

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE LA MADERA

**EFFECTO DE LA TASA DE CRECIMIENTO EN LAS PROPIEDADES
MECANICAS DE LENGA EN UN RENOVAL EN TIERRA DEL
FUEGO**

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero de la Madera

FELIPE ANDRÉS LABARTHÉ ESCOBEDO

Profesores Guías: Sr. José Tomás Karsulovic Carrasco
Ingeniero Civil Mecánico
Ingeniero de L'Ecole Superieure du Bois

Sr. Harald Schmidt van Marle
Dr., Ing. Forestal

SANTIAGO-CHILE

2005

**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE LA MADERA**

**EFFECTO DE LA TASA DE CRECIMIENTO EN LAS PROPIEDADES
MECANICAS DE LENGA EN UN RENOVAL EN TIERRA DEL FUEGO**

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero de la Madera

FELIPE ANDRÉS LABARTHÉ ESCOBEDO

Calificaciones:

Profesor Guía Sr. Tomás Karsulovic	6.5	.....
Profesor Guía Sr. Harald Schmidt	6.5	.....
Profesor Consejero Sr. Alejandro Bozo	6.6	.....
Profesor Consejero Sr. Sergio Donoso	5.8	.....

SANTIAGO – CHILE

2005

A mis Padres

AGRADECIMIENTOS

Quisiera comenzar agradeciendo a quienes hicieron posible el desarrollo de esta Memoria: a mis profesores guías Tomás Karsulovic C. y Harald Schmidt van M. por la oportunidad de tener una experiencia importante en el extremo de nuestro país y por su apoyo y colaboración, a mis profesores consejeros Alejandro Bozo G. y Sergio Donoso C, por su disposición en todo momento, a la Empresa Forestal Russfin Ltda. y a su personal por facilitar el material y transporte.

Un especial abrazo a todos mis amigos que me acompañaron este hermoso e interesante desafío, además agradecido de la gran calidad humana de profesores y funcionarios que hicieron grato el día a día. Y a Iván Zamorano Zamora por su espíritu de superación inalcanzable.

ÍNDICE

RESUMEN

SUMMARY

INTRODUCCIÓN	1
1 ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS.....	4
1.1 Antecedentes Generales.....	4
1.1.1 Distribución y Superficie.....	4
1.1.2 Estructura y Dinámica.....	4
1.1.3 Crecimiento.....	5
1.1.4 Características de la madera	6
2. MATERIAL Y MÉTODOS.....	10
2.1 Material.....	10
2.1.1 Rodal seleccionado	10
2.2 Método.....	11
2.2.1 Selección de árboles y probetas.....	11
2.2.2 Análisis del crecimiento de los árboles.....	14
2.2.3 Análisis de las propiedades de la madera.....	14
2.2.3.1 Normas	14
2.2.3.2 Ensayos mecánicos.....	15
2.2.4 Determinación de la densidad.....	22
2.2.5 Análisis estadístico.....	23
3. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	24
3.1 Estructura del rodal.....	24
3.2 Crecimiento de los árboles del renoval.....	24

3.2.1 Crecimiento en altura.....	25
3.2.1.1 Incremento anual medio en altura.....	26
3.2.2 Crecimiento del radio	26
3.2.2.1 Incremento anual periódico del radio a lo largo del fuste	27
3.3 Propiedades mecánicas.....	30
4. CONCLUSIONES.....	36
5. BIBLIOGRAFÍA.....	38
ANEXOS	

RESUMEN

El renoval seleccionado para la realización de éste estudio, tiene una edad de 90 años, abarca una superficie de 50 hectáreas, se generó a partir de un incendio forestal, que eliminó casi la totalidad de los árboles del bosque original. Este renoval, está ubicado en el predio "Cazuelas", propiedad de la Empresa Forestal Russfin Ltda., situada en la Comuna de Timaukel, Provincia de Tierra del Fuego, XII Región de Magallanes y de la Antártica Chilena.

En el renoval se seleccionaron 3 tipos de árboles que se diferencian por la tasa de crecimiento. En ellos se midieron, los incrementos de altura y los incrementos diametrales a lo largo del fuste. Se determinaron las propiedades mecánicas flexión estática, tenacidad, compresión paralela, clivaje (radial y tangencial), cizalle (radial y tangencial), dureza (paralela, normal radial y tangencial). Conjuntamente se determinaron las propiedades físicas, contenido de humedad y densidad de la madera.

Los ensayos se realizaron siguiendo las prescripciones de la Norma Francesa AFNOR, con probetas libres de defectos, a un contenido de humedad aproximado de un 11 %.

El incremento anual promedio obtenido para los distintos crecimientos fueron:

- Árboles de crecimiento lento 22,2 cm en altura y 1,6 mm en radio,
- Árboles de crecimiento moderado 21,5 cm en altura y 2,3 mm en radio
- Árboles de crecimiento rápido 22,9 cm en altura y 3,1 mm en radio.

La densidad de la madera de los diferentes tipos de árboles varía dentro de márgenes estrechos y no presenta una relación directa en función de la tasa de crecimiento.

En general no es posible establecer alguna relación entre las propiedades mecánicas del renoval con las tasas de crecimiento, solo el módulo de ruptura en flexión estática disminuye a medida que aumenta la velocidad de crecimiento. Las propiedades de tensión en el límite de proporcionalidad y módulo de elasticidad en flexión estática y cizalle

tangencial no presentaron diferencias significativas frente a la variación de la velocidad de crecimiento.

Palabras claves: Renoval, tasa de crecimiento, propiedades mecánicas.

SUMMARY

The selected second growth forest to develop the investigation has 90 years old, it spreads out in 50 ha. of area and grew up from a forest fire wich eliminated almost completely the original forest. This second growth forest is located in "Cazuelas" county, property of Empresa Forestal Russfin Ltda., in Commune of Timaukel, Province of Tierra del Fuego, Region of Magallanes y Antártica Chilena.

In the second growth forest were selected three kinds of trees differenced by its rate of growth. In each tree was measured the increase in height and diameters through the length of timber. Also, was measured the bending, impact, parallel compression, cleavage (radial and tangential), shear (radial and tangential) and hardness (parallel, radial normal and tangential). As well as were determined the physical properties, moisture content and density of wood.

The tests were made following the French standard prescription AFNOR, with free fault specimens and using moisture content of 11% approximated.

The averages in annual increase obtained for the different growth were:

- 22,2 cm in height and 1.6 mm in radio to trees with slow growth
- 21,5 cm in height and 2.3 mm in radio to trees with moderated growth
- 22,9 cm in height and 3.1 mm in radio to trees with fast growth

The density of woods varies in each kind of tree in narrows margins and it has not directed relation with the rate of growth.

As a general rule is not possible set any relation between mechanics properties and rate of growth, the exception is the bending MOR, which reduce its values while the speed of growth increase. The bending test (σf y Ef) and tangential shear test did not show any important difference with growth speed variations.

Keywords: Second growth forest, rate of growth, mechanics properties.

INTRODUCCIÓN

La Lenga es la especie de más amplio rango de distribución en la Patagonia, abarcando aproximadamente 2000 km de norte a sur, ubicando a los bosques de mayor valor comercial desde Alto Palena hasta Magallanes (Uriarte y Grosse, 1991).

En Tierra del Fuego los bosques se desarrollan en laderas húmedas drenadas, donde la Lenga es la especie dominante. Los árboles maduros en los bosques aptos para la producción alcanzan alturas entre 15 y 20 metros y excepcionalmente llegan a los 27 metros; los fustes tienen diámetros entre 30 y 70 centímetros y a veces es posible encontrar dimensiones por sobre un metro de diámetro. La densidad de los bosques de Lenga es muy variable y depende de la fase de desarrollo en que éste se encuentre (Chávez, 2002).

Para los árboles en los renovales su crecimiento puede asimilarse a las condiciones que se esperan en los bosques manejados. Normalmente presentan un mayor crecimiento que los bosques primarios, lo que se explica por el establecimiento de la regeneración bajo una cobertura menor.

Según sean las condiciones del medio y los patrones de crecimiento de los árboles, se pueden presentar diferencias en las propiedades de la madera, que ocurren en una misma especie, de árbol en árbol, en la madera tomada de varias zonas del mismo árbol o dentro de una misma pieza madera.

Dentro del bosque los árboles presentan diferentes tasas de crecimiento, que pueden generar variaciones en las propiedades mecánicas de la madera. Esto se debe a que los anillos de crecimiento muestran diferencias en sus densidades, dependiendo de la proporción de madera de verano y primavera en cada uno de ellos, causado por las diferencias en grosor de paredes, ancho de lumen y largo de células.

Aunque existen investigaciones que determinan las propiedades mecánicas de la Lenga, no existen aún estudios sobre la influencia de la velocidad de crecimiento en dichas propiedades de un renoval de Lenga.

Por esta razón, en el presente estudio, se determinaron las propiedades mecánicas de la madera en función de 3 categorías de tasas de crecimiento, con el fin de poder establecer alguna relación entre estas dos variables.

Los objetivos de esta investigación son por consiguiente:

Objetivo General

Analizar el efecto que tiene la tasa de crecimiento en las propiedades mecánicas de la madera en un renoval de Lenga de 90 años.

Objetivos Especificos

- Determinar la tasa de crecimiento de los árboles en los distintos tipos de crecimiento.
- Determinar las propiedades mecánicas en los distintos tipos de crecimiento.
- Establecer alguna relación entre la tasa de crecimiento con algunas propiedades mecánicas de la Lenga en el renoval de estudio.

Nomenclatura

- DAP : Diámetro a la altura del pecho.
- σf : Tensión unitaria de flexión en el límite de proporcionalidad.
- Rf : Módulo de ruptura a la flexión.
- Ef : Módulo de elasticidad a la flexión.
- T : Energía absorbida por unidad de sección, Tenacidad.
- Rc : Tensión unitaria de ruptura en compresión.
- Rcvr : Resistencia al clivaje radial.
- Rcvt : Resistencia al clivaje tangencial.
- Rczr : Tensión unitaria de ruptura en cizalle radial.
- Rczt : Tensión unitaria de ruptura en cizalle tangencial.
- Rdpl : Resistencia a la dureza paralela.
- Rdnr : Resistencia a la dureza normal radial.
- Rdnt : Resistencia a la dureza normal tangencial.
- D a,a : Densidad actual, basada en la masa y volumen de la probeta al contenido de humedad de ensayo.
- CH : Contenido de humedad

1. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

1.1 Antecedentes Generales

1.1.1 Distribución y Superficie

El tipo forestal Lenga (*Nothofagus pumilio* Poepp. Endl. Krasser), está definido como aquel en que la especie se encuentra en forma pura o asociada con otras especies, representado a lo menos con un 50 % de los individuos por hectárea (Decreto Supremo N ° 259, artículo 19, letra G). Estos bosques pertenecen a la Región del Bosque Andino Patagónico, Sub-Región de las Cordilleras Patagónicas y, como formación vegetal, se define como Bosque Caducifolio de Magallanes (Gajardo, 1992)

Los bosques de Lenga ocupan una superficie de 3.400.304 hectáreas, lo que equivale al 25.3 % de la superficie de bosques naturales del país. En la Región de Magallanes y la Antártica Chilena la superficie de bosques de Lenga es de 1.130.000 hectáreas, lo que corresponde al 43 % de los bosques de la región. De esta cifra el 62 % se presenta como bosque adulto, 5 % como bosques adultos-renoval, el 5 % como renovales (53.804 hectáreas) y el 28 % restante como bosque achaparrado (CONAF-CONAMA-BIRF, 1997).

Se presenta desde el paralelo 36° 56' S, Provincia de Ñuble, hasta 56° S, área del Cabo de Hornos. Hasta el paralelo 45° S se encuentra a lo largo de la Cordillera de los Andes, formando el límite arbóreo altitudinal sobre los 1.000 m. Hacia el sur en la Región de Coyhaique y en el sector continental de Magallanes, en algunas islas del litoral de Magallanes, en Tierra del Fuego y en las islas de más al sur hasta el Cabo de Hornos, el tipo forestal Lenga se desarrolla a menores altitudes, bajo los 700 m.s.n.m., hasta encontrarse al nivel del mar en Magallanes (Donoso, 1981).

1.1.2 Estructura y Dinámica

El bosque de Lenga en general, se presenta en forma de un mosaico de rodales producto de los distintos tipos de bosque, sitios y fases de desarrollo, lo que le da un carácter de bosque multietáneo por bosquetes (Schmidt y Urzúa, 1982).

La densidad de los bosques de Lenga es muy variable y depende de la fase de desarrollo en que éste se encuentre. En el caso de los renovales la densidad puede llegar a tener del orden de 1500 a 1800 árboles por hectárea y las existencias de volúmenes entre los 300 y 500 m³/ha (Chávez, 2002).

La dinámica natural más frecuente de la Lenga corresponde al autoreemplazo de la masa arbórea luego de la muerte de los individuos adultos. Dicho proceso se evidencia cuando el bosque pasa de la etapa de envejecimiento a una desmoronamiento, momento que permite la entrada de luz para la germinación y desarrollo de la regeneración (Larson, 2000).

Un factor ambiental importante en la estabilidad del bosque es el viento, por lo que los renovales requieren para su desarrollo un dosel que entregue una adecuada protección contra éste y una suficiente entrada de luz (Uriarte y Grosse, 1991).

1.1.3 Crecimiento

Los árboles de Lenga tienen un buen crecimiento juvenil en altura, mientras crecen bajo dosel o protegidos por formas favorables del terreno. Apenas están expuestos a la acción mecánica y al efecto secante del viento, se limita el crecimiento. Razón por la cual los bosques, al renovarse, no alcanzan alturas mayores que las anteriores (Schmidt y Urzúa, 1982).

El crecimiento de la Lenga baja en las regiones más australes. Esto se explica por causas ambientales, como son períodos vegetacionales más cortos y la presencia de sitios más pobres. El crecimiento en altura y diámetro de renovales de Lenga está influenciado por la luz que reciben los árboles, obteniendo los mejores crecimientos en áreas de menor cobertura, demostrándose la baja tolerancia de la especie (Uriarte y Grosse, 1991).

El crecimiento de los bosques varía dependiendo de la localidad. En general, se puede indicar que la especie alcanza una altura media de 25 a 27 m, llegando hasta los 30 m en sectores protegidos de la XI Región (Uriarte y Grosse, 1991).

Es característico de la Lengua que presente un crecimiento de altura en los primeros 70 años de 25 a 35 cm/año. Posteriormente, este crecimiento disminuye a 10 cm/año entre los 90 y 100 años, a 4 cm/año entre los 140 y 150 años y a 1 cm/año entre los 190 y 200 años (Manosalva, 1995). En un estudio realizado por Larson (2000), en la XII región, determina que el incremento anual medio en altura, correspondiente a los 90 años de edad del renoval analizado, es de 20 cm/año.

Schmidt y Urzúa (1982), en un estudio realizado en la reserva forestal Skyring, señalan que la Lengua presenta un incremento diametral muy bajo en condiciones naturales alcanzando en promedio un valor de 1,7 mm/año; sin embargo encontraron árboles cuyos incrementos diametrales promedio son superiores a los 4 mm/año. Para el caso de los renovales sometidos a raleo el incremento diametral medio va desde 2,1 hasta 4,9 mm/año (Larson, 2000).

1.1.4 Características de la madera

Características macroscópicas y microscópicas

Desde un punto de vista macroscópico, la albura presenta un color blanquecino-rosado y el duramen una tonalidad amarillo-rosado, expuesto a la intemperie se oscurece a medida que transcurre el tiempo (Tortorelli, 1940). También es conocido como raulí blanco, con una tonalidad parecida al coihue, es decir, castaño pálido con tonalidades rosadas, aunque un poco más pálida, con anillos de crecimiento visibles.

En las caras longitudinales presenta brillo suave que se va perdiendo a medida que transcurre el tiempo, el veteado es demarcado y la textura fina y homogénea, con un grano derecho (Tortorelli, 1940).

Microscópicamente en un corte transversal, los vasos son extremadamente numerosos, 300 – 400 por mm², dispuestos irregularmente en el tejido; todos son del tipo múltiple, unidos de 2 hasta 14 poros, alineados a lo largo de los radios leñosos; algunos solitarios tienen forma elíptica o redonda. Son extremadamente pequeños, puesto que el diámetro máximo no pasa de 45 μ, medio 30 μ y mínimo 20 μ (Tortorelli, 1940).

Los vasos son elementos vasculares de 300 – 800 μ de largo, que presenta apéndices de 40 – 60 μ de largo; tienen placas de perforación simple inclinada con perforaciones simples, laterales o terminales; puntuaciones escaleriformes bien visibles, habiendo también puntuaciones oblongas; las puntuaciones internas son generalmente espiralazas. En el interior de los vasos existe principio de tilosis (Tortorelli, 1940).

Las fibro-traquidas de 600 – 900 μ de longitud, con puntuaciones lenticulares apenas areoladas. Por otro lado los radios leñosos son muy numerosos. 11 – 15 por mm, uniseriados y dispuestos irregularmente, la altura máxima es de 650 μ , media 350 μ y mínima 80 μ ; llegando apenas a 7 – 10 μ de ancho (Tortorelli, 1940).

Propiedades físicas

El secado artificial presenta una mediana dificultad, la temperatura promedio recomendable no debe ser superior a los 65 °C. Los principales defectos corresponden a deformaciones y colapsos. Se ca es muy estable dimensionalmente (Díaz-Vaz, 1989). En el Cuadro 1 se muestran valores correspondientes a las densidades en estado verde y seco, además de sus contracciones.

Cuadro 1: Densidades y contracciones de la Lengua.

Densidad kg/m ³	Básica 464	Aparente 584	Anhidra 548
Contracción (%)	Tangencial 7,2	Radial 3,3	Volumétrica 10,5

Fuente: INFOR-CONAF 1997.

La madera es moderadamente durable de la cual se espera una vida útil superior a 5 años e inferior a 15 años, cuando esta en servicio sin tratamiento preservador de una calidad comercial promedio, usada en contacto con el suelo, en condiciones climáticas normales existentes en Chile (INFOR-CONAF, 1997).

Como elemento interior sin contacto con el suelo orgánico esta duración es mayor. Frente al ataque de hongos se le clasifica como resistente. En la preservación, la especie presenta en tratamientos de inmersión una absorción muy escasa con una penetración de los preservantes irregular (Díaz-Vaz, 1989).

En cuanto a su uso, éste es variado, utilizándose en estructuras de construcción, pisos, revestimientos interiores y exteriores, muebles, barriles, embalajes, yugos, chapas y terciados (Torres, 1971).

Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de una especie miden la capacidad o aptitud para resistir cargas externas, las que pueden provenir de diferentes solicitaciones. En la Lenga esta capacidad es considerada medianamente alta, teniendo entre otras propiedades una dureza clasificada como intermedia, presentando, en el estado seco, valores de 369 y 556 Kg en dirección normal y paralela a las fibras respectivamente (INFOR-CONAF, 1997).

A continuación en el Cuadro 2 se presentan algunos datos publicados por INFOR (1975) sobre propiedades mecánicas y asociadas de la Lenga en la provincia de Magallanes, de acuerdo a las prescripciones de la norma ASTM 143 65 (2).

Cuadro 2: Propiedades mecánicas de la Lengua.

