	R ²	Fc	Fm
FA	Wt= 0,9217-0,1E-4*MOE-0,015*AAC+2,9756*D-0,0571*FR	157	0,36	2,43	21,4
FC	Wt= 0,6550-0,23E-5*MOE+1,2658*D-0,0486*FR	152	0,23	2,66	15,2
NF	Wt= 0,1784*0,28E-5*MOE+0,0121*AAC+2,1348*D-0,0488*FR	135	0,25	2,44	11,1

NOTA n: Número de muestras, R²: Coeficiente de determinación, Fc: Fisher crítico, Fm: Fisher muestral.



Tabla 13. Regresión lineal múltiple para el Módulo plástico de janka en todos los tratamientos.

Trat	Regresión	n	R ²	Fc	Fm
FA	Z= 0,0404-0,4E-6*MOE-0,4E-3*AAC+0,0308*D-0,87E-3*FR	157	0,48	2,43	35,8
FC	Z= 0,0255+0,2E-6*MOE-0,52E-3*FR	152	0,47	3,05	66,6
NF	Z= 0,0210-0,1E-6*MOE-0,54E-3*FR	135	0,22	3,06	19,2

NOTA n: Número de muestras, R²: Coeficiente de determinación, Fc: Fisher crítico, Fm: Fisher muestral.

Tabla 14. Regresión lineal múltiple para el trabajo específico de janka en todos los tratamientos.

Trat	Regresión	n	R ²	Fc	Fm
FA	$\alpha = 74,45 + 0,00085 * MOE - 1,1898 * AAC$	157	0,44	3,05	60,4
FC	$\alpha = 73,36 - 3,3038 * FR + 0,00087 * MOE$	152	0,50	3,05	76,3
NF	$\alpha = 36,19 + 0,54E-3 * MOE + 175,58 * D - 3,37 * FR$	135	0,59	2,67	63,3

NOTA n: Número de muestras, R²: Coeficiente de determinación, Fc: Fisher crítico, Fm: Fisher muestral.

Al establecer las relaciones básicas entre los parámetros mecánicos determinados en la flexión y las propiedades físicas, se puede apreciar que la densidad de la madera presenta una relación positiva en los modelos encontrados, que se traduce en un aumento de los valores de los parámetros mecánicos al aumentar los valores de la densidad. Es importante mencionar el efecto de la fibra revirada en los parámetros mecánicos, el efecto presentado es negativo, lo que implica una disminución de las propiedades mecánicas al aumentar los valores de fibra revirada

IV CONCLUSIONES

1. La fertilización de la pradera no origina cambios en el Módulo de elasticidad ni en el Módulo de ruptura.
2. El esfuerzo límite proporcional es significativamente mayor en los árboles de praderas fertilizadas anualmente.
4. La fibra revirada presenta mayor valor en árboles de praderas fertilizadas anualmente.
5. El trabajo elástico, plástico y total son más altos en árboles de praderas fertilizadas anualmente.
6. El módulo plástico de Janka es mayor en árboles provenientes de praderas fertilizadas anualmente.
7. El trabajo específico de Janka presentado en árboles provenientes de praderas no fertilizadas es significativamente mayor a los de praderas fertilizadas anualmente.

V RESUMEN

En el presente estudio se evaluó el efecto de la fertilización de la pradera en un ensayo silvopastoral sobre el trabajo en flexión estática de la madera de *Pinus radiata* D. Don de 16 años. Estos ensayos silvopastorales están establecidos en el Centro Experimental Tanumé, perteneciente a la Corporación Nacional Forestal de Chile (CONAF) de la VI región.

Para el cumplimiento de este propósito fueron muestreados 9 árboles por cada ensayo establecido. De cada árbol se obtuvo una troza de 1,2 metros proveniente del 25% de la altura límite de utilización (DLU).

Los resultados obtenidos indican que la fertilización de la pradera tiene un efecto en algunas de las propiedades estudiadas. Se puede mencionar que árboles que crecen en praderas fertilizadas anualmente presentan una diferencia significativa mayor en el esfuerzo límite proporcional, en los tres tipos de trabajo y en el módulo plástico de Janka. Para árboles de praderas no fertilizadas el trabajo específico de Janka fue significativamente mayor.

VI SUMMARY

In the present study, the effect of the fertilization on the prairie in a silvopastoral trial on static flexion work of *Pinus radiata* D. Don of 16 years old, was evaluated.