ENSAYO	DETER.	UNIDAD	N° OBS.	ESTADO VERDE		ESTADO SECO (Ch 12%)	
				MEDIA	DESVIACION STANDARD	MEDIA	DESVIACION STANDARD
FLEXION ESTATICA	σf	Kg/cm ²	22	237	40,3	436	63,4
	$R f$	Kg/cm ²	22	495	49,2	836	69,6
	$E f$	T/cm ²	22	76,6	9,85	97,6	78,4
COMPRESIÓN AXIAL	σf	Kg/cm ²	22	157	27,6	263	15,8
	$R f$	Kg/cm ²	22	204	24,8	428	34,9
	$E f$	T/cm ²	22	84,8	9,73	100,7	11
COMPRESIÓN NORAMAL	σf	Kg/cm ²	22	35,4	3,98	70,1	5,2
	$R f$	Kg/cm ²	22	67,8	7,1	131	114
TRACCION NORMAL RD	$R trd$	Kg/cm ²	22	24,7	6,58	55,3	9,2
TRACCION NORMAL TG	$R ttg$	Kg/cm ²	22	44,9	11,2	71,7	12
CIZALLE RADIAL	$R czr$	Kg/cm ²	22	64	4,42	90,4	7,4
CIZALLE TANGENCIAL	$R czt$	Kg/cm ²	22	74	8,01	107,8	12
CLIVAJE RADIAL	$R cvr$	Kg/cm	22	38,1	5,36	56,1	6,1
CLIVAJE TANGENCIAL	$R cvt$	Kg/cm	22	52,6	8,43	73,5	7,6
DUREZA PARALELA	$R dpl$	kg	22	308	25,4	508	36,3
DUREZA NORMAL	$R dnr$	kg	22	210	20,7	338	25,3
	CH	%	222	50,3	7,6	12,3	0,4
	Dens.	Kg/cm ³	242	679	36,3	565	36,3

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Material

2.1.1 Rodal seleccionado

El roval seleccionado para la realización del estudio está ubicado en el predio “Cazuelas”, propiedad de la empresa Forestal Russfin Ltda., ubicada en la Comuna de Timaukel, Provincia de Tierra del Fuego, XII Región de Magallanes y de la Antártica Chilena. Se encuentra situado geográficamente en los 53°45` latitud Sur y 69°11` longitud Oeste, a 150 metros sobre el nivel del mar (Figura 1).



Figura 1: Ubicación geográfica del sector en estudio

El roval abarca una superficie de 50 hectáreas, se generó a partir de un incendio forestal que eliminó la mayor parte de la cobertura vegetal. Actualmente el bosque está constituido por dos estratos, con una densidad total de 1379 árboles por hectárea,

existiendo una fuerte competencia por la ocupación de espacio (Chávez 2002). El área basal es de 68 m²/ha y el volumen 657 m³/ha. La altura promedio de los árboles dominantes es de 22 m (Schmidt, Cruz, Promis, Alvarez, 2003).

Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen, el clima de la zona de estudio corresponde al tipo trasandino con degeneración esteparia "Dfk`c". La precipitación anual oscila entre los 400 y 620 mm, donde buena parte de las precipitaciones invernales cae en forma de nieve. Las temperaturas fluctúan entre los - 3°C a 8°C (promedio anual), descendiendo la temperatura media del mes más frío bajo los -3,2°C (Pisano, 1977).

2.2 Método

2.2.1 Selección de árboles y obtención de probetas

Para analizar el crecimiento de los árboles en el renoval y el efecto que tiene la tasa de crecimiento sobre algunas propiedades mecánicas de la madera, se seleccionaron un total de 21 árboles, diferenciados equitativamente en tres categorías de crecimiento, indicadas a continuación:

- i) Crecimiento lento – árboles de 21 a 30 cm de DAP.
- ii) Crecimiento moderado – árboles de 31 a 38 cm de DAP.
- iii) Crecimiento rápido – árboles de 39 a 54 cm de DAP.

De cada árbol se le extrajeron rodela a la altura del tocón, en los extremos de cada troza y a continuación cada 2 metros hasta el ápice, las cuales fueron utilizadas para el análisis de tallo (Figura 2).

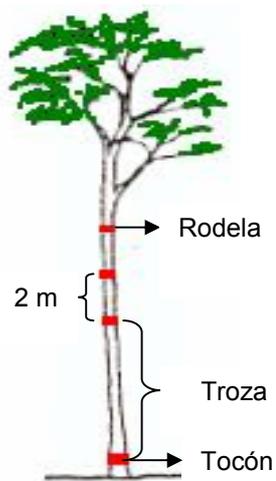


Figura 2: Esquema de extracción de trozas, y rodela utilizadas para el análisis de tallo.

Para la determinación de las propiedades mecánicas, se seleccionaron trozas de los mismos árboles (Figura 3).



Figura 3: Trozas de los árboles seleccionadas para la obtención de probetas.

De cada una de las trozas escogidas se extrajo de la zona central una vigueta de 7 centímetros de espesor, con anchos variables dependiendo del diámetro de cada troza con largos entre los 3 y 4 metros (Figura 4). El espesor de las viguetas se explica por el programa de secado que limita el uso espesores mayores.

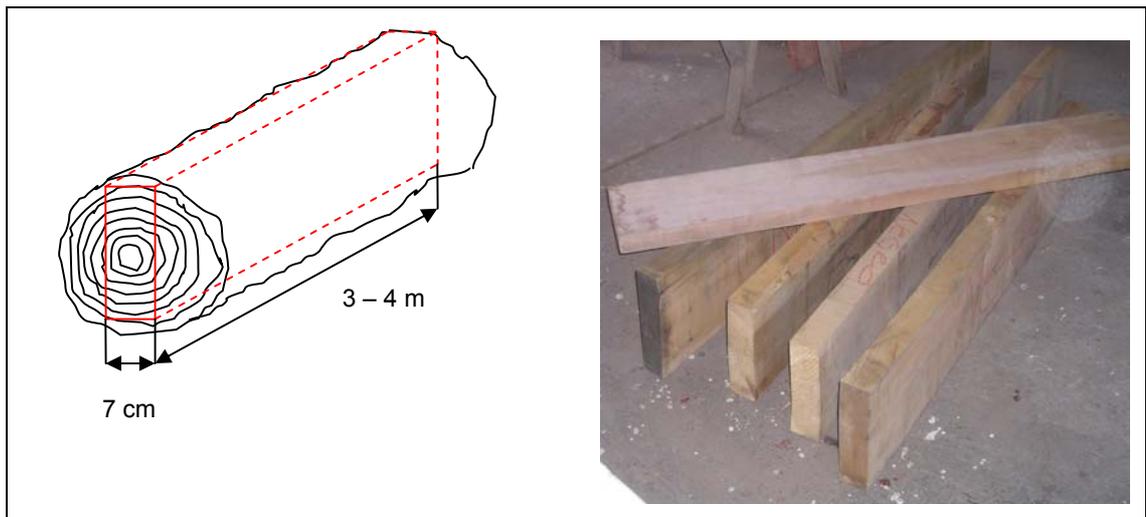


Figura 4: Esquema de corte de las vigas obtenidas de las trozas seleccionadas.

Una vez que fueron obtenidas las vigas, éstas se homogenizaron hasta un 12 % aproximado de contenido de humedad, en una cámara Hildebrand Brunner que trabaja con un rango de temperatura entre la ambiental y 65°C, con un porcentaje de humedad relativa que supera el 90 %. Posteriormente las vigas fueron agrupadas según el tipo de crecimiento del árbol de donde se extrajeron, para luego escuadrar y elaborar las probetas (Figura 5).



Figura 5: Probetas utilizadas en los ensayos mecánicos.

2.2.2 Análisis del crecimiento de los árboles

Con la finalidad de describir el renoval en lo referente a su crecimiento en altura e incrementos radiales, se obtuvieron rodela a distintas alturas, de la totalidad de los árboles seleccionados.

Las mediciones se realizaron en sentido de corteza a corazón, en cada rodela, sobre una línea de radio medio L (Figura 6). Contabilizando el crecimiento de los anillos en períodos de 10 años (2004-1994...).

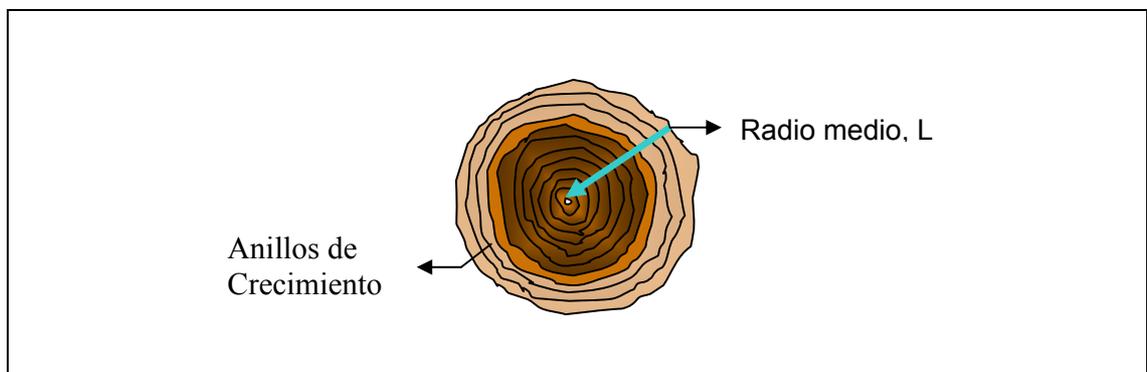


Figura 6: Medición de anillos de crecimiento.

2.2.3 Análisis de las propiedades mecánicas de la madera

2.2.3.1 Normas

El número de trozas y probetas por tipo de crecimiento se determinó por la Norma Chilena 968 Of 86 la cual establece que: “para estudios preliminares que permitan obtener un promedio de la propiedades físicas y mecánicas, se seleccionarán como mínimo 5 árboles, con 10 probetas por ensayo, para trabajar con una seguridad estadísticas del 95 %”. En el presente estudio por razones de seguridad se seleccionaron más de 5 árboles y se obtuvieron 20 probetas para cada ensayo, lo cual constituye un total de 160 probetas por cada tipo de crecimiento.

Los ensayos y dimensiones de las probetas se realizaron de acuerdo a las indicaciones de la norma francesa AFNOR B 51 – 002 a 005 y B 51 – 007 a 013 (Association Francaise the Normalization), con la excepción de los ensayos de Dureza, en los que utilizó la Norma Chilena 978 Of 86.

2.2.3.2 Ensayos mecánicos

Los ensayos de propiedades mecánicas se realizaron en una máquina Universal de ensayos “Amsler” tipo 4 DBZF, con una capacidad máxima de 4000 kg.

Flexión estática

Las dimensiones de las probetas que define la norma para este ensayo son de sección cuadrada de 20 x 20 mm y de 340 mm de longitud.

Para realizar este ensayo la máquina tiene un dispositivo conformado por una barra horizontal de desplazamiento vertical, sobre la cual están montados dos puntos de apoyo, con cantos cilíndricos, separados a una distancia de 280 mm entre sí. La probeta es colocada sobre los apoyos inferiores, de tal manera que su punto medio quede exactamente abajo del elemento de carga puntual central (Figura 7).

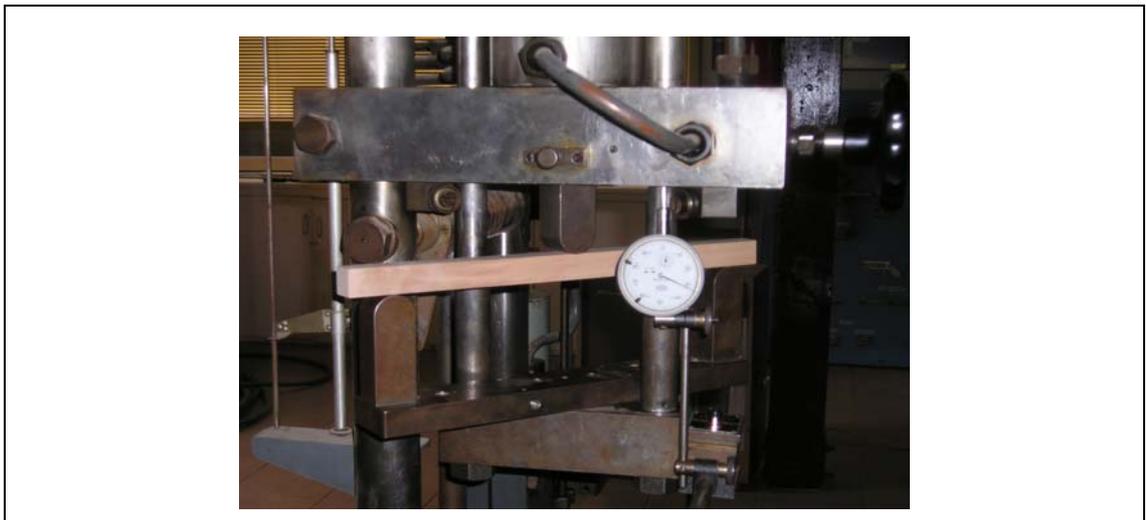


Figura 7: Ensayo flexión estática.

La carga se aplica a través de una bomba hidráulica, desplazando lentamente la barra horizontal junto con la probeta hacia arriba, haciendo presión sobre el elemento de carga. El dinamómetro de la máquina indica la carga que se va aplicando. Por otra parte, es necesario registrar las deformaciones producidas por la carga, a medida que esta se incrementa, para esto se empleo un reloj comparador con precisión de 0,01 mm.

La aplicación de la carga debe realizarse según norma en dirección radial a los anillos de crecimiento, a una velocidad constante, del orden de los 5 kg/seg hasta producir la falla de la probeta. La carga en ese instante se denomina carga máxima o de ruptura, la cual permite obtener la tensión de ruptura o modulo de ruptura.

Las relaciones a emplear son:

Módulo de ruptura,

$$Rf = \frac{1,5 \times L \times Pr}{b \times h^2} \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

Tensión en límite de proporcionalidad,

$$\sigma_f = \frac{1,5 \times Pp}{b \times h^2} \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

Módulo de elasticidad,

$$Ef = \frac{L^3 \times m}{48 \times I} \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

L = Luz o distancia entre los apoyos (cm.)

b = Base promedio de la probeta ensayada (cm.)

h = Altura promedio de la probeta (cm.)

Pp = Carga límite de proporcionalidad (kg.)

P_r = Carga de ruptura (kg.)

m = Coeficiente angular en la parte recta del gráfico carga-deformación.

I = Momento de inercia ($I = b \times h^3 / 12 \text{ cm}^4$).

Tenacidad

Las probetas para este ensayo son de sección cuadrada de 20 x 20 mm y de 300 mm de longitud.

Las probetas son instaladas sobre dos apoyos de canto cilíndrico, con una separación de 240 mm entre sí. Luego un martillo pendular, con un peso de 10 kilos, es soltado de una altura de 1 metro, impactando la probeta en su punto medio, en dirección tangencial a los anillos y provocando la ruptura (Figura 8).

Lo que registra la máquina en este ensayo es la capacidad que posee la madera de absorber energía hasta la fractura, es decir la tenacidad del material.



Figura 8: Ensayo flexión dinámica.

Compresión Axial

Para este ensayo las probetas utilizadas son de sección cuadrada de 20 x 20 mm y de 60 mm de longitud.

El dispositivo compresor de la máquina consta de dos placas circulares alineadas verticalmente entre sí. La probeta es colocada en la placa inferior, ajustándose por la placa superior, la cual tiene una rótula que permite un apoyo total sobre la superficie de la probeta. La fuerza es ejercida por la placa superior, la cual es registrada en el dinamómetro, indicado su incremento a medida que se desarrolla el ensayo (Figura 9).

La velocidad del ensayo debe ser mantenida constante e inferior a 400 kg/min.

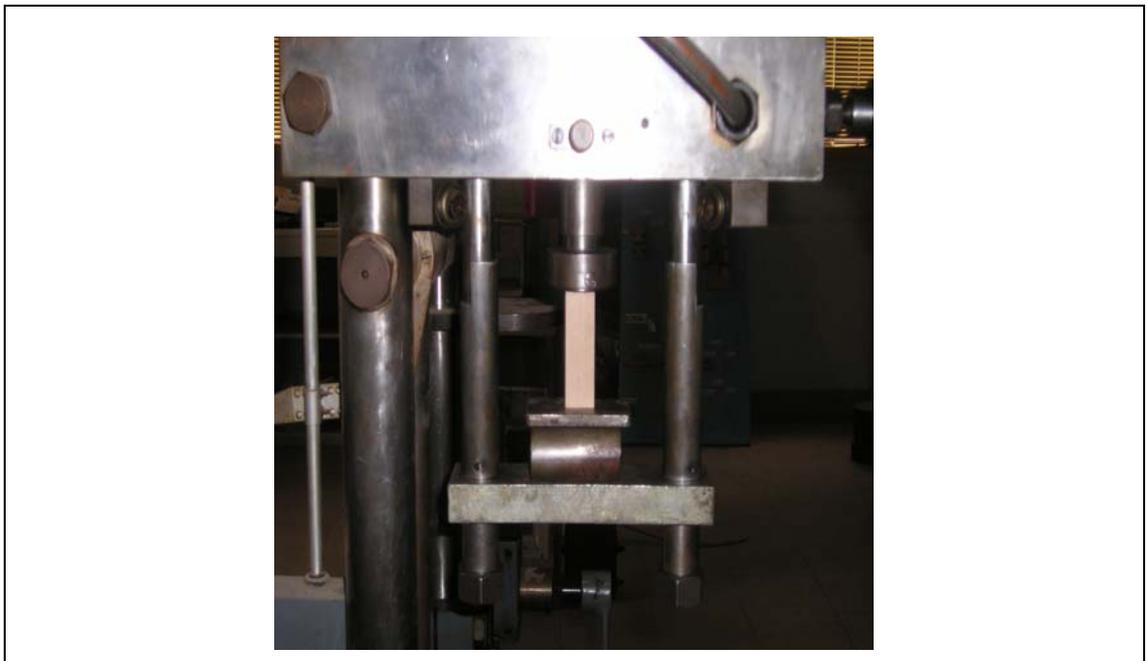


Figura 9: Ensayo compresión axial.

Tensión de ruptura, viene dada por:

$$R_c = \frac{Pr}{A} \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

P_r = Carga de ruptura (kg.)

A = Sección de la probeta (cm^2)

Cizalle

Es la medida de su capacidad para resistir fuerzas que tienden a causar el deslizamiento de una parte sobre otra, adyacente a la anterior. Las solicitaciones de cizalle se producen en mayor o menor grado en la mayoría de los usos de la madera.

Las dimensiones de las probetas usadas son de 20 x 10 x 150 mm, con un área de ruptura de 4 cm^2 . Unas mordazas especiales sujetan la probeta en posición vertical, siguiendo el esfuerzo esta misma dirección obteniéndose un cizalle por tracción (Figura 10). La velocidad del ensayo debe ser mantenida constante e inferior a 400 kg/min.

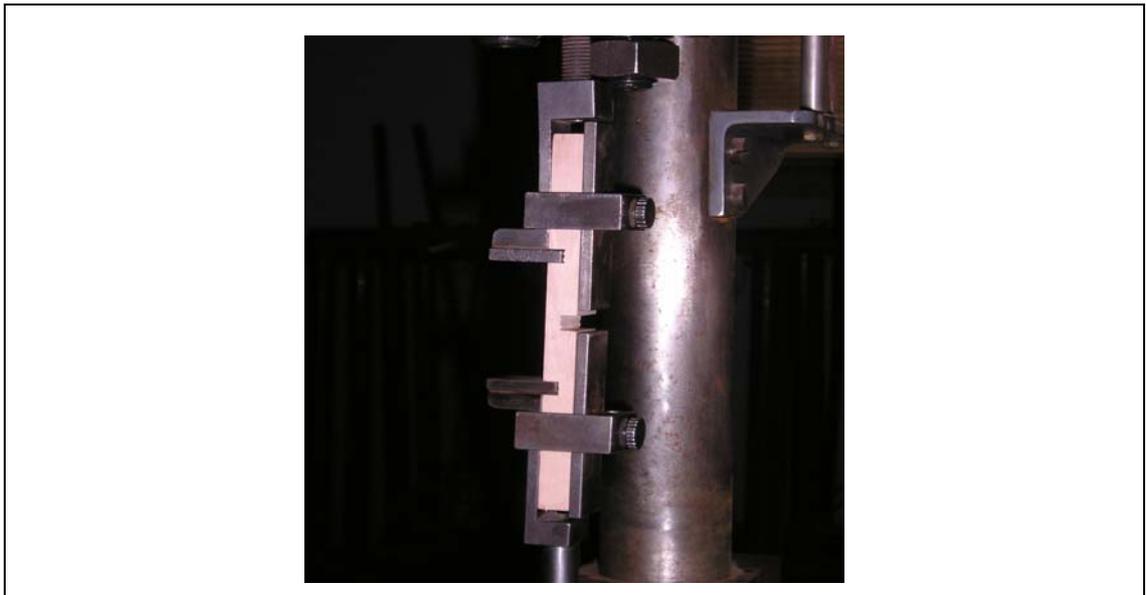


Figura 10: Ensayo cizalle.