These silvopastoral trials are established in the Tanumé Experimental Center, belonging to Corporación Nacional Forestal of Chile (CONAF) of the VI region.

For this propose may be achieve were sampled 9 trees for each one established trial. Of each tree, was obtained one log of 1.2 m proceeding of 25 percent of the utilization limit height.

Results obtained point out that the fertilization of the prairie have an effect in some of studied properties. It may be mentioned that tress growing in annually fertilized prairie present more significative difference in stress at proportional limit, at 3 types of works and the Janka's plastic modulus.

For praires' trees no fertilized, the Jankas's especific work was significantly major.

VII BIBLIOGRAFIA

1. Arriagada, J. 1998. Ensayos en sistemas silvopastorales Centro Experimental Tanumé. Documento de Trabajo N°3. Corporación Nacional Forestal VI Región. Chile
2. Brix, H. y Mitchell, K., 1980. Effects of thinning and nitrogen fertilization of xylem development in Douglas-fir. Canadian Journal of Forest Research 10(2): 121-128.
3. Brix, H. y Mitchell, K., 1983. Thinning and nitrogen fertilization effects on sapwood development and relationships of foliage quantity to sapwood area and basal area in Douglas-fir. Canadian Journal of Forest Research 13(2): 384-389.
4. Cahill, J. y Briggs, D. 1992. Effects of fertilization on wood quality and tree value. In: Forest fertilization sustains and improving nutrition and growth of western forest. USA. pp 145-160.
5. Cown, D. J. 1973. Effect of severe thinning and pruning treatments on the intrinsic wood properties of young radiata Pine. New Zealand. Journal of Forestry Science 12(3): 379-389.

6. Cown, D. J. 1975. Variation in tracheid dimensions in the stem of 26-years-old radiata pine tree. APPITA 28(4):237-345.
7. Cown, D. J. y D. L. McConchie. 1980. Wood property variations in an old-crop stand of *radiata pine*. New Zealand Journal of Forestry Science 10(3): 508-520.
8. Cown, D. J. 1981. Effects of thinning and fertilizer application on wood properties of *Pinus radiata*. New Zealand Journal of Forestry Science 11: 79-81.
9. Cown, D. J. y D. L. McConchie. 1981. Effects of thinning and fertilizer application on wood properties of *Pinus radiata*. New Zealand Journal of Forestry Science 11(2): 79-91.
10. Cown, D. J. y D. L. McConchie. 1982. Rotation age and silvicultural effects on wood properties of four stands of *Pinus radiata*. New Zealand Journal of Forestry Science 12(1):71-81.
11. Daniel , T.,J. A. Helms y F. S. Backer. 1982. Principios de Silvicultura. McGraw-Hill. Mexico. Pag. 407-426.
12. Drumbel, I.C. y J.F. McGrath. 2000. Effect of fertilizer and growth rate on angle spiral grain in young *Pinus radiata* in western Australia. Australian Forestry. 63(2):142-146.

13. Erickson, H. y T. Harrison. 1974. Douglas-fir wood quality studies. Part I: Effects of age and stimulated growth on wood density and anatomy. *Wood science and Technology* 8(3): 207-226.
14. Erickson, H.D. y T. Arima. 1974. Douglas-fir wood quality studies. Part II: Effects of age and simulated growth on fibril angle and chemical constituents. *Wood science and Technology* 8:255-265.
15. Gascón, A. 1997. Determinación del trabajo en flexión para siete especies exóticas de Chile. Tesis de Grado. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales. Departamento Manejo de Bosques y Medio ambiente. Concepción. Chile. 60 p.
16. González, D. 1987. Efecto de la intensidad de raleo sobre la densidad aparente de la madera de *Pinus radiata* (D. Don). Tesis de Grado. Universidad de Concepción. Facultad de ciencias Agropecuarias y Forestales. Concepción. Chile. 44 p.
17. Gray, R. y Kyanka, G. 1974. Potassium fertilization effects on the static bending properties of red pine wood. *Forest Products Journal* 24(9): 92-96.
18. Harris, J. M. 1989. Spiral grain and wave phenomena in wood formation. Springer-Verlag, Berlin.