En este ensayo se determina el esfuerzo de ruptura en la dirección radial y tangencial.

Tensión de ruptura, viene dada por:

$$R_{cz} = \frac{Pr}{A} \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

Pr = Carga de ruptura (kg.)

A = Sección de la probeta (cm²)

Clivaje

Es la resistencia de la madera al rasgado. Dependiendo de la ubicación de los anillos de crecimiento, con respecto a plano de falla, el clivaje puede ser tangencial o radial.

Para este ensayo se requiere una probeta especial de 20 x 20 x 45 mm, presentando en uno de sus extremos un sacado triangular de 23 mm y en cuyo vértice va un orificio de 4mm de diámetro (Figura 11). La parte inferior de la probeta es fijada en la máquina de ensayos, mientras que en la parte superior se aplica la carga para producir la rajadura de la probeta, quedando registrada en el dinamómetro. La velocidad del ensayo debe ser mantenida constante e inferior a 40 kg/min.

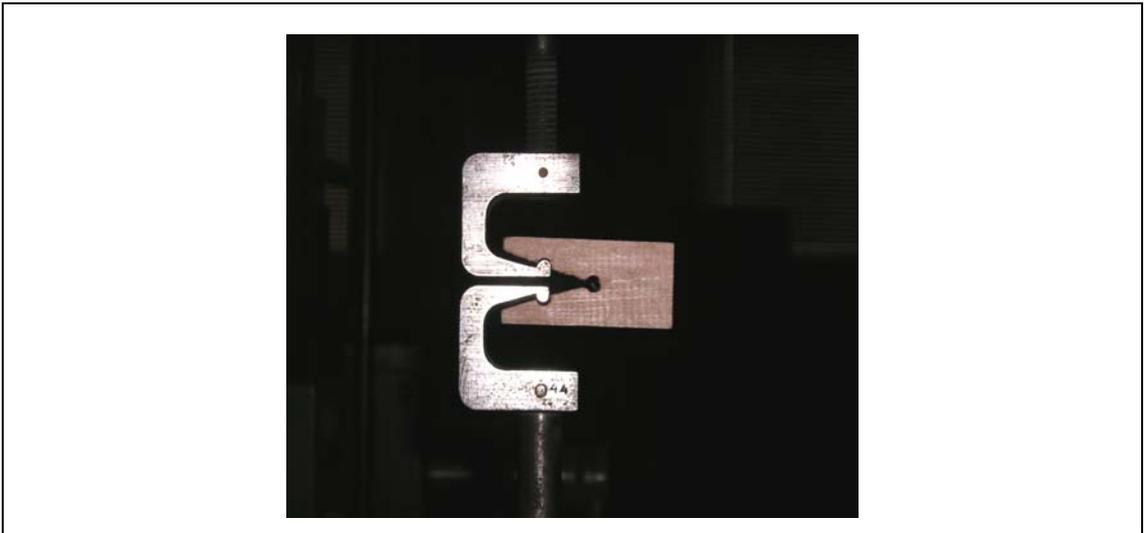


Figura 11: Ensayo clivaje.

En este ensayo se determina la carga de ruptura en dirección radial y tangencial.

Tensión de ruptura, viene dada por:

$$R_{cv} = \frac{Pr}{a}$$

Pr = Carga de ruptura (kg.)

a = Ancho de la Probeta (cm.)

Dureza

Es la resistencia de la madera a la indentación (penetración) de un material sobre otro (pequeña bola de acero sobre la probeta de madera). De este ensayo dependiendo del plano, se puede obtener la dureza paralela a la fibra, dureza normal tangencial y radial.

Las probetas para el ensayo de dureza corresponden a un paralelepípedo cuyas dimensiones son de 50 x 50 x 150 mm.

La máquina de ensayos cuenta con un cabezal, que en su parte inferior central consta con una esfera de 1,13 centímetros de diámetro, la que no tiene movimiento vertical. La esfera esta rodeada con un cilindro metálico en su círculo mayor, impidiendo una mayor penetración de ésta (Figura 12). En este ensayo sólo se registra la carga máxima en kg. La velocidad de incremento de carga debe ser constante e inferior a 6 mm/min.



Figura 12: Ensayo Dureza.

En este ensayo se determina la carga máxima en dirección longitudinal y la carga máxima en dirección transversal en los planos radial y tangencial.

2.2.4 Determinación de la densidad

Una vez terminado los ensayos, se procedió en el menor tiempo posible, a obtener de cada una de las probetas ensayadas, piezas cúbicas de 2 cm de lado, con las cuales se determinó el contenido de humedad promedio de las probetas y densidad actual (Norma Chilena determinación de densidad NCh 176/2. Of 86).

2.2.5 Análisis estadístico

Para comparar los valores medios de las propiedades mecánicas se realizó un análisis de varianza, descrito como unifactorial con tres niveles.

En un primer paso se estableció la hipótesis de medias poblacionales iguales $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$, que corresponden a una misma propiedad mecánica con diferentes tasas de crecimiento, con un nivel de significación del 5 %. En los casos que fue rechazada la hipótesis, se procedió a realizar contrastes ($H_o : \mu_a = \mu_b$) entre las diferentes medias a un nivel de significación del 5 %. En el Anexo 1 se presentan las gráficas de los residuos comprobando la suposición de normalidad.

En los contrastes de medias que resultaron haber diferencias no significativas, se designaron por “DNS”, y por el contrario, al existir diferencias significativas se otorgó la sigla “DS”.

Dado que la comparación de medias nos permite aceptar o rechazar la hipótesis planteada, pero sin indicar la magnitud o grado de variación, se realizó un estudio posterior que permite señalar dichos rangos, entre medias que resultaron tener diferencias.

El método consiste en determinar un valor α tal que:

$$F_o = F_{\alpha, a-1, N-a}$$

Como la confección de las tablas F no permiten conseguir esta igualdad, se fijan distintos rangos de α , indicados a continuación:

Altamente significativa (AS) si:	$\alpha < 1 \%$
Significativa (S) si:	$1 \% < \alpha < 2,5 \%$
Medianamente significativa (MS) si:	$2,5 \% < \alpha < 5 \%$
Poco significativa (PS) si:	$5 \% < \alpha < 10 \%$
No significativa (NS) si:	$10 \% < \alpha$

3. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Estructura del rodal

El bosque está constituido por dos estratos de diferentes edades. El primero es un dosel superior con 40 árboles sobremaduros por hectárea sobrevivientes de la quema. El segundo, esta conformado por 1339 árboles juveniles, de edades que fluctúan entorno a los 90 años. Los valores dasométricos de ambos estratos se presentan en el Cuadro 3 (Schmidt, Cruz, Promis, Alvarez, 2003).

Cuadro 3: Valores dasométricos del rodal en estudio.

Árboles	Arb/ha	Altura Media (m)	Area basal (m ² /ha)	Volumen bruto (m ³ /ha)
Juveniles	1339	20	55	439
Sobremaduros	40	21	13	118
Total	1379	21	68	557

3.2 Crecimiento de los árboles del renoval

En el Cuadro 4 se presentan los valores medios de los árboles analizados agrupados por tipo de crecimiento (lento, moderado y rápido).

La edad del renoval se estimó en 90 años, la que se obtuvo promediando los anillos a la altura del tocón, agregándole 4 años. De la altura de los árboles se puede deducir que el renoval corresponde a un buen sitio del orden de 25 m. El diámetro de los árboles escogidos se hizo variar entre 21 a 54 cm. El detalle de los árboles por tipo de crecimiento se muestra en el Anexo 2.

Cuadro 4: Valores medios por tipo de crecimiento.

Tipo crecimiento	N° de árboles	Edad	Altura (m)	DAP (cm)	Tocón h (m)	Crec. Altura cm/año	Crec. Radial mm/año
Lento	7	86	18,7	26,9	0,30	25,4	1,6
Moderado	7	91	19,6	33,1	0,30	23,4	2,3
Rápido	7	94	20,4	44,7	0,40	23,5	3,1

En un estudio realizado por Larson (2000) en la XII Región, en el sector de Río Rubens, obtuvo para un renoval de similares características un crecimiento diametral medio del DAP de 2,4 mm/año, contra los 2,1 mm/año promedio del renoval de estudio. Esta pequeña diferencia se explica por la menor cantidad de árboles juveniles (1082 arb/há) y una cobertura de árboles sobremaduros menor (20 arb/há) en el renoval de Río Rubens.

3.2.1 Crecimiento en altura

Los árboles correspondientes a los 3 tipos de crecimiento alcanzan alturas similares. Con pocas diferencias entre sus incrementos de altura (Figura 13).

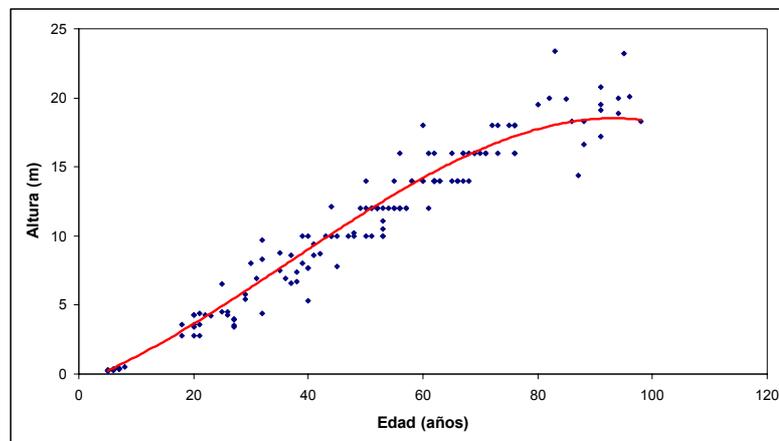


Figura 13: Altura promedio de los árboles del renoval según su edad.

La altura promedio obtenida por Larson (2000) en su estudio fue de 18 m, Schmidt y Caldentey (1994) con árboles provenientes de Skyring obtienen a una edad de 90 años

una altura aproximada de 13 m. Estas diferencias de altura pueden ser explicadas por las distintas condiciones de cobertura del dosel superior.

3.2.1.1 Incremento anual medio en altura

El incremento anual medio (IAM) en altura de los árboles, correspondiente a los 90 años de edad, es de 22,5 cm/año.

La evolución del desarrollo de la altura de los árboles en el tiempo muestra que el incremento anual corriente es creciente, desde los 5 cm/año producidos a los 5 años de edad hasta los 30 cm/año alcanzados en los 46 años, para luego disminuir paulatinamente (Figura 14).

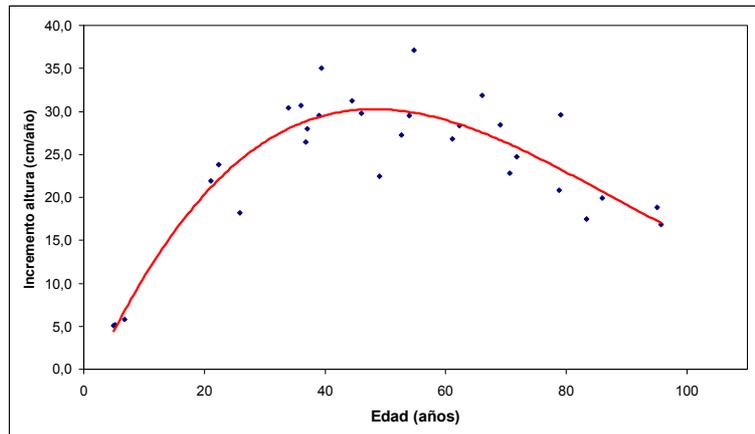


Figura 14: Incremento anual corriente de la altura de los árboles del renoval.

Los árboles del renoval presentan crecimientos anuales medios similares a los obtenidos por Larson (2000) en Río Rubens.

3.2.2 Crecimiento del radio

Los árboles en estudio presentaron las mayores diferencias radiales a la altura del tocón que fluctúan entre los 14 y 22 cm. A medida que se asciende en el fuste los radios disminuyen. La diferencia se hace mínima llegando a la altura total (Figura 15).

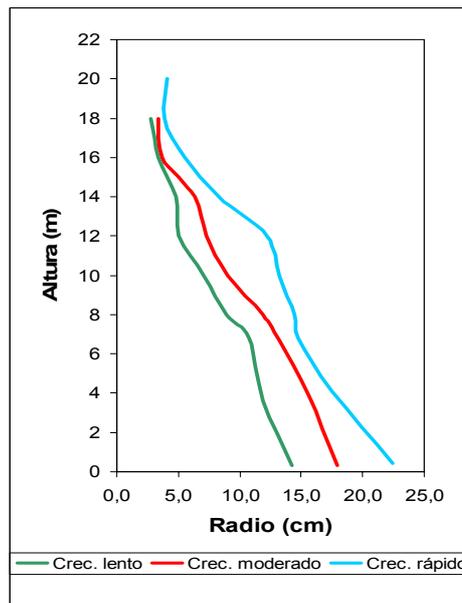


Figura 15: Radio a lo largo del fuste por tipo de crecimiento.

3.2.2.1 Incremento anual periódico del radio a lo largo del fuste

Esta variable se analizó por períodos de 10 años a partir de 1905, a través de toda la existencia de los árboles. En general, a medida que los árboles de los diferentes tipos de crecimiento envejecen, el máximo incremento radial a lo largo del fuste se desplaza hasta una altura de 14 m, para luego disminuir gradualmente.

Como se presenta en el Cuadro 5, los mayores incrementos radiales se producen en los árboles de crecimiento rápido alcanzando los 3,7 mm/año producidos a los 10 m, seguido de los árboles de crecimiento moderado con 2,9 mm/año obtenidos a una altura de 8 m, y finalmente los árboles de crecimiento lento con 2,7 mm/año a una altura de 8 m.

Los árboles de crecimiento rápido son los que presentan mayores incrementos radiales a lo largo del fuste. A los 8 m de altura aumentan su radio en un 40 % con respecto a los árboles de crecimiento lento y un 31 % de lo que lo hacen los de crecimiento moderado.

Los incrementos radiales a los 8 m de altura en los árboles de crecimiento lento y moderado, superan en un 44 % y 13 % los incrementos alcanzados en el tocón respectivamente. Para los árboles de crecimiento rápido a una altura de 10 m el incremento radial supera en un 16 % al obtenido en el tocón.

Cuadro 5: Incrementos radiales por período a distintas alturas por tipo de crecimiento.

Altura fuste	Incremento anual promedio del radio (crecimiento lento)																			
	1905-1914		1915-1924		1925-1934		1935-1944		1945-1954		1955-1964		1965-1974		1975-1984		1985-1994		95-2004	
(m)	mm/año	(%)	mm/año	(%)	mm/año	(%)	mm/año	(%)	mm/año	(%)	mm/año	(%)	mm/año	(%)	mm/año	(%)	mm/año	(%)	mm/año	(%)
0,3	0,9	100	1,2	100	1,4	100	1,4	100	1,6	100	1,7	100	1,9	100	1,9	100	1,4	100	1,1	100
3,6	-	-	-	-	0,5	37	1,7	124	1,9	116	1,8	103	1,9	100	1,8	95	1,6	116	1,2	112
6,8	-	-	-	-	-	-	1,3	93	2,4	150	1,9	109	2,2	114	1,9	99	1,7	121	1,1	98
8	-	-	-	-	-	-	-	-	1,0	59	1,9	112	2,7	144	2,6	135	1,9	136	1,5	136
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	94	2,3	120	2,5	129	1,8	129	1,3	114
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,7	89	2,4	126	2,0	140	1,5	134
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,5	76	1,6	86	2,1	148	1,6	144
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,2	65	1,8	126	1,3	115
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	53	2,1	150	1,2	109
Altura fuste	Incremento anual promedio del radio (crecimiento moderado)																			
	1905-1914		1915-1924		1925-1934		1935-1944		1945-1954		1955-1964		1965-1974		1975-1984		1985-1994		95-2004	
(m)	mm/año	(%)	mm/año	(%)	mm/año	(%)	mm/año	(%)	mm/año	(%)	mm/año	(%)	mm/año	(%)	mm/año	(%)	mm/año	(%)	mm/año	(%)
0,3	1,2	100	1,5	100	2,1	100	2,2	100	2,4	100	2,3	100	2,6	100	2,3	100	2,0	100	1,7	100
3,9	-	-	1,3	87	1,8	86	1,9	86	2,4	100	2,4	102	2,2	85	2,0	89	1,8	90	1,3	77
6,7	-	-	-	-	1,0	48	1,8	82	1,7	71	2,1	84	2,2	86	2,1	89	1,6	81	1,3	78
8	-	-	-	-	-	-	-	-	1,0	40	2,2	87	2,9	113	2,7	117	2,2	112	1,3	78
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	62	2,9	112	2,5	107	2,0	101	1,5	88
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,3	52	2,1	80	2,4	103	2,1	105	1,3	74
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,3	49	2,2	94	2,2	110	1,8	103
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,2	52	2,0	100	1,7	100
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6	26	1,5	75	1,8	103
Altura fuste	Incremento anual promedio del radio (crecimiento rápido)																			
	1905-1914		1915-1924		1925-1934		1935-1944		1945-1954		1955-1964		1965-1974		1975-1984		1985-1994		95-2004	
(m)	mm/año	(%)	mm/año	(%)	mm/año	(%)	mm/año	(%)	mm/año	(%)	mm/año	(%)	mm/año	(%)	mm/año	(%)	mm/año	(%)	mm/año	(%)
0,4	1,5	100	2,5	100	2,6	100	2,9	100	3,4	100	3,5	100	3,7	100	3,4	100	2,9	100	2,4	100
4,1	-	-	2,4	98	2,4	98	2,4	83	2,8	82	2,9	88	2,9	83	2,5	78	2,1	72	2,3	98
6,8	-	-	-	-	-	-	1,3	45	2,5	74	2,8	85	2,7	77	2,6	81	2,3	80	2,1	95
8	-	-	-	-	-	-	1,4	47	2,3	66	3,5	100	2,6	73	3,2	98	2,7	98	2,2	98
10	-	-	-	-	-	-	-	-	1,2	35	2,1	64	3,8	103	3,7	116	2,9	100	2,1	95
12	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8	24	2,5	74	2,1	60	2,2	69	3,0	103	2,4	109
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,0	30	1,4	39	2,3	72	2,0	68	2,5	114
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,2	34	1,6	51	2,0	68	1,6	73
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,5	46	1,6	54	1,6	70
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,5	47	1,8	62	1,5	68

3.3 Propiedades mecánicas

Para la realización de los ensayos mecánicos se utilizaron probetas extraídas de la madera de los árboles seleccionados. La diferenciación por tipo de crecimiento se hizo mediante el número de anillos por cm en las probetas, esto implica que a medida que el árbol incrementa su tasa de crecimiento, el número de anillos por cm disminuye y viceversa. Los rangos establecidos para cada tipo de crecimiento fueron:

- I) Crecimiento lento – de 5,1 a 12,7 anillos por cm
- II) Crecimiento Moderado – de 3,7 a 5 anillos por cm
- III) Crecimiento rápido – de 2,1 a 3,6 anillos por cm

Los resultados por tipo de crecimiento se presentan en el Anexo 3, donde se muestran los valores medios de las propiedades mecánicas, de las densidades actuales, de los contenidos de humedad de ensayo y la cantidad de anillos por cm, por tipo de crecimiento, junto con esto se muestran las desviaciones standard y coeficientes de variación.

Mediante un análisis de varianza se compararon los valores medios de las propiedades mecánicas entre los tipos de crecimiento, los resultados se presentan en el Cuadro 6. En éste es posible observar que la mayor cantidad de diferencias se produjo entre los árboles de crecimiento moderado y rápido.

De los resultados del análisis es posible afirmar que no hay una influencia notable de las diferencias entre las tasas de crecimiento en las propiedades de tensión en límite de proporcionalidad y módulo de elasticidad en flexión estática y cizalle tangencial. Para las propiedades de módulo de ruptura en flexión estática y clivaje tangencial el comportamiento es contrario, existiendo en éstas un efecto considerable de las diferencias entre las tasas de crecimiento.

Cuadro 6: Análisis comparativo entre los diferentes tipos de crecimiento.

ENSAYO	DETER.	Crec. Lento-Moderado			Crec. Lento-Rápido		Crec. Moderado-Rápido	
		Ho $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$	Ho $\mu_1 = \mu_2$	Grado de variación	Ho $\mu_1 = \mu_3$	Grado de variación	Ho $\mu_2 = \mu_3$	Grado de variación
FLEXION ESTATICA	R <i>f</i>	ED	DS	AS	DS	S	DS	S
	σ <i>f</i>	NED	....	....	....	....	....	....
	E <i>f</i>	NED	....	....	....	....	....	....
TENACIDAD	T	ED	DS	NS	DS	PS	DNS	....
COMPRESION PARALELA	R <i>c</i>	ED	DS	PS	DS	AS	DNS	....
CLIVAJE RADIAL	R <i>cvr</i>	ED	DS	MS	DNS	....	DS	S
CLIVAJE TANGENCIAL	R <i>cvt</i>	ED	DS	MS	DS	AS	DS	MS
CIZALLE RADIAL	R <i>czr</i>	ED	DNS	....	DS	PS	DS	S
CIZALLE TANGENCIAL	R <i>czt</i>	NED	....	....	....	....	....	....
DUREZA PARALELA	R <i>dpl</i>	ED	DS	MS	DNS	....	DS	AS
DUREZA N. RADIAL	R <i>dnr</i>	ED	DNS	....	DS	MS	DS	S
DUREZA N. TANGENCIAL	R <i>dnt</i>	ED	DNS	....	DS	AS	DS	S
	CH	NED	....	....	....	....	....	....
	D a,a	ED	DS	PS	DS	NS	DS	PS

ED: Existen diferencias de la propiedad entre los tipos de crecimiento.

NED: No existen diferencias de la propiedad entre los tipos de crecimiento.

En general, la densidad de la madera se relaciona con el comportamiento de las propiedades mecánicas de ésta, motivo por el cual se debe tener presente en todo estudio dirigido a determinar estas propiedades.

Según los datos obtenidos las densidades de la madera presentaron variaciones dentro de márgenes estrechos entre los diferentes tipos de crecimiento, esto puede explicar, junto a la variabilidad propia de la madera, las diferencias anteriormente presentadas por algunas propiedades mecánicas.

Por otra parte, la densidad está determinada por su estructura anatómica, la cual sufre ciertas variaciones dependiendo de las condiciones de medio en que se desarrolla y también su edad. Estas condiciones influyen notablemente en la velocidad de crecimiento de la madera, estableciendo una estructura determinada.

En base a lo anterior, se presenta el Cuadro 7 con un resumen de las densidades actuales y anillos por cm, de los tipos de crecimiento. De éste se rescata que no es posible establecer una relación directa entre la densidad y la tasa de crecimiento de los árboles, concordando con Kollmann (1959), que concluye que en la mayoría de las latifoliadas que presentan porosidad difusa (Lenga), la influencia del anillo de crecimiento en la densidad es irregular y permanece siempre entre límites muy moderados.

Cuadro 7: Resumen de las densidades actuales y tasas de crecimiento.

Densidad actual		Crec. Lento	Crec, Moderado	Crec. Rápido
Media	kg/m ³	591,8	575,1	589,5
Coef. Variación	%	3,8	4,6	4,8
Tasa de crecimiento		Crec. Lento	Crec, Moderado	Crec. Rápido
Media	anillos/cm	6,8	4,3	3,0
Coef. Variación	%	26	11	15

Con el objetivo de lograr uno de los puntos principales dentro de este estudio, como establecer una relación entre las propiedades mecánicas del renoval y las tasas de crecimiento, se presenta a continuación un cuadro resumen, extraído del Anexo 4, donde se indican las tendencias de estas dos variables por tipo de crecimiento.

Cuadro 8: Comportamiento de las propiedades según tasas de crecimiento.

ENSAYO	DETER.	Crecimiento lento	Crecimiento moderado	Crecimiento rápido
FLEXION ESTÁTICA	R_f	DEC	DEC	DEC
	σ_f	S VAR	DEC	S VAR
	E_f	DEC	DEC	S VAR
TENACIDAD	T	INCR (L)	INCR	DEC
COMPRESION PARALELA	R_c	S VAR	DEC	DEC (L)
CLIVAJE RADIAL	R_{cvr}	S VAR	DEC	S VAR
CLIVAJE TANGENCIAL	R_{cvt}	S VAR	DEC	S VAR
CIZALLE RADIAL	R_{czt}	DEC	DEC	INCR
CIZALLE TANGENCIAL	R_{czt}	S VAR	S VAR	DEC
DUREZA PARALELA	R_{dpl}	DEC	DEC	S VAR
DUREZA N. RADIAL	R_{dnr}	DEC	DEC	S VAR
DUREZA N. TANGENCIAL	R_{dnt}	S VAR	DEC	INCR

INCR: existe incremento de la propiedad al aumentar el número de anillos por cm.

DEC: existe decremento de la propiedad al aumentar el número de anillos por cm.

INCR (L): existe incremento de la propiedad leve al aumentar el número de anillos por cm.

DEC (L): existe decremento de la propiedad leve al aumentar el número de anillos por cm.

S VAR: existe poca variación de la propiedad al aumentar el número de anillos por cm.

Según los comportamientos presentados en general, no es posible establecer alguna relación entre las propiedades mecánicas de la madera de los árboles del renoval y sus tasas de crecimiento, dado el comportamiento irregular de estas variables. Solo para el

módulo de ruptura en flexión estática es posible mencionar que, a medida que aumenta el número de anillos por cm la propiedad disminuye.

Este comportamiento irregular de las propiedades mecánicas en función de sus tasas de crecimiento puede explicarse en parte a la variabilidad en el número de anillos por cm en cada tipo de crecimiento, existiendo diferencias en las proporciones de madera de verano y primavera en los anillos de crecimiento de las piezas ensayadas.

A modo de comparación se presenta a continuación un cuadro entre las propiedades mecánicas del renoval y las obtenidas por INFOR (1975) en la provincia de Magallanes de árboles cuyos DAP fluctúan entre 27 y 46 cm. Los valores entregados por INFOR corresponden a ensayos realizados según la prescripción de la norma ASTM 143 – 65 (2) en la máquina de ensayos AVERY (capacidad 5000 kg).

Cuadro 9: Propiedades mecánicas de la madera de Lengua.

ENSAYO	DETER.	UNIDAD	MEDIA RENOVAL	INFOR
FLEXION ESTATICA	R_f	Kg/cm ²	920,5	836,0
	σ_f	Kg/cm ²	659,2	436
	E_f	T/cm ²	86,9	97,6
TENACIDAD	T	mKg/cm ²	1,2	.....
COMPRESION PARALELA	R_c	Kg/cm ²	355,9	428
CLIVAJE RADIAL	R_{cvr}	Kg/cm	13,7	56,1
CLIVAJE TANGENCIAL	R_{cvt}	Kg/cm	19,7	73,5
CIZALLE RADIAL	R_{czt}	Kg/cm ²	46,1	90,4
CIZALLE TANGENCIAL	R_{czt}	Kg/cm ²	49,9	107,8
DUREZA PARALELA	R_{dpl}	kg	384,5	508
DUREZA N. RADIAL	R_{dnr}	kg	318,7	338
DUREZA N. TANGENCIAL	R_{dnt}	kg	346,1	338
	CH	%	10,5	12,3
	DENSIDAD	Kg/cm ³	585,5	565

En el cuadro comparativo es posible observar diferencias significativas entre algunas de las propiedades, tales como:

- Tensión en el límite de proporcionalidad en flexión estática
- Clivaje radial y tangencial
- Cizalle radial y tangencial
- Dureza paralela

En los ensayos de Cizalle y Clivaje las diferencias superan el 50 %.

Las diferencias presentadas pueden ser explicadas principalmente por las distintas secciones transversales en las probetas de ensayos entre las normas francesas AFNOR (2 x 2 cm) y las normas americanas ASTM (5 x 5 cm), además de las distintas procedencias de los rodales estudiados, ya que no existen diferencias significativas en los contenidos de humedad y densidades.

4. CONCLUSIONES

- De la altura de los árboles se puede deducir que el renoval corresponde a un buen sitio del orden de 25 m. Actualmente se encuentran en una etapa de disminución de sus incrementos de altura.
- Los árboles alcanzan sus mayores incrementos radiales a una altura relativa de 8 m. Culminando el aumento de éstos en el periodo 1965 -1974, para luego comenzar a disminuir paulatinamente.
- Las densidades de la madera presentan diferencias dentro de márgenes estrechos y no es posible establecer alguna relación directa de ésta con las tasas de crecimiento de los árboles.
- No es posible establecer una relación clara entre las tasas de crecimiento y las propiedades mecánicas. Solo para módulo de ruptura en flexión estática a medida que aumenta el número de anillos por cm la propiedad disminuye.
- Para la tensión en el límite de proporcionalidad y módulo de elasticidad en flexión estática y cizalle tangencial las diferencias entre las tasas de crecimiento parecen no influir en sus valores.
- Las propiedades de módulo de ruptura en flexión estática y Clivaje tangencial son las solicitaciones más sensibles a los cambios de tasa de crecimiento, presentando diferencias significativas entre los 3 tipos de crecimiento.
- Existen diferencias significativas de importancia entre algunas propiedades mecánicas del renoval y las obtenidas por INFOR.

Recomendaciones

Sería de interés estudiar de manera más detallada la variación de la densidad de la madera en relación a la velocidad de crecimiento y la influencia de esta última en las propiedades mecánicas, diferenciando quizás aún más las tasas de crecimiento. Además no es recomendable generalizar el trabajo realizado para la especie, por lo cual, sería conveniente realizar este mismo estudio en otros renovales.

5. BIBLIOGRAFÍA

Association Francaise de Normalization. NF. B. 51-003 a B 51-005 y 51-007 a B 51-013. Edit. por AFNOR Paris, 1942.

CONAF-CONAMA-BIRF. 1997 Catastro y Evaluación de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. Trigesimosexto Informe Regional. XII Region. Universidad Austral de Chile. Pontificia Universidad Católica de Temuco. 12 p.

CHAVEZ, R., 2002. Rendimiento de Trozas y Crecimiento en un Renoval Raleado de Lengua (*Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser) en Tierra del Fuego XII Región. Memoria Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. 34 p.

DIAZ-VAZ, J., 1989. Maderas comerciales de Chile. Colección Naturaleza de Chile. 78 p.

DONOSO, C. 1981. Tipos Forestales de los Bosques Nativos de Chile. Investigación y Desarrollo Forestal, Documento de Trabajo N° 38. 69 p.

GAJARDO, R. 1992. La vegetación natural de Chile. Editorial Universitaria. Chile. 34 p.

INFOR, 1975. Propiedades Mecánicas y Asociadas de la Lengua de Magallanes. Informe Técnico N° 50. Santiago. 27 p.

INFOR-CONAF, 1997. Monografía de la Lengua (*Nothofagus pumilio*). Potencialidad de Especies y Sitios para una Diversificación Silvícola Nacional. Santiago. 101 p.

INN. Determinación de Densidad. Nch 176/2. Of 86. Santiago. Chile. 11 p.

INN. Determinación de las propiedades mecánicas. Ensayo de dureza. NCh 978 Of 86. 5p

INN. Selección, Obtención y Acondicionamiento de Muestras y Probetas para la Determinación de Propiedades Físicas y Mecánicas. NCh 968 Of 86. Santiago Chile. 10 p.

- KOLLMANN, F. 1959. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Instituto Forestal de Investigaciones y experiencias y Servicios de la Madera, v.1. Madrid. pp 382 – 394.
- LARSON, J. 2000. Crecimiento de la Lenga *Nothofagus pumilio* (Poepp et Endl.) Krasser) en un bosque secundario de la XII Región. Memoria de Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. 56 p.
- MANOSALVA, L., 1995. Antecedentes Dendrométricos Básicos de un Rodal de Lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp et Endl. Krasser), en el Sector Cerro la Virgen, XI Región. Memoria de Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. 69 p.
- PISANO, E. 1977. Fitogeografía de Fuego-Patagonia chilena. Comunidades vegetales entre las latitudes 52 y 56°S. Anales del Instituto de la Patagonia. Volumen 8. pp 121-150.
- SCHMIDT, H. Y CALDENTEY, J. 1994. Apuntes Tercer Curso Silvicultura de los Bosques de Lenga. Corporación Nacional Forestal; CORMA Austral; Universidad de Chile. Punta Arenas, Chile. 95 p.
- SCHMIDT, H.; CRUZ, G.; PROMIS, A.; ALVAREZ, M. 2003. Transformación de los bosques de Lenga vírgenes e intervenidos a bosques manejados. Guía para los Bosques Demostrativos. Santiago. 60 p.
- SCHMIDT, H. y URZUA, A. 1982. Transformación y manejo de los bosques de Lenga en Magallanes. Ciencias Agrícolas N° 11. 62 p.
- TORRES, H., 1971. Maderas. Corporación Chilena de la Madera. 270 p.
- TORTORELLI, L., 1940. Maderas y bosques argentinos. Buenos Aires. pp 98 – 101.
- URIARTE, A. y GROSSE, H., 1991. Los Bosques de Lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp. et Ende.) Krasser). Una Orientación para su Uso y Manejo (recopilación Bibliográfica). Informe Técnico N° 126. INFOR. Concepción. 92 p.

ANEXO 1

Gráficas de residuos por tipo de crecimiento según propiedad mecánica

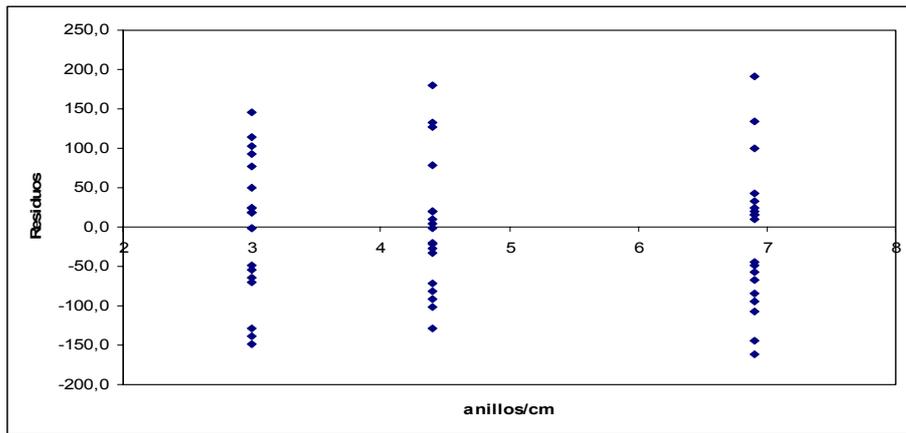


Figura 16: Gráfica de residuos por clase diamétrica en módulo de ruptura.

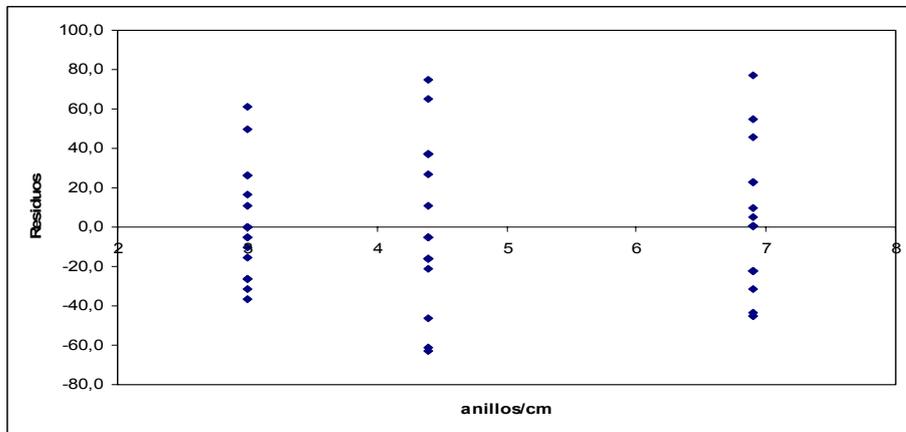


Figura 17: Gráfica de residuos por clases diamétrica en tensión en el límite de proporcionalidad.

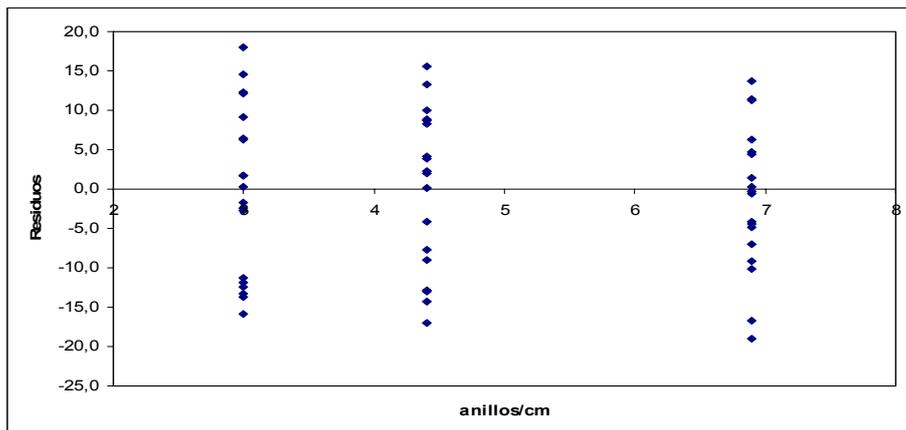


Figura 18: Gráfica de residuos por clases diamétrica en módulo de elasticidad

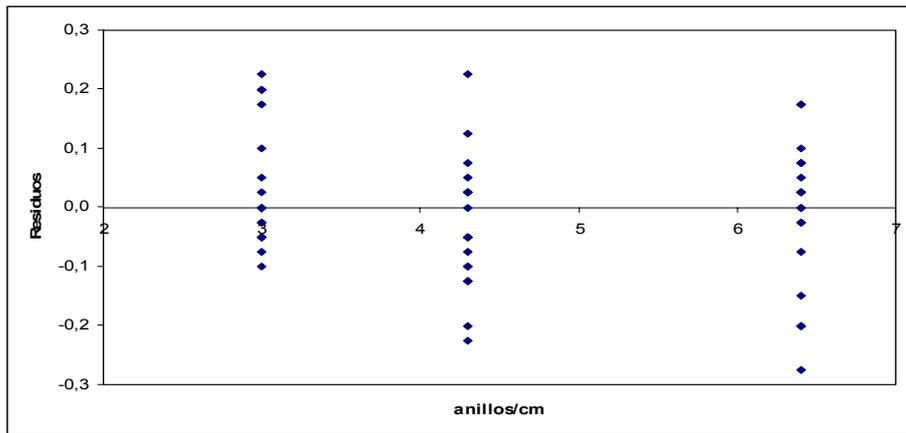


Figura 19: Gráfica de residuos por clase diamétrica en tenacidad.