19. Instituto Nacional de Normalización, 1989. Nch. 987.c72. Madera. Determinación de las propiedades mecánicas. Ensayo de flexión estática. Santiago. Chile.
20. INFOR, 1997, Catastro Nacional. Catastro y Evaluación de recursos vegetacionales Nativos de Chile.
21. Klen, G., 1968. Quality of wood from fertilized forest. TAPPI 51(11): 99-102.
22. Kininmonth, J.A. y Whitehouse, L.J. 1991. Properties and uses of New Zealand *radiata pine*. Vol 1. Wood Properties. Forest Reserch Instituto. New Zealand Ministry of Forestry. 150p.
23. McKinell, F. y Rudman, P. 1973. Potassium fertilizer and wood density of *Pinus radiata*. APPITA,26(4): 283-286.
24. Moya, R. A. 2000. Efecto de la fertilización de la pradera y manejo intensivo sobre la flexión estática y algunas propiedades de la madera de *Pinus radiata* D.Don de 16 años. Tesis de Magíster en Cs. Forestales Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales, Concepción. Chile 117 p.
25. Nicholls, J. W. 1971. The effects of environmental factors on wood characteristics. 1. The effect of thinning and fertilizer treatment on the wood of *Pinus*

- pinaster. *Silvae Genetica* 20: 26-32.
26. Pearson, R. y Gilmore, R., 1980. Effect of fast growth rate on the mechanical properties of Loblolly pine. *Forest Products Journal* 30(5): 47-54.
27. Pezo, R., 1997. Patrón de distribución de la fibra espiral e fustes de *P. radiata* D.Don, en un rodal de 18 años de edad. Memoria de título Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Concepción.
28. Pinto, M., 1997. Determinación del patrón de variación de la madera tardía formada en fustes de *Pinus radiata* D.Don en un árbol de 18 años de edad. Memoria de título Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Concepción. 60 p.
29. Puentes, G. H., 1996. Efectos de la fertilización y dos regímenes de raleos sobre el incremento en area basal y algunas propiedades físicas y químicas de la madera de *Pinus radiata* D.Don. Memoria de título . Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Concepción, 51 p.
30. Rudman, P. y Mckinnell, F. 1971. Effects of fertilizers on wood density of young radiata pine. *Australian Forestry* 34(3): 170-178.
31. Salas, J. D. 1997. Determinación del trabajo en

- flexión para madera de *Pinus radiata* D. Don de 18 años de edad. Tesis de Grado. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales. Departamento Manejo de Bosques y Medio ambiente. Concepción. Chile. 59 p.
32. Sloane, A. 1966. Resistencia de Materiales. Unión tipográfica. Editorial Hispano América. México. pp 75-125.
33. Torricelli, E. 1941. Propiedades Físicas y Mecánicas de las maderas Chilenas. Ministerio de Tierras y Colonización. Santiago. Chile.
34. Valenzuela, L. y Nakayama, Y. 1991. The bending work of radiata pine in Chile. *Mokazai Gakkisshi* 37(5): 396-404.
35. Vargas, A. O. 1996. Evaluación silvícola de un sistema silvopastoral con plantación de *Pinus radiata* D. Don en el Centro Experimental Forestal de Tanumé VI Región. Tesis de Grado. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales. Departamento Manejo de bosques y Medio ambiente. Concepción. Chile. 60 p.
36. Willians, R. y J. Hamilton. 1961. The effects of fertilization on four wood properties of slash site. *Journal Forestry* 59(9): 662-665.

VIII Anexos



ANEXO 1

Gráfico Esfuerzo v/s Deformación.

Un esfuerzo es una fuerza que puede ser ejercida por un cuerpo sobre otro o por una parte de un cuerpo sobre otra. Toda carga o esfuerzo produce una deformación, esta deformación llega hasta un cierto limite conocido como limite proporcional, donde dentro de este rango la deformación es proporcional al esfuerzo aplicado.