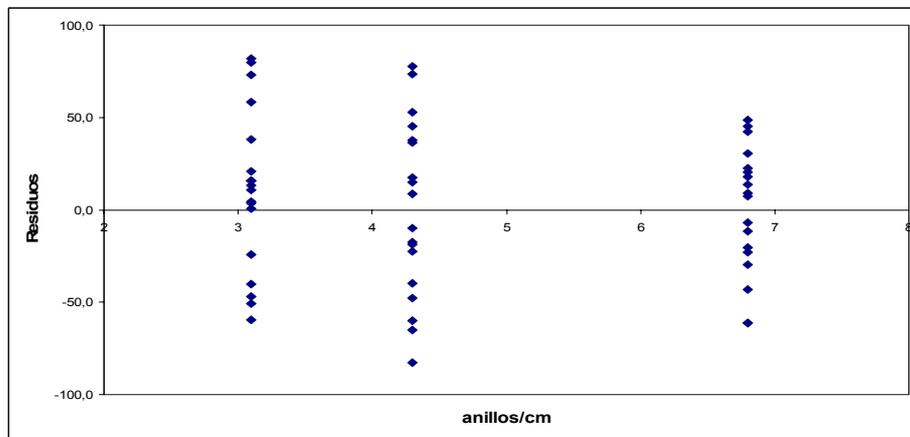


Figura 20: Gráfica de residuos por clase diamétrica en compresión axial.

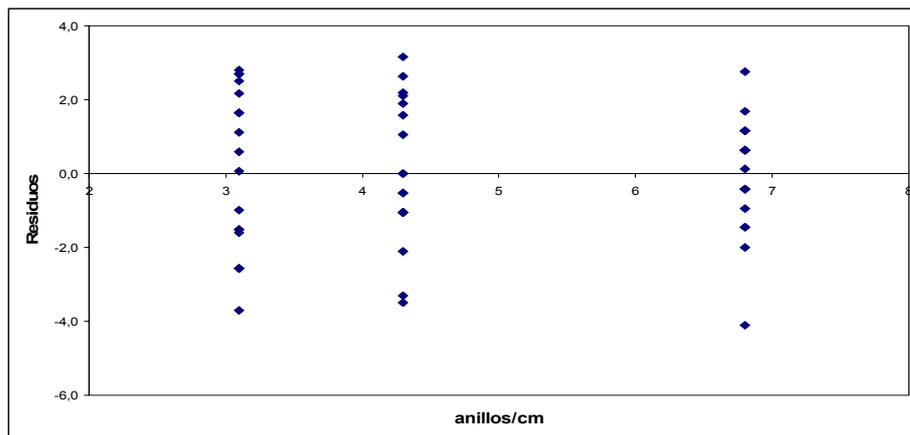


Figura 21: Gráfica de residuos por clase diamétrica en clivaje radial.

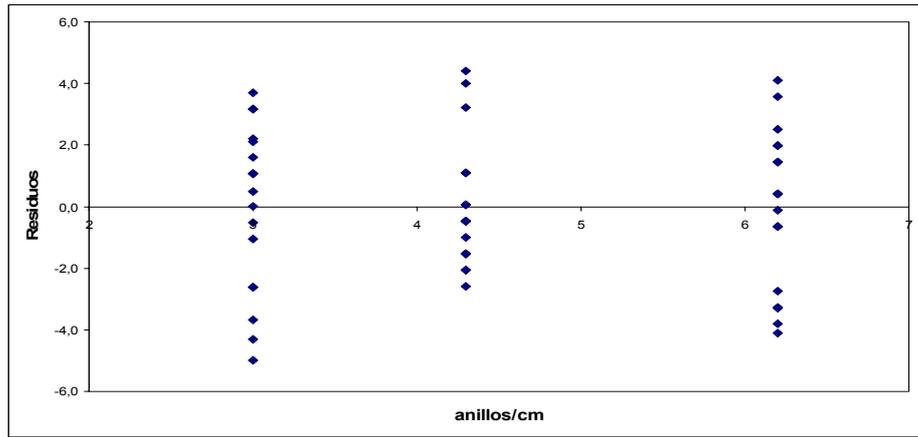


Figura 22: Gráfica de residuos por clase diamétrica en clivaje tangencial.

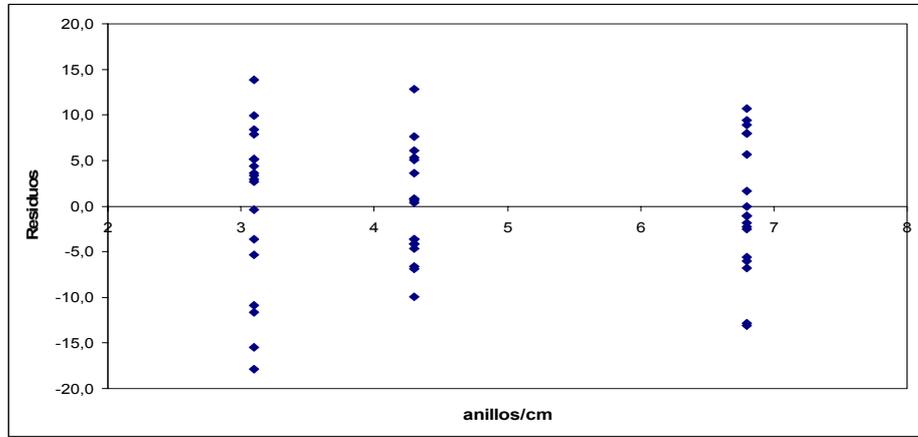


Figura 23: Gráfica de residuos por clase diamétrica en cizalle radial.

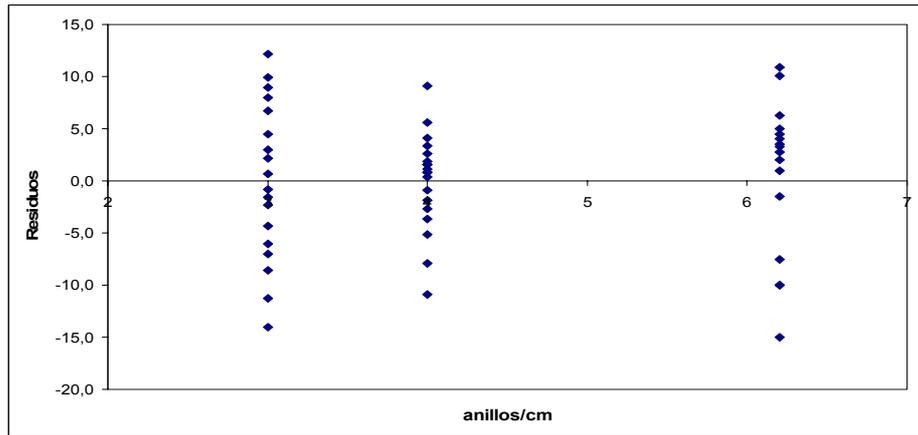


Figura 24: Gráfica de residuos por clase diamétrica en cizalle tangencial.

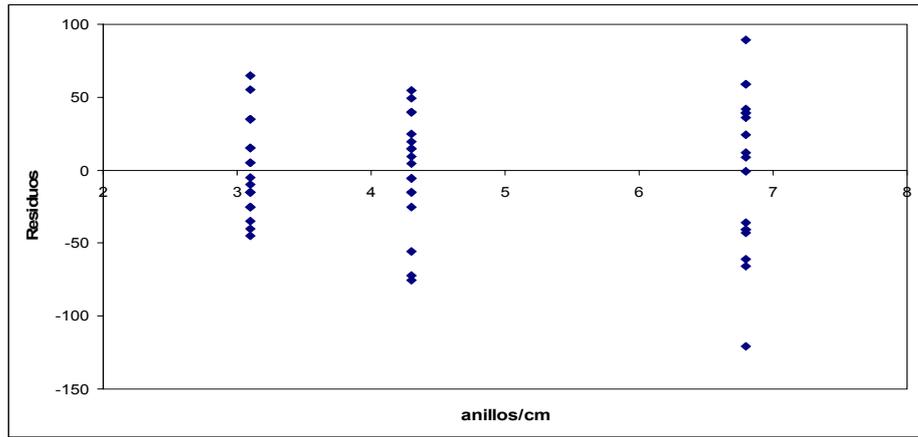


Figura 25: Gráfica de residuos por clase diamétrica en dureza paralela.

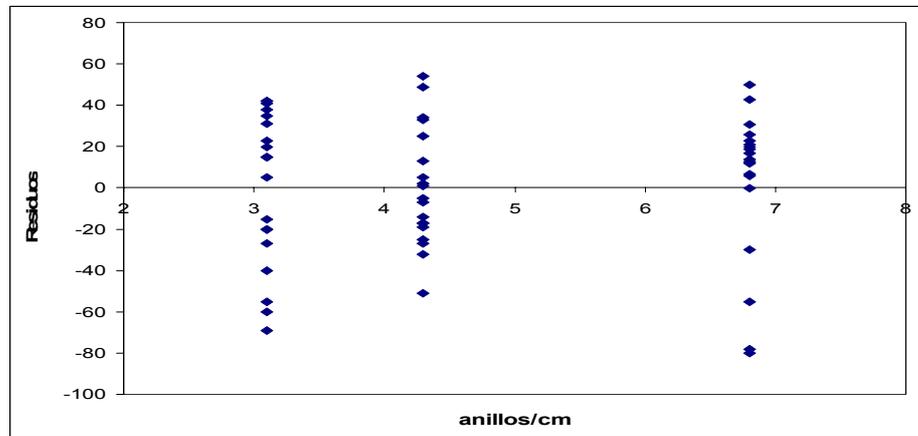


Figura 26: Gráfica de residuos por clase diamétrica en dureza normal radial.

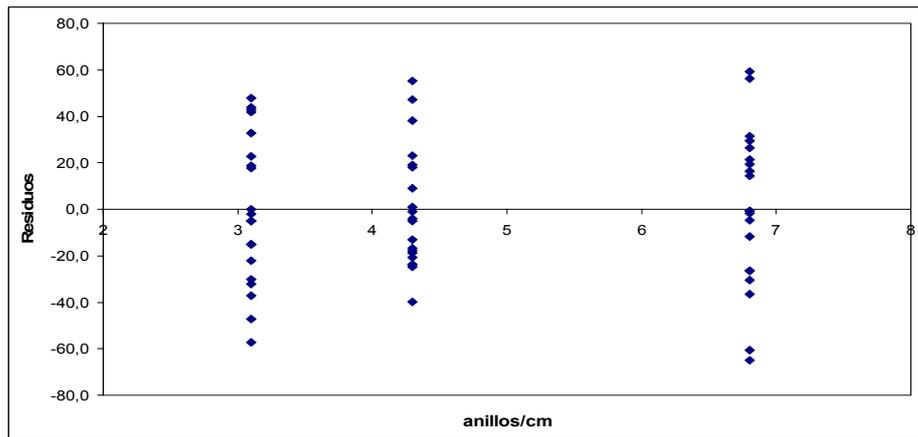


Figura 27: Gráfica de residuos por clase diamétrica en Dureza normal tangencial.

ANEXO 2

Detalle de los árboles seleccionados por tipo de crecimiento

	N° árbol	Anillos	Edad	DAP cm	Altura m	Tocón h (m)	Crec. Altura cm/año	Tasa de Crec. mm/año
Crecimiento Lento	1	81	85	28	14,1	0,33	17,0	1,8
	4	80	84	27	19,9	0,25	23,4	1,5
	10	82	86	26	16,6	0,30	20,7	1,5
	15	78	82	27	23,4	0,25	28,5	1,5
	20	75	79	29	19,5	0,22	24,6	1,8
	12	86	90	21	19,1	0,25	21,2	1,4
	24	92	96	30	18,3	0,35	19,8	1,6
Crecimiento Moderado	16	80	84	32	19,1	0,30	22,7	2,2
	6	82	86	31	18,3	0,30	21,2	2,3
	5	86	90	31	19,5	0,26	21,6	2,1
	22	96	100	32	16,8	0,30	16,8	2,1
	19	89	93	34	20	0,25	21,5	2,3
	2	90	94	36	20,1	0,33	21,3	2,4
	23	88	92	36	23,2	0,38	25,2	2,2
Crecimiento Rápido	11	90	94	39	20,1	0,35	24,7	3,3
	9			45	19,1	0,40		
	13	91	94	54	23,4	0,50	24,9	3,1
	14	84	88	49	20,8	0,40	23,6	2,8
	21	101	105	44	23	0,30	21,9	2,9
	7	84	88	41	17,2	0,40	19,5	3,2
	8			41	18,9	0,40		

ANEXO 3

Propiedades mecánicas de la madera por tipo de crecimiento

Cuadro 10: Propiedades mecánicas de la madera para árboles de crecimiento lento.

ENSAYO	DETER.	UNIDAD	N° OBS.	MEDIA \bar{x}	DESVIACION STANDARD	COEF. VAR. %
FLEXION ESTÁTICA	R <i>f</i>	Kg/cm ²	19	1040,0	113,7	10,9
	σ <i>f</i>	Kg/cm ²	19	680,7	40,7	5,9
	E <i>f</i>	T/cm ²	19	89,9	10,9	12,2
	CH	%	57	12,1	1,5	12,9
	D a,a	Kg/m ³	57	588,3	41,4	7,2
	Tasa crec.	n°anillos/cm	57	6,9	1,5	21,9
TENACIDAD	T	mKg/cm ²	18	1,3	0,2	9,6
	CH	%	18	9,7	1,1	11,3
	D a,a	Kg/m ³	18	598,0	17,2	2,9
	Tasa crec.	n°anillos/cm	18	6,4	1,4	22,8
COMPRESION AXIAL	R <i>c</i>	Kg/cm ²	19	380,4	35,0	8,9
	CH	%	19	10,4	1,5	14,9
	D a,a	Kg/m ³	19	587,7	28,0	4,8
	Tasa crec.	n°anillos/cm	19	6,0	1,2	21,5
CLIVAJE RADIAL	R <i>cvr</i>	Kg/cm	19	13,3	2,0	14,2
	CH	%	19	9,7	0,2	2,7
	D a,a	Kg/m ³	19	589,1	32,4	5,5
	Tasa crec.	n°anillos/cm	19	5,9	1,2	21,5
CLIVAJE TANGENCIAL	R <i>cvt</i>	Kg/cm	18	16,4	2,6	16,3
	CH	%	18	10,8	1,9	17,6
	D a,a	Kg/m ³	18	584,8	29,6	6,1
	Tasa crec.	n°anillos/cm	18	6,2	1,1	17,7
CIZALLE RADIAL	R <i>czr</i>	Kg/cm ²	18	44,0	7,5	16,6
	CH	%	18	9,6	0,5	5,6
	D a,a	Kg/m ³	18	589,7	34,6	5,9
	Tasa crec.	n°anillos/cm	18	5,6	0,9	17,8
CIZALLE TANGENCIAL	R <i>czt</i>	Kg/cm ²	18	50,7	8,7	17,5
	CH	%	18	11,7	0,4	3,2
	D a,a	Kg/m ³	18	590,2	22,0	3,7
	Tasa crec.	n°anillos/cm	18	6,1	1,4	23,9
DUREZA PARALELA A FIBRA	R <i>dpl</i>	kg	19	407,5	53,7	13,1
	CH	%	19	10,5	0,7	6,9
	D a,a	Kg/m ³	19	596,7	25,5	4,2
	Tasa crec.	n°anillos/cm	19	8,0	2,2	27,7
DUREZA NORMAL RADIAL	R <i>dnr</i>	kg	19	299,7	41,6	13,8
	CH	%	19	10,5	0,7	6,9
	D a,a	Kg/m ³	19	596,7	25,5	4,2
	Tasa crec.	n°anillos/cm	19	8,0	2,3	27,7
DUREZA NORMAL TANGENCIAL	R <i>dnt</i>	kg	20	319,4	35,1	11,0
	CH	%	20	10,5	0,7	6,9
	D a,a	Kg/m ³	20	596,7	25,5	4,2
	Tasa crec.	n°anillos/cm	20	8,0	2,2	27,7

Cuadro 11: Propiedades mecánicas de la madera para árboles de crecimiento moderado.

ENSAYO	DETER.	UNIDAD	Nº OBS.	MEDIA \bar{x}	DESVIACION STANDARD	COEF. VAR. %
FLEXION ESTATICA	R f	Kg/cm ²	18	825,0	85,1	10,2
	σf	Kg/cm ²	18	653,7	62,7	7,8
	E f	T/cm ²	18	82,9	10,2	12,3
	CH	%	54	9,8	0,6	6,2
	D a,a	Kg/m ³	54	581,1	24,2	4,3
	Tasa crec.	nºanillos/cm	54	4,4	0,5	12,5
TENACIDAD	T	mKg/cm ²	18	1,2	0,1	9,1
	CH	%	18	10,6	1,2	11,7
	D a,a	Kg/m ³	18	586,6	25,3	4,3
	Tasa crec.	nºanillos/cm	18	4,3	0,5	12,7
COMPRESION AXIAL	R c	Kg/cm ²	18	362,8	50,2	14,2
	CH	%	18	11,5	0,9	8,4
	D a,a	Kg/m ³	18	579,7	32,4	5,6
	Tasa crec.	nºanillos/cm	18	4,3	0,4	9,7
CLIVAJE RADIAL	R cvr	Kg/cm	18	12,8	2,0	16,3
	CH	%	18	10,1	0,4	4,1
	D a,a	Kg/m ³	18	583,9	29,9	5,1
	Tasa crec.	nºanillos/cm	18	4,2	0,4	10,6
CLIVAJE TANGENCIAL	R cvt	Kg/cm	18	19,5	2,1	10,8
	CH	%	18	11,3	1,6	14,1
	D a,a	Kg/m ³	18	575,0	19,0	3,3
	Tasa crec.	nºanillos/cm	18	4,3	0,4	11,3
CIZALLE RADIAL	R czr	Kg/cm ²	18	43,2	6,0	15,6
	CH	%	18	10,1	0,5	4,7
	D a,a	Kg/m ³	18	581,3	21,8	3,8
	Tasa crec.	nºanillos/cm	18	4,1	0,4	11,1
CIZALLE TANGENCIAL	R czt	Kg/cm ²	19	48,8	4,7	9,4
	CH	%	19	8,9	0,1	1,2
	D a,a	Kg/m ³	19	582,6	21,9	3,7
	Tasa crec.	nºanillos/cm	19	4,0	0,4	10,8
DUREZA PARALELA A FIBRA	R dpl	kg	18	311,2	40,2	12,9
	CH	%	18	11,4	1,1	9,8
	D a,a	Kg/m ³	18	560,7	15,1	2,7
	Tasa crec.	nºanillos/cm	18	4,3	0,5	12,1
DUREZA NORMAL RADIAL	R dnr	kg	20	286,5	28,4	9,9
	CH	%	20	11,4	1,1	9,8
	D a,a	Kg/m ³	20	560,7	15,1	2,7
	Tasa crec.	nºanillos/cm	20	4,3	0,5	12,1
DUREZA NORMAL TANGENCIAL	R dnt	kg	20	326,1	26,1	8,0
	CH	%	20	11,4	1,1	9,8
	D a,a	Kg/m ³	20	560,7	15,1	2,7
	Tasa crec.	nºanillos/cm	20	4,3	0,5	12,1

Cuadro 12: Propiedades mecánicas de la madera para árboles de crecimiento rápido.