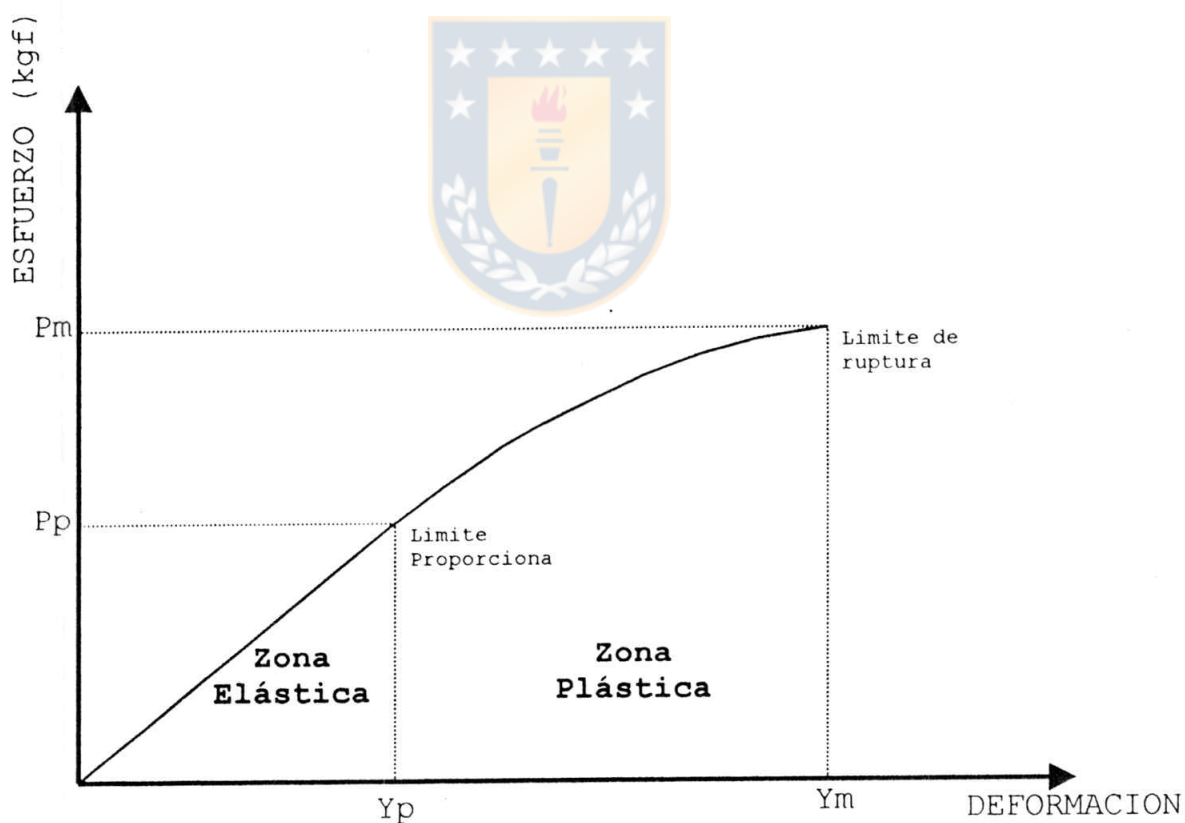


Figura 3. Comportamiento gráfico de la madera cuando se aplica carga.

ANEXO 2

Módulo de Elasticidad (**MOE**)

Corresponde va una medida de la rigidez de la madera (Valenzuela y Nakayama, 1991; Gascón, 1997; Salas, 1997). Rigidez, es la propiedad por medio de la cual un cuerpo solicitado por fuerzas externas tiende a retener su tamaño y formas naturales (Salas, 1997).

$$E = \text{MOE} = \sigma / \varepsilon \quad (\text{kgf} / \text{cm}^2)$$



Donde :

E: MOE = Módulo de elasticidad

σ : P / A = Esfuerzo normal por unidad de superficie
(kgf / cm^2).

ε : Deformación por unidad de longitud
(adimensional).

ANEXO 3Módulo de Ruptura (**MOR**)

Corresponde al valor más alto de la resistencia, expresado como esfuerzo unitario (torricelli, 1941) citado por Salas, (1997).

Se obtiene antes que se produzca la falla del material.

$$\text{MOR} = (3 * p_m * l) / (2 * b * h^2) \quad (\text{kgf} / \text{cm}^2)$$

Donde :

p_m : Carga máxima (kgf)

L : Luz de la probeta (cm)

b : Ancho de la probeta (cm)

h : Espesor de la probeta (cm)

ANEXO 4

Esfuerzo limite proporcional (σ)

Corresponde a la carga unitaria máxima a que se debe someter un material sin que se produzcan deformaciones permanentes (Gascón, 1996; Salas, 1997).

$$\sigma = (3 * P_p * l) / (2 * b * h^2) \quad (\text{kgf} / \text{cm}^2)$$

Donde :

PP: Carga hasta el limite proporcional (kgf)

l : Luz de la probeta (cm)

b : Ancho de la probeta (cm)

h : Espesor de la probeta (cm)