ENSAYO	DETER.	UNIDAD	N° OBS.	MEDIA \bar{x}	DESVIACION STANDARD	COEF. VAR. %
FLEXION ESTATICA	R f	Kg/cm ²	20	896,2	87,8	9,8
	σf	Kg/cm ²	20	642,7	41,4	6,3
	E f	T/cm ²	20	87,8	10,9	12,4
	CH	%	60	9,9	0,8	7,8
	D a,a	Kg/m ³	60	596,2	35,9	6,2
	Tasa crec.	n°anillos/cm	60	3,0	0,7	24,6
TENACIDAD	T	mKg/cm ²	18	1,2	0,1	8,9
	CH	%	18	10,3	0,7	7,6
	D a,a	Kg/m ³	18	591,9	16,6	2,8
	Tasa crec.	n°anillos/cm	18	3,0	0,5	16,7
COMPRESION AXIAL	R c	Kg/cm ²	18	325,2	49,3	15,5
	CH	%	18	10,5	0,8	8,1
	D a,a	Kg/m ³	18	582,4	30,5	5,2
	Tasa crec.	n°anillos/cm	18	3,1	0,9	27,5
CLIVAJE RADIAL	R cvr	Kg/cm	19	14,5	2,4	16,0
	CH	%	19	11,3	1,9	16,8
	D a,a	Kg/m ³	19	587,8	27,9	4,7
	Tasa crec.	n°anillos/cm	19	3,0	0,5	16,2
CLIVAJE TANGENCIAL	R cvt	Kg/cm	18	23,6	2,8	12,0
	CH	%	18	11,8	0,4	3,3
	D a,a	Kg/m ³	18	575,6	30,3	5,3
	Tasa crec.	n°anillos/cm	18	3,1	0,5	18,6
CIZALLE RADIAL	R czr	Kg/cm ²	18	51,5	9,3	18,0
	CH	%	18	10,2	0,8	8,0
	D a,a	Kg/m ³	18	593,6	19,2	3,2
	Tasa crec.	n°anillos/cm	18	3,0	0,4	15,9
CIZALLE TANGENCIAL	R czt	Kg/cm ²	18	50,2	7,6	14,9
	CH	%	18	9,8	0,1	1,5
	D a,a	Kg/m ³	18	589,9	19,2	3,2
	Tasa crec.	n°anillos/cm	18	3,1	0,4	12,5
DUREZA PARALELA A FIBRA	R dpl	kg	18	435,0	31,7	7,3
	CH	%	18	11,1	0,9	8,9
	D a,a	Kg/m ³	18	592,5	21,5	3,6
	Tasa crec.	n°anillos/cm	18	3,0	0,5	16,6
DUREZA NORMAL RADIAL	R dnr	kg	20	369,9	36,2	9,8
	CH	%	20	11,1	0,9	8,9
	D a,a	Kg/m ³	20	592,5	21,5	3,6
	Tasa crec.	n°anillos/cm	20	3,0	0,5	16,6
DUREZA NORMAL TANGENCIAL	R dnt	kg	20	392,9	32,4	8,2
	CH	%	20	11,1	0,9	8,9
	D a,a	Kg/m ³	20	592,5	21,5	3,6
	Tasa crec.	n°anillos/cm	20	3,0	0,5	16,6

ANEXO 4

Comportamiento de las propiedades mecánicas según anillos por cm y densidades

Ensayo Flexión estática:

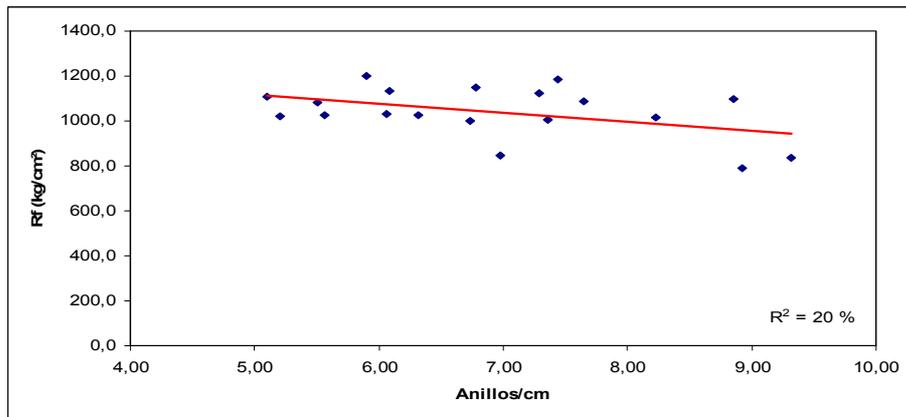


Figura 28: Modulo de ruptura según en árboles de crecimiento lento.

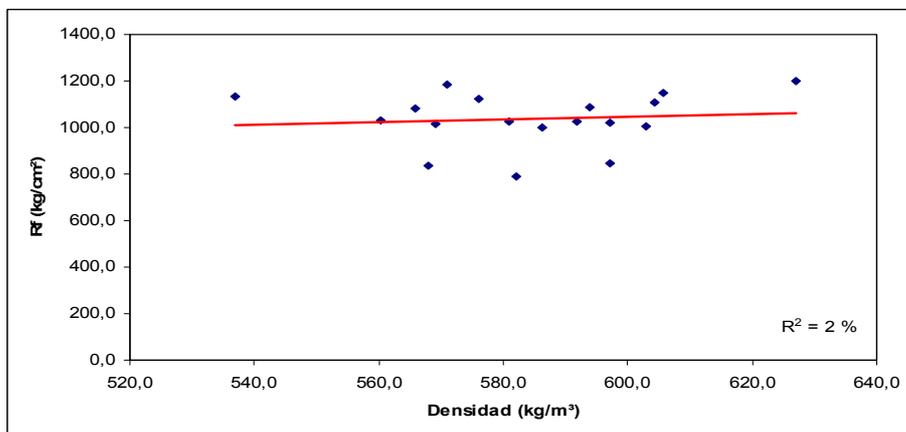


Figura 29: Módulo de ruptura según densidad en árboles de crecimiento lento.

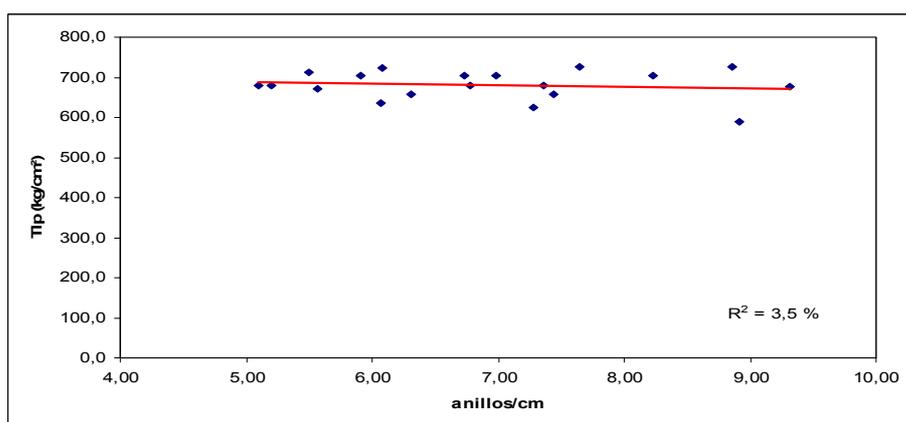


Figura 30: Tensión en el límite de proporcionalidad según árboles de crecimiento lento.

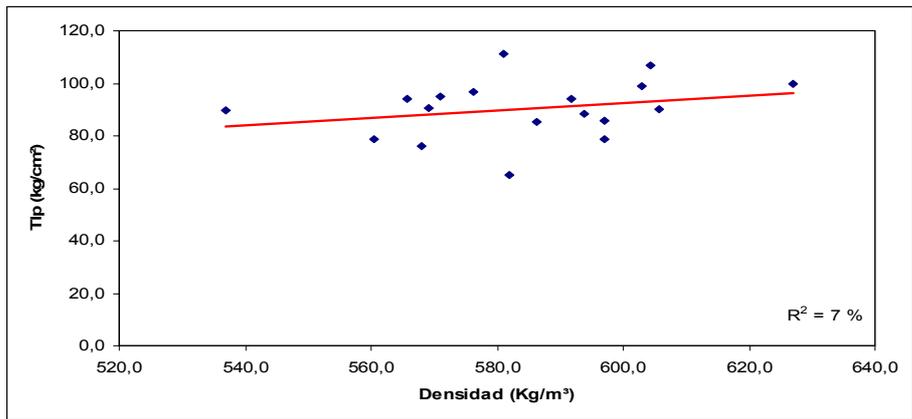


Figura 31: Tensión en el límite de proporcionalidad según densidad en árboles de crecimiento lento.

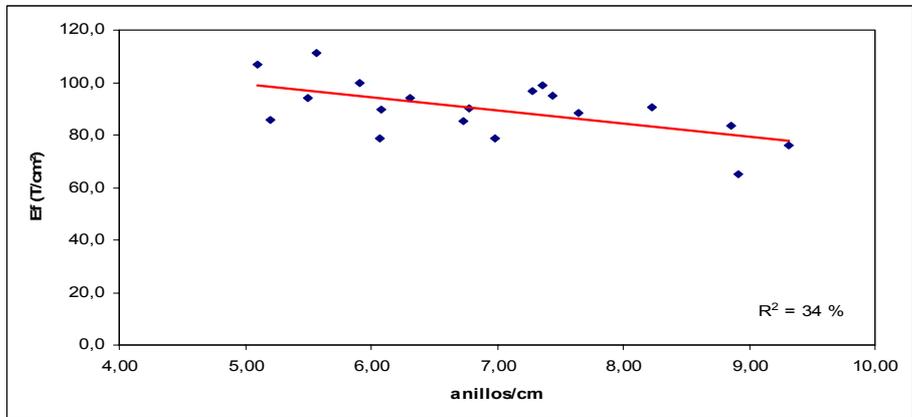


Figura 32: Modulo de elasticidad según árboles de crecimiento lento.

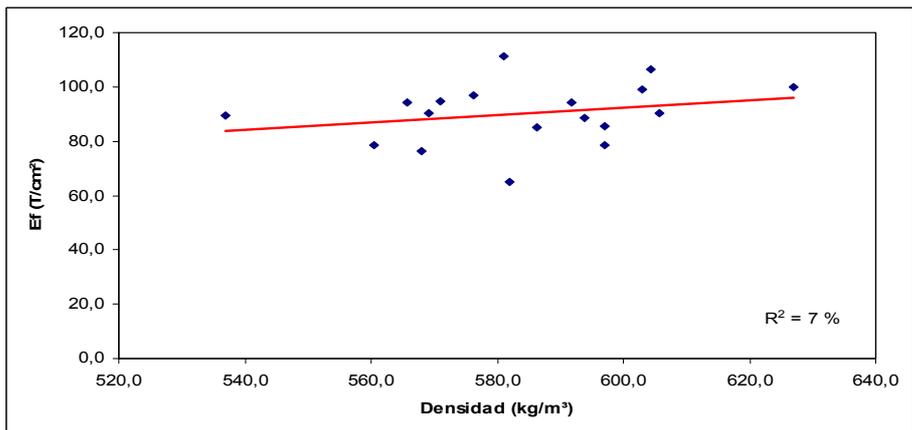


Figura 33: Modulo de elasticidad según densidad en árboles de crecimiento lento.

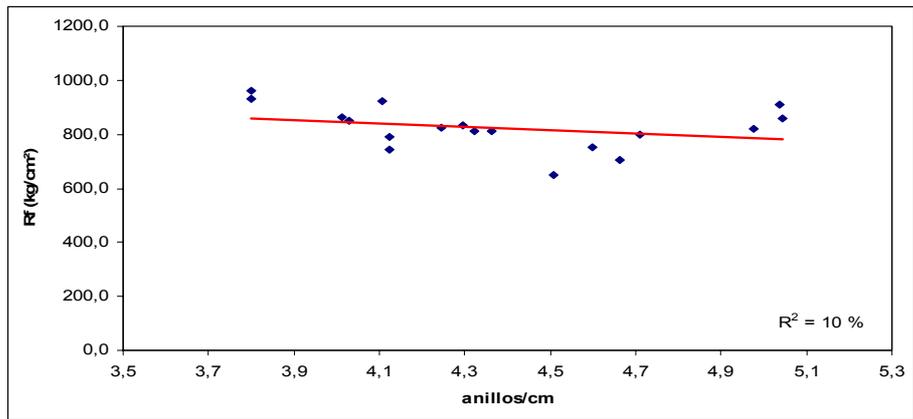


Figura 34: Modulo de ruptura según en árboles de crecimiento moderado.

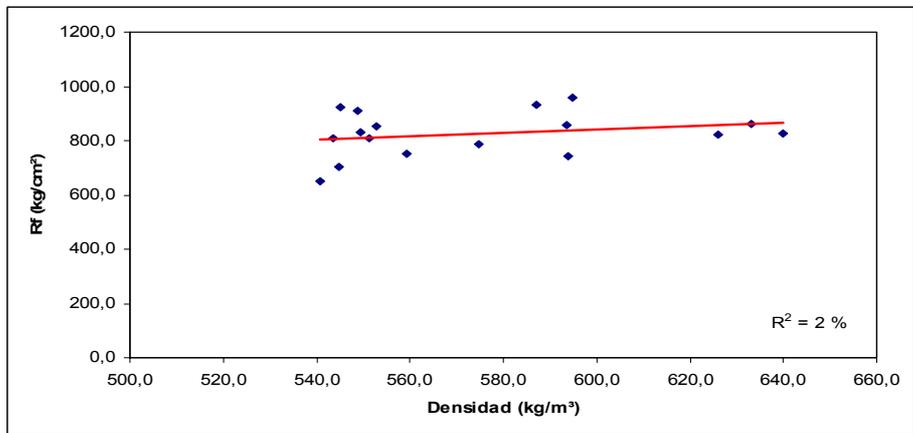


Figura 35: Modulo de ruptura según densidad en árboles de crecimiento moderado.

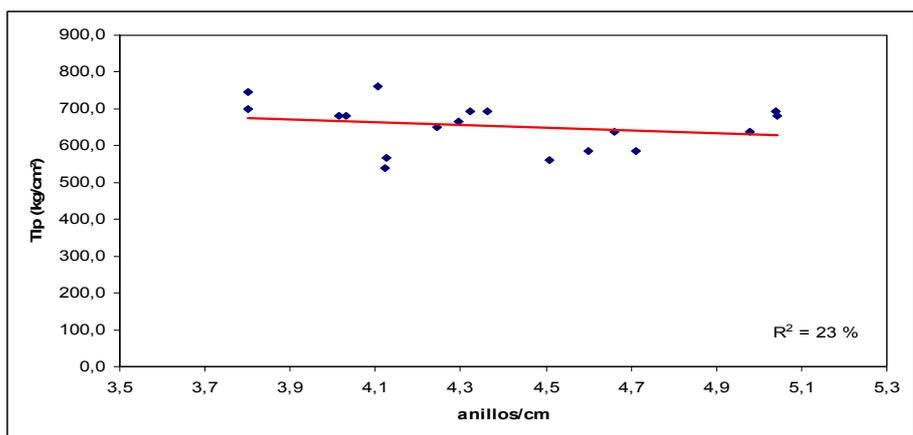


Figura 36: Tensión en el límite de proporcionalidad según árboles de crecimiento moderado.

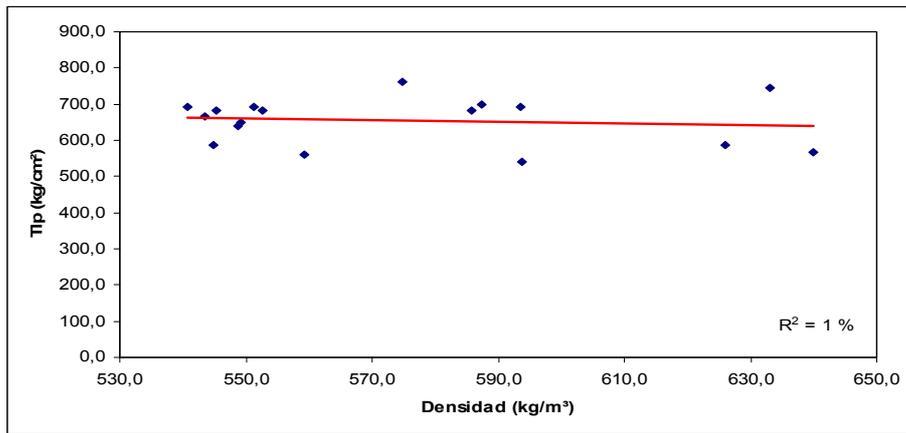


Figura 37: Tensión en el límite de proporcionalidad según densidad en árboles de crecimiento moderado.

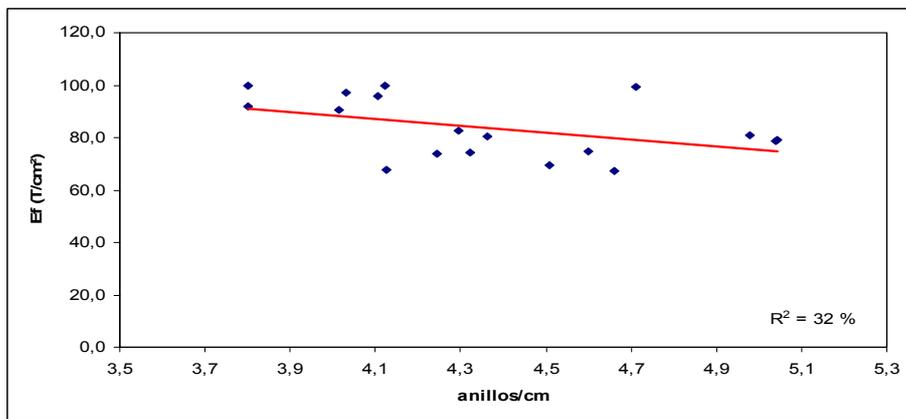


Figura 38: Modulo de elasticidad según árboles de crecimiento moderado.

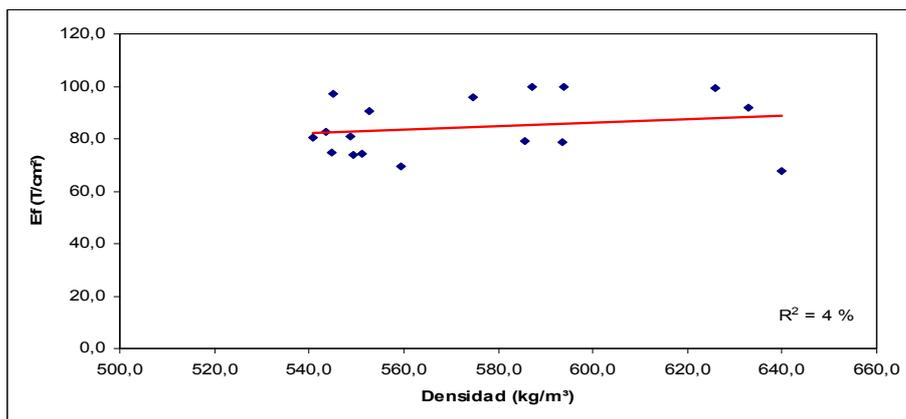


Figura 39: Módulo de elasticidad según densidad en árboles de crecimiento moderado.

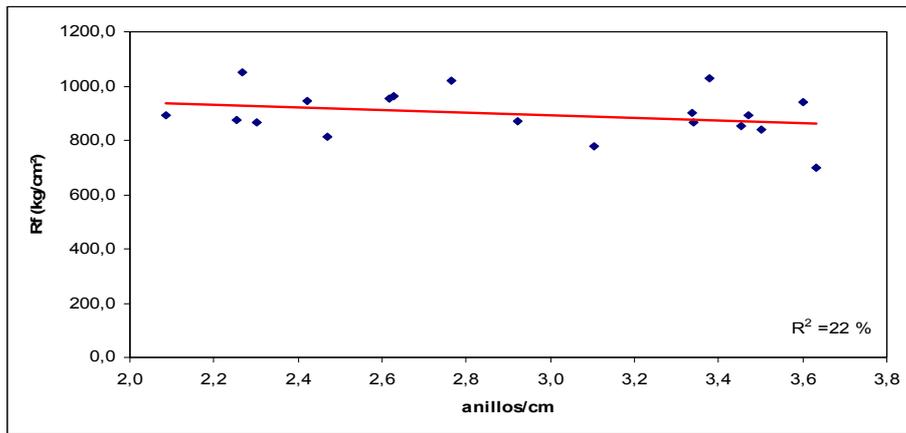


Figura 40: Modulo de ruptura según en árboles de crecimiento rápido.