ANEXO 5

Gráfico Carga v/s Deflexión

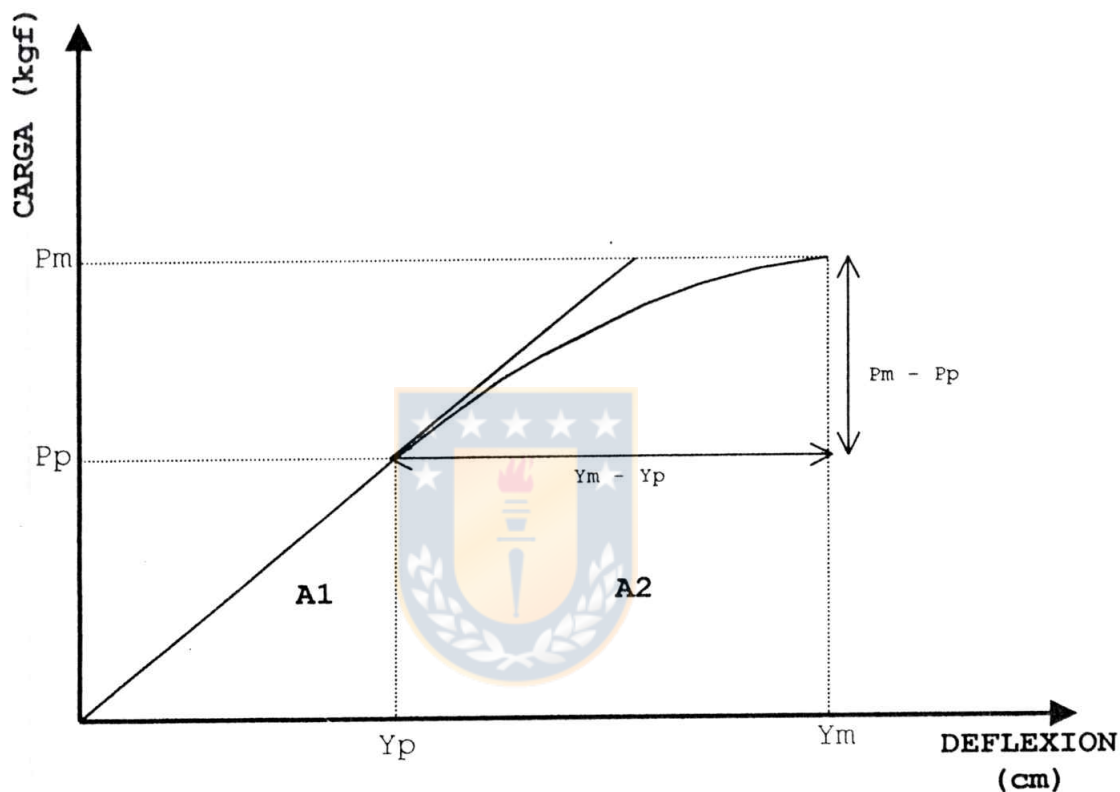


Figura 4. Diagrama que muestra la curva carga-deflexión típica

Donde:

A1 : área elástica

A2 : área plástica

Y_p : Deflexión hasta el límite proporcional (cm)

Y_m : Deflexión hasta la ruptura (cm)

P_p : Carga hasta el límite proporcional (kgf)

P_m : Carga máxima hasta la ruptura (kgf)

ANEXO 6

Flexión Estática

La norma Nch 987 de 1986, en su parte alternativa, la cual utiliza probetas de menores dimensiones, manteniendo la relación 1/14, existente entre el espesor de la probeta y su largo. Estas probetas deben estar libres de defectos aparentes, las dimensiones para su ensayo deben ser 25*25*400 mm, a esta probeta se le aplica una carga concentrada en le centro de su luz a una velocidad de 2 mm/min, no variando más allá de un 25% (figura 8).

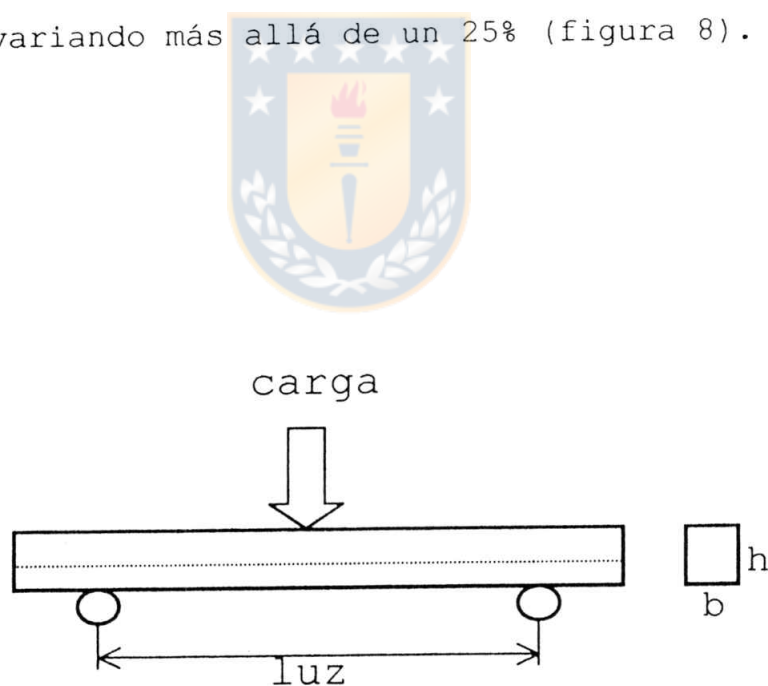


Figura 5. Esquema del ensayo de flexión estática

ANEXO 7

Trabajo Elástico (We)

Corresponde a la cantidad de energía que queda almacenada como energía de deformación en una probeta. Puesto que no existe deformación permanente del material, dentro de la zona elástica, la totalidad de esta energía potencial será recuperada al, retirar la carga (sloane, 1966) citado por Salas, (1997).


$$We = ((1/2) * Yp * Pp) / V \quad (\text{kgf-cm} / \text{cm}^3)$$

Donde:

Yp: Deflexión hasta el limite proporcional (cm)

Pp: Carga hasta el L.P. (kgf)

V : Volumen de la probeta (cm³)

La expresión antes mencionada corresponde al área bajo la curva en la zona elástica del diagrama carga / deflexión.

ANEXO 8

Trabajo Plástico (Wp)

Corresponde a la energía que se ha disipado en forma de calor y una pequeña parte en la recuperación de la deformación (Gascón, 1997).

Esta representado por el área en la zona plástica del diagrama carga / deflexión.

$$W_p = (A_2 / V) * Q \quad (\text{kgf-cm} / \text{cm}^3)$$



Donde :

A₂: Area de la zona Plástica (kgf-cm)

V: Volumen de la probeta (cm³)

Q: Factor que representa el trabajo de un cm² del gráfico.

ANEXO 9

Trabajo Total (W_t)

El trabajo total esta representado por el área total bajo la curva del diagrama carga / deflexión (Salas, 1997).

$$W_t = (W_e + W_p) = (A_t * Q) / V \text{ (kgf-cm/cm}^2 \text{)}$$

Donde :

W_e : Trabajo elástico (Kgf-cm/cm³)

W_p : Trabajo plástico (kgf-cm/cm³)

Q : factor de corrección (kgf-cm/cm²)

V : Volumen de la probeta (cm³)



ANEXO 10Coeficiente de Tetmajer (η)

Valenzuela y Nakayama 1991, explican que este coeficiente corresponde a un detector sensitivo de los defectos de la madera en flexión con valores cercanos a 0.7 para madera estructural.

$$\eta = (At) / (Pm * Ym) \quad (\text{adimensional})$$

Donde :

At: Area total bajo la curva del gráfico carga deflexión

Pm: Máxima carga hasta la ruptura (kgf)

Ym: Deflexión máxima correspondiente a la máxima carga (cm)

ANEXO 11Módulo Plástico de Janka (Z)

Es un indicador de plasticidad de la madera en flexión (Valenzuela y Nakayama, 1991).

$$Z = (Y_m - Y_p) / (P_m - P_p) \quad (\text{cm} / \text{kgf})$$

Donde :

P_p : Carga en el límite proporcional (kgf)

P_m : Carga máxima en la ruptura (kgf)

Y_m : deflexión máxima (cm)

Y_p : Deflexión hasta el límite proporcional (cm)

ANEXO 12Trabajo Especifico de Janka (α)

Este parámetro representa el trabajo realizado por la carga hasta el quiebre o falla de la viga, es un indicador de la tenacidad de la pieza de madera.

Tenacidad corresponde a la capacidad de la madera para absorber energía al aplicarse una carga que actúa en forma instantánea (Infor, 1991) citado por Salas (1997).

$$\alpha = At / Ym \quad (\text{kgf})$$



Donde :

At: Area total bajo la curva del gráfico carga/deflexión (kgf-cm)

Ym: Máxima deflexión correspondiente a la carga (cm)