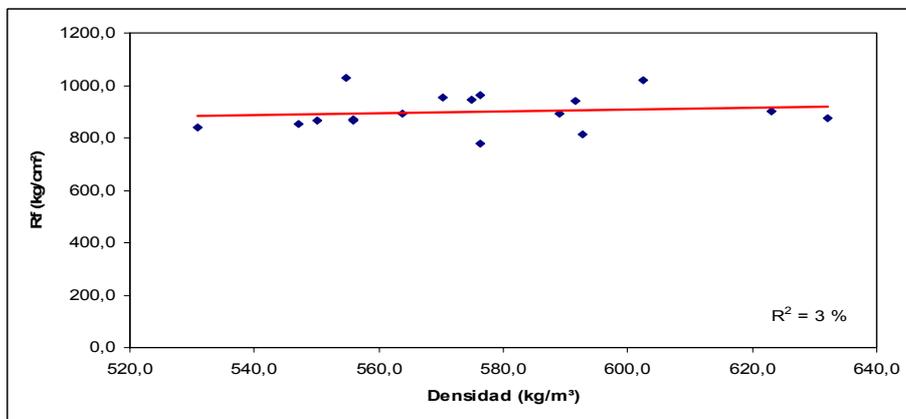


Figura 41: Modulo de ruptura según densidad en árboles de crecimiento rápido.

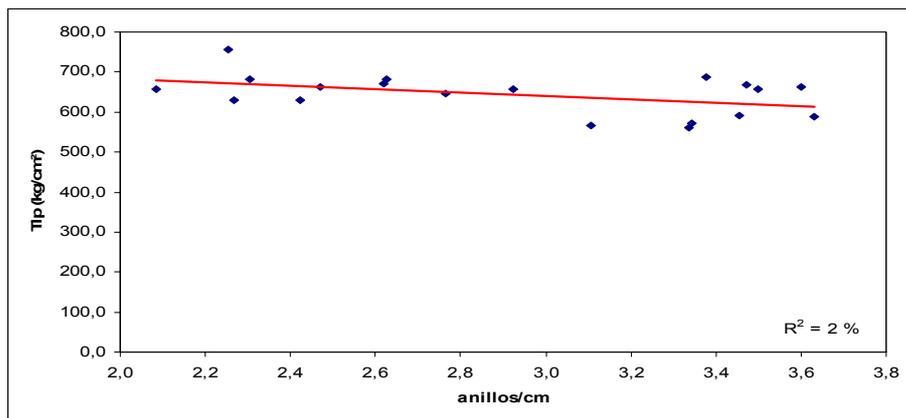


Figura 42: Tensión en el límite de proporcionalidad según árboles de crecimiento rápido.

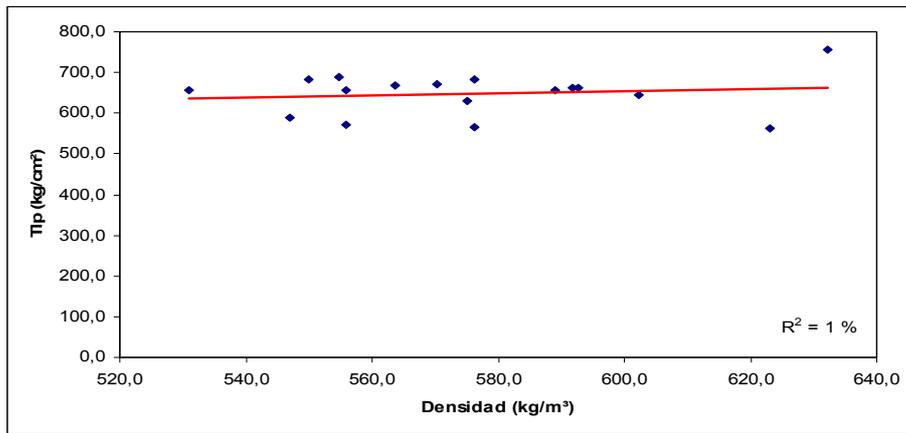


Figura 43: Tensión en el límite de proporcionalidad según densidad en árboles de crecimiento rápido.

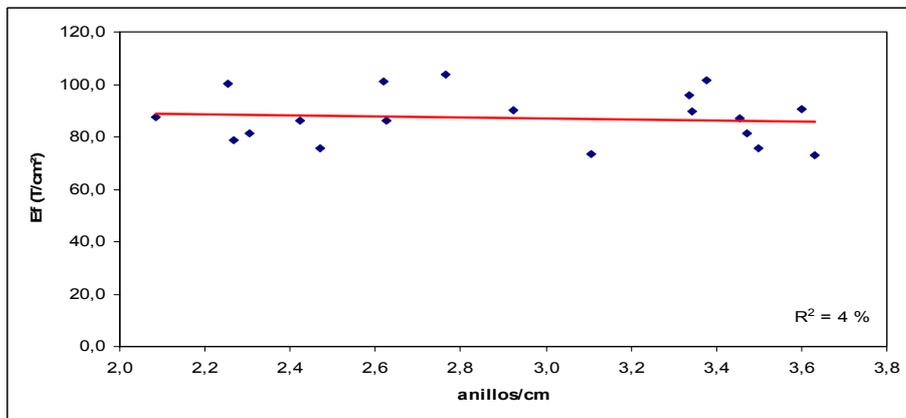


Figura 44: Módulo de elasticidad según en árboles de crecimiento rápido.

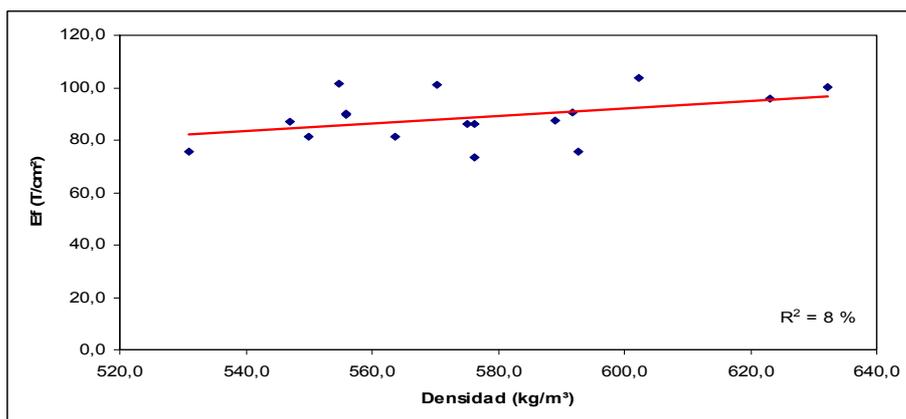


Figura 45: Módulo de elasticidad según densidad en árboles de crecimiento rápido.

Ensayo Tenacidad:

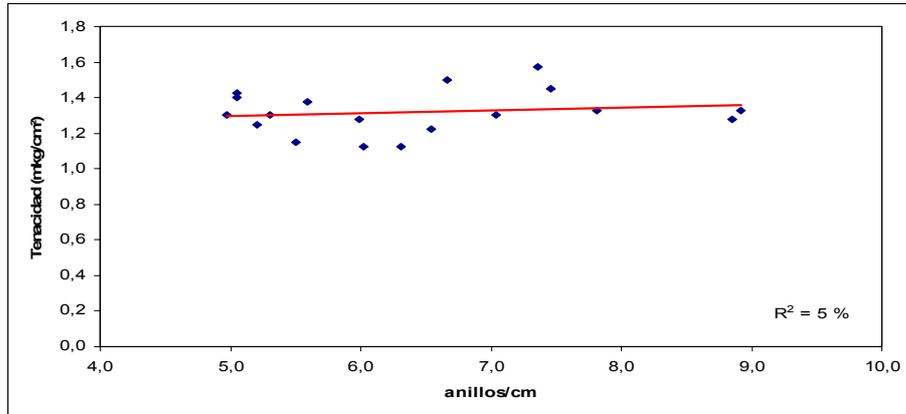


Figura 46: Tenacidad según árboles de crecimiento lento.

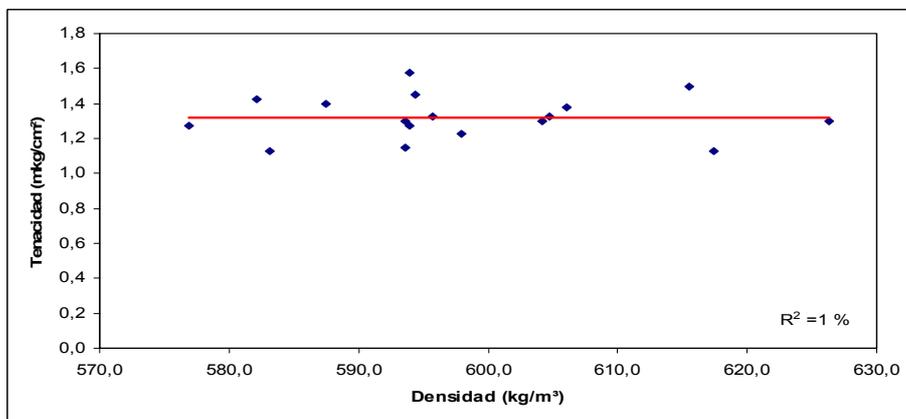


Figura 47: Tenacidad según densidad en árboles de crecimiento lento.

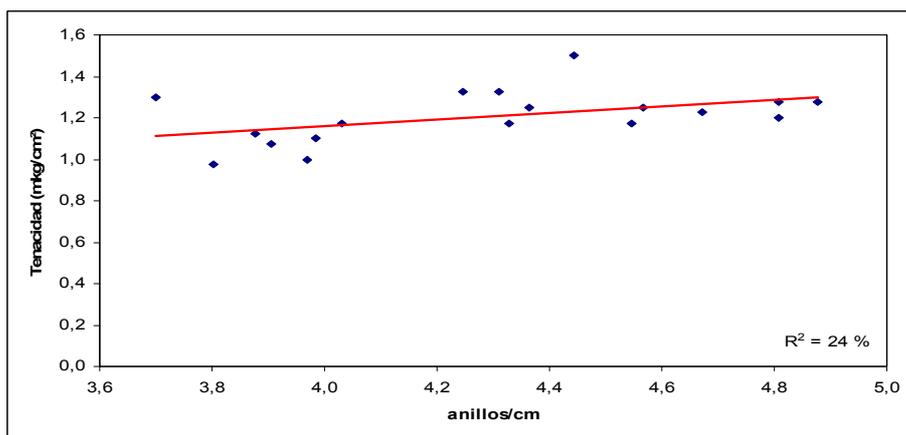


Figura 48: Tenacidad según en árboles de crecimiento moderado.

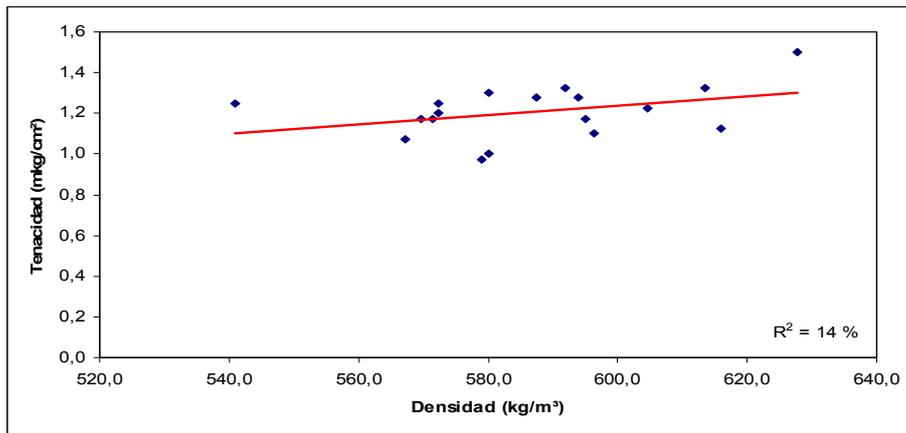


Figura 49: Tenacidad según densidad en árboles de crecimiento moderado.

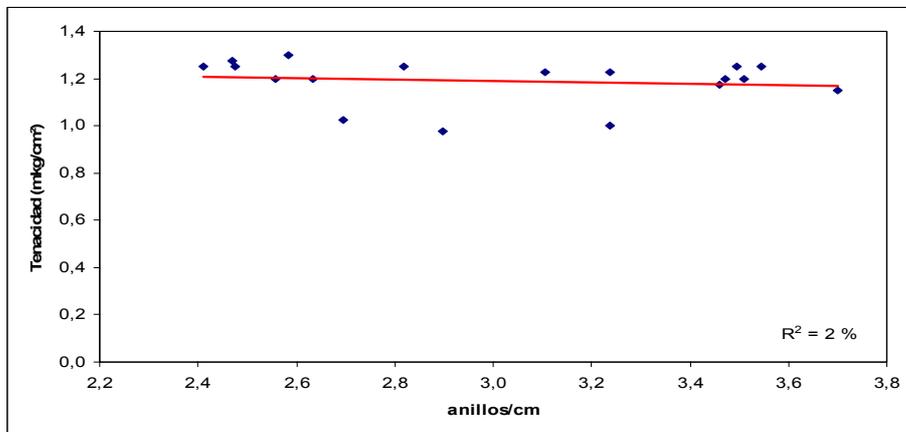


Figura 50: Tenacidad según árboles de crecimiento rápido.

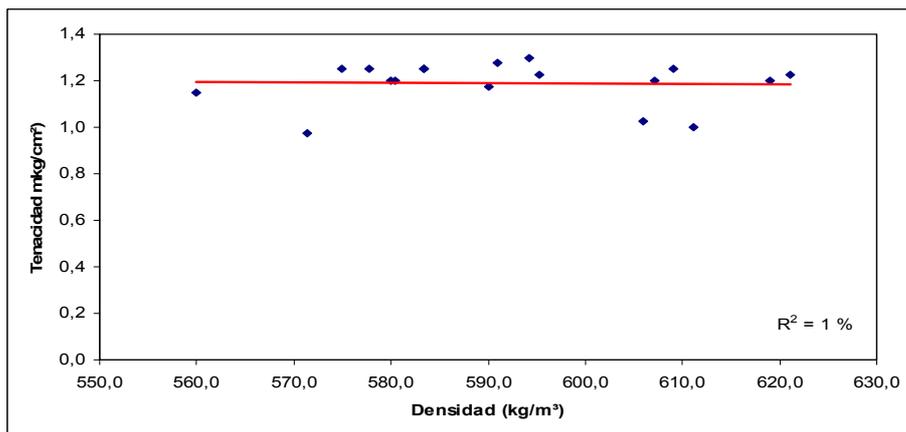


Figura 51: Tenacidad según densidad en árboles de crecimiento rápido.

Ensayo Compresión axial:

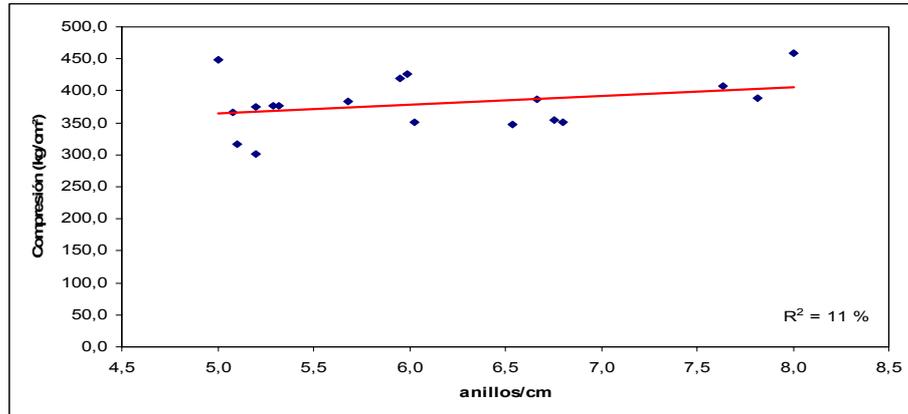


Figura 52: Compresión axial según árboles de crecimiento lento.

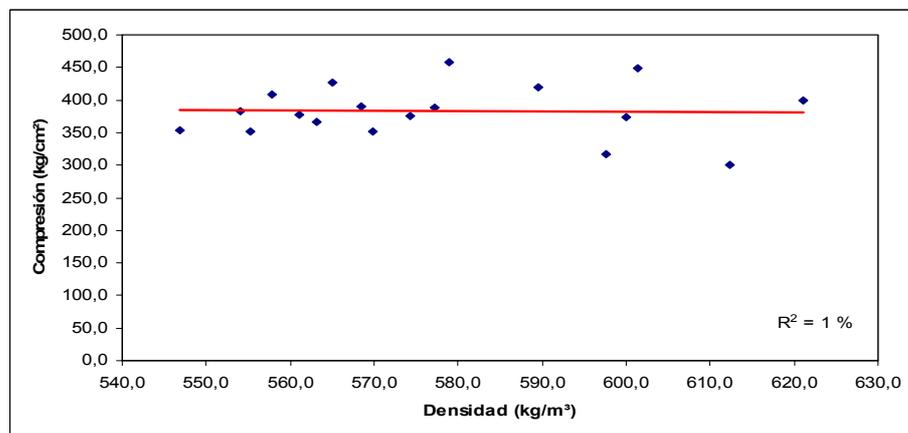


Figura 53: Compresión axial según densidad en árboles de crecimiento lento.

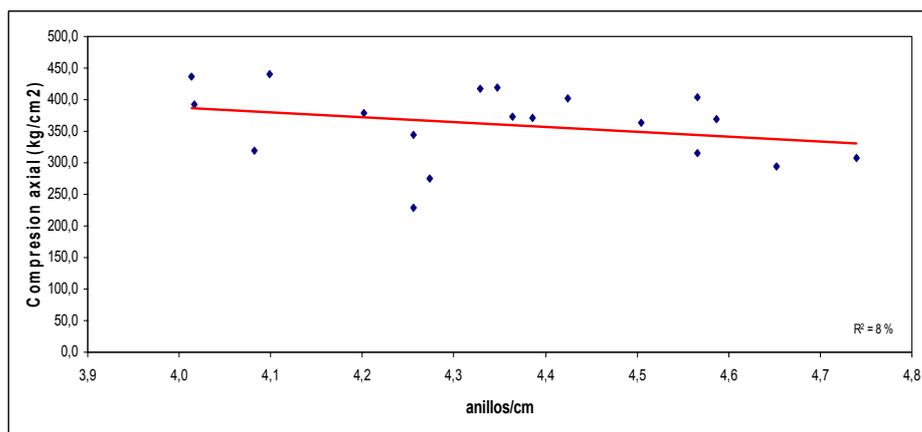


Figura 54: Compresión axial según árboles de crecimiento moderado.

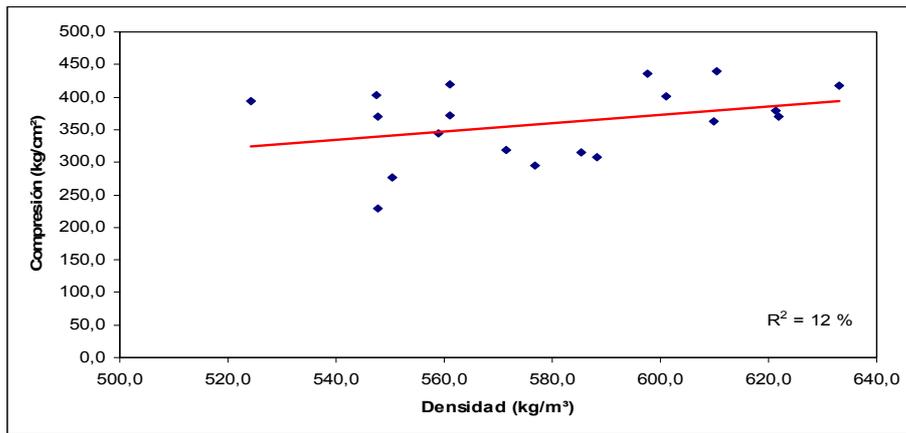


Figura 55: Compresión axial según densidad en árboles de crecimiento moderado.

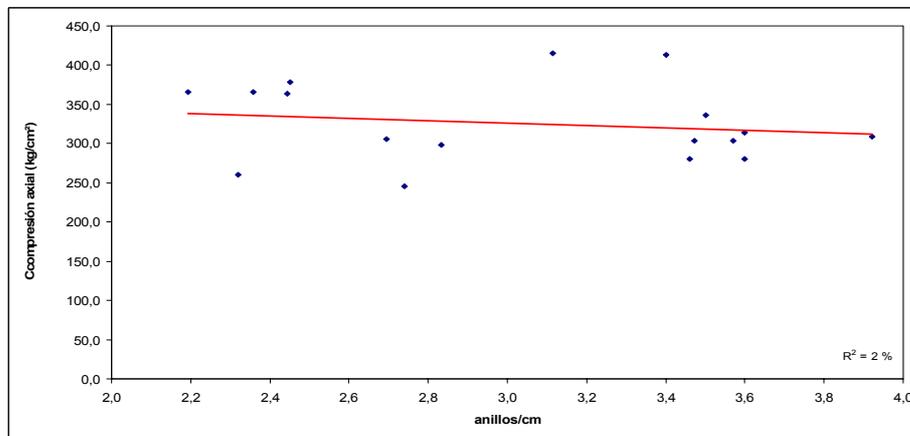


Figura 56: Compresión axial según árboles de crecimiento rápido.

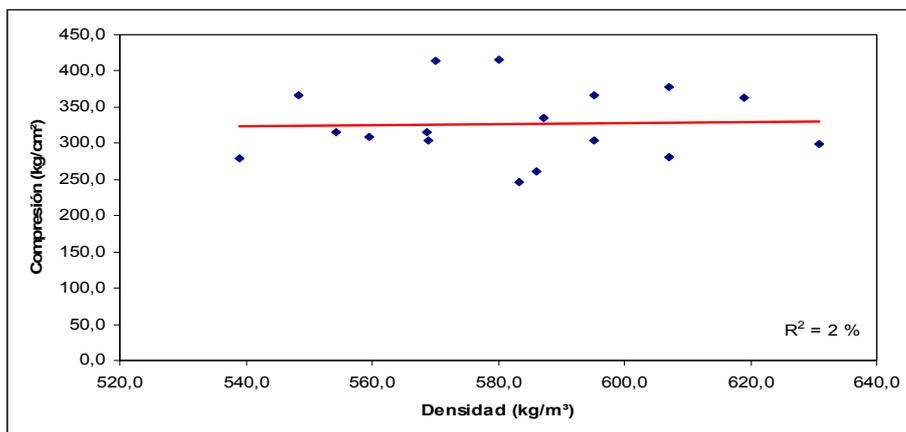


Figura 57: Compresión axial según densidad en árboles de crecimiento rápido.

Ensayo Clivaje:

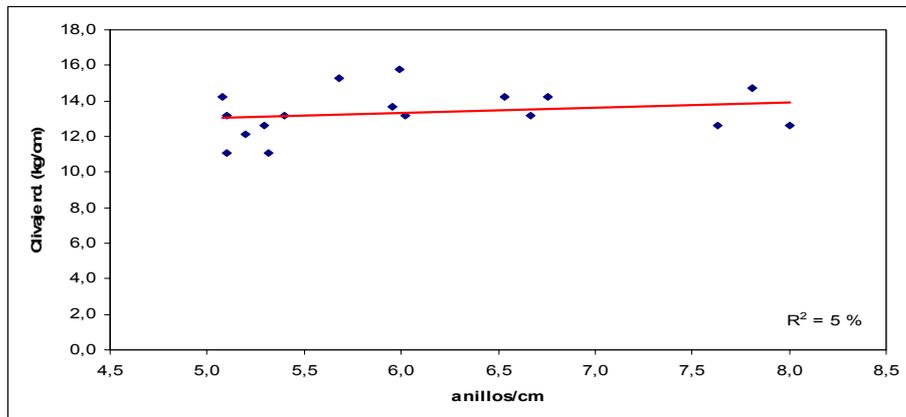


Figura 58: Clivaje radial según árboles de crecimiento lento.

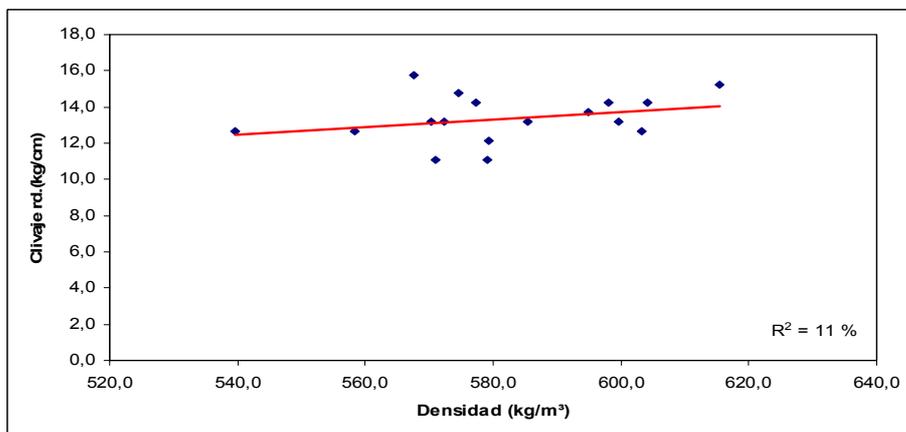


Figura 59: Clivaje radial según densidad en árboles de crecimiento lento.

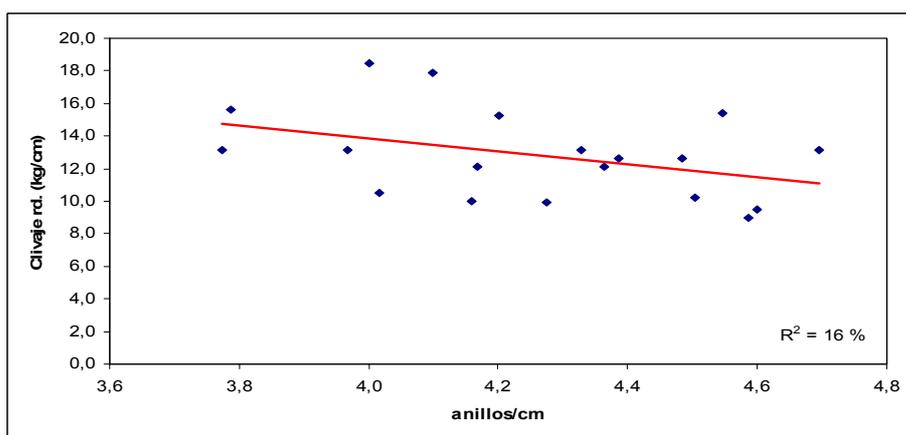


Figura 60: Clivaje radial según árboles de crecimiento moderado.

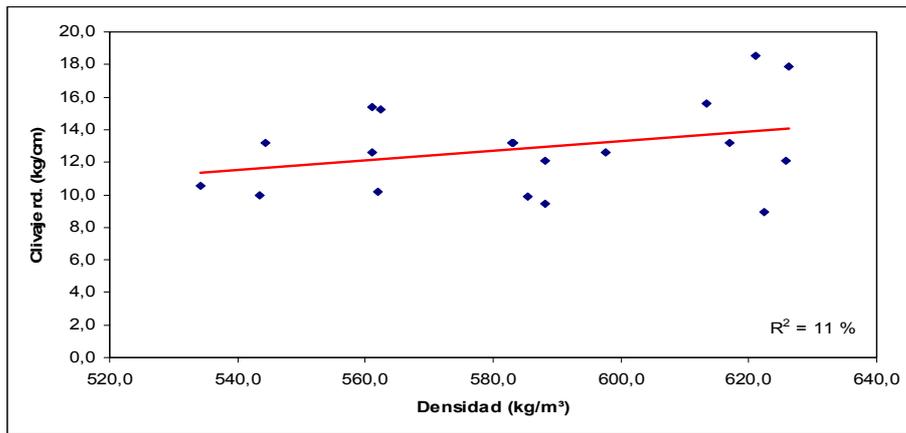


Figura 61: Clivaje radial según densidad en árboles de crecimiento moderado.

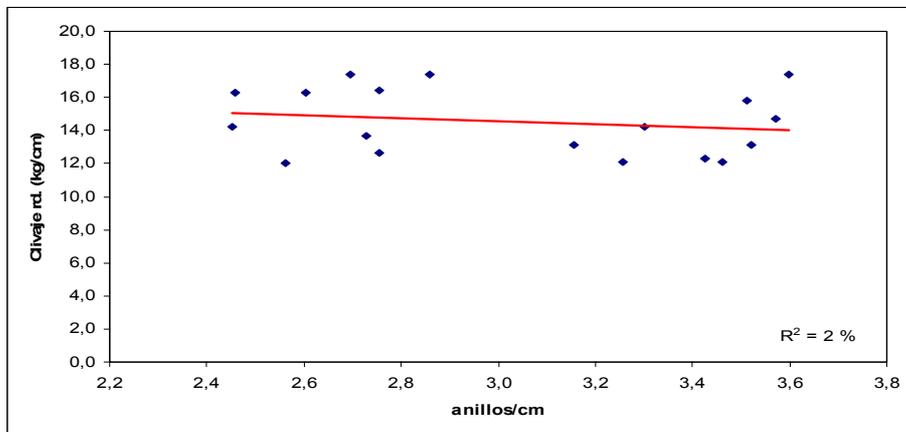


Figura 62: Clivaje radial según en árboles de crecimiento rápido.

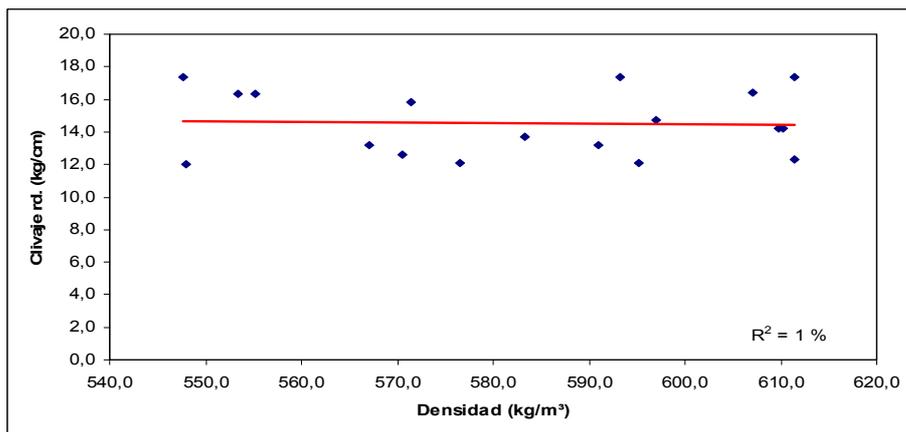


Figura 63: Clivaje radial según densidad en árboles de crecimiento rápido.

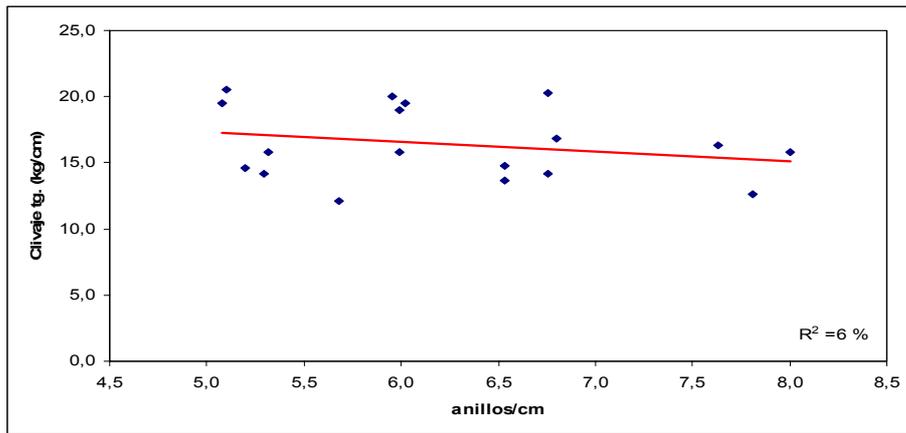


Figura 64: Clivaje tangencial según árboles de crecimiento lento

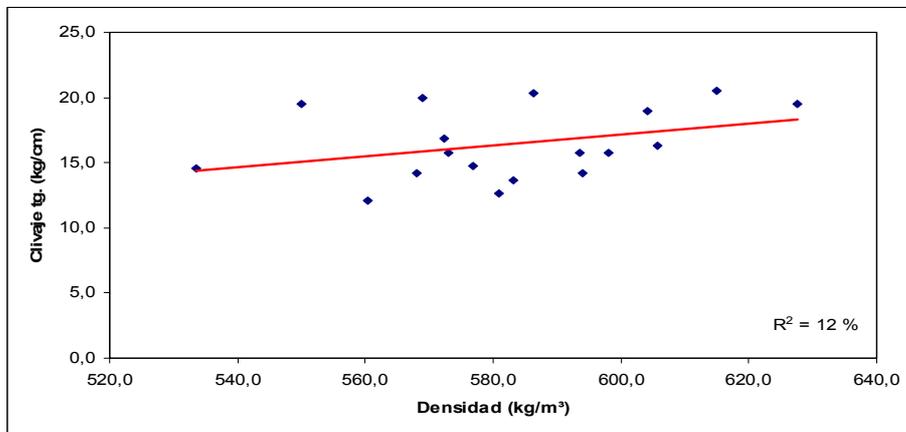


Figura 65: Clivaje tangencial según densidad en árboles de crecimiento lento.

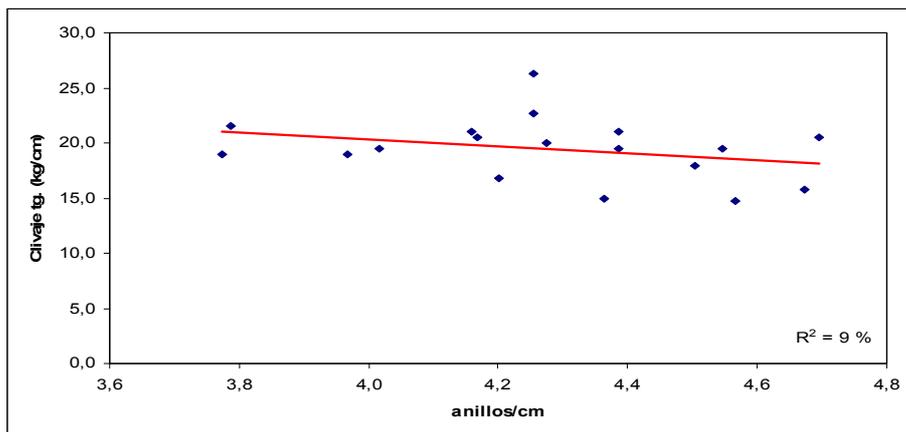


Figura 66: Clivaje tangencial según en árboles de crecimiento moderado.

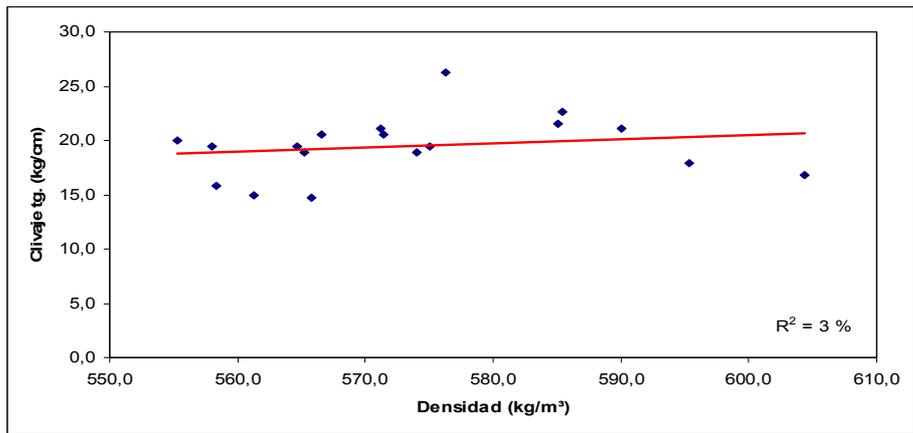


Figura 67: Clivaje tangencial según densidad en árboles de crecimiento moderado.

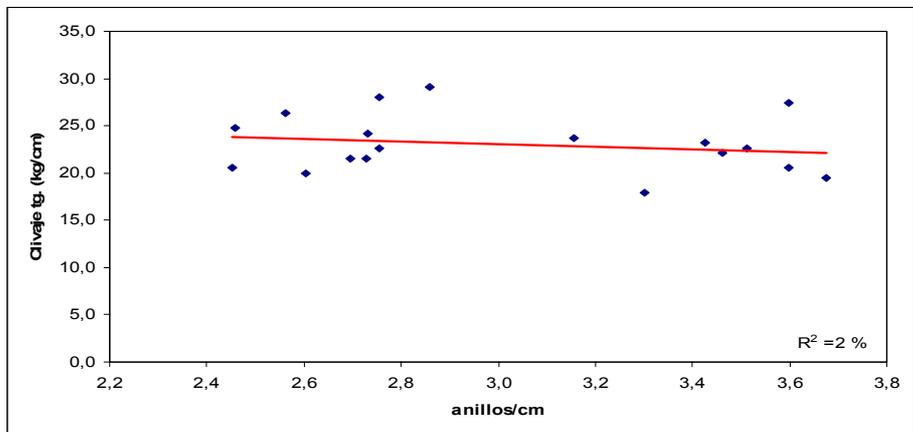


Figura 68: Clivaje tangencial según árboles de crecimiento rápido.

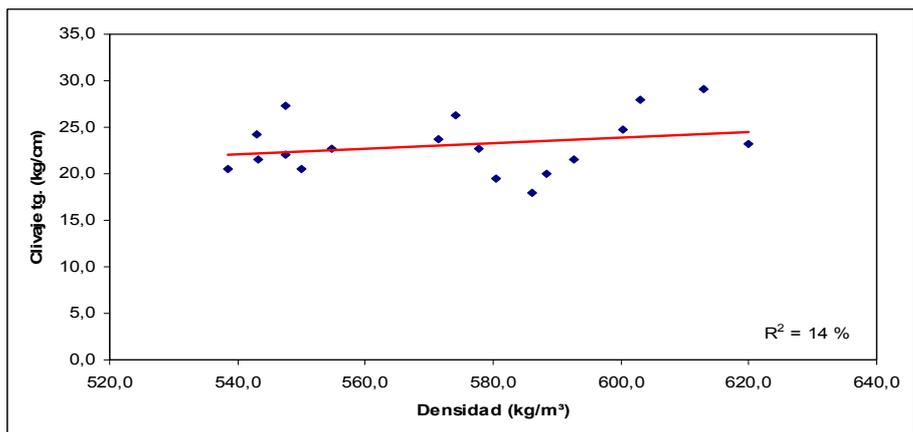


Figura 69: Clivaje tangencial según densidad en árboles de crecimiento rápido.

Ensayo Cizalle:

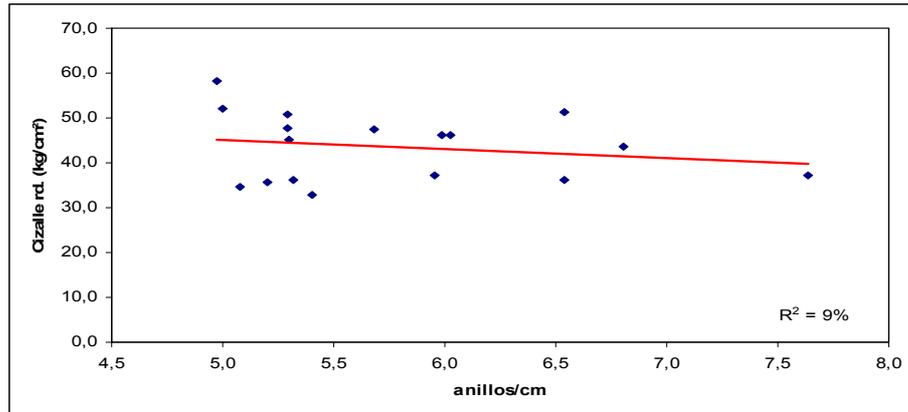


Figura 70: Cizalle radial según árboles de crecimiento lento.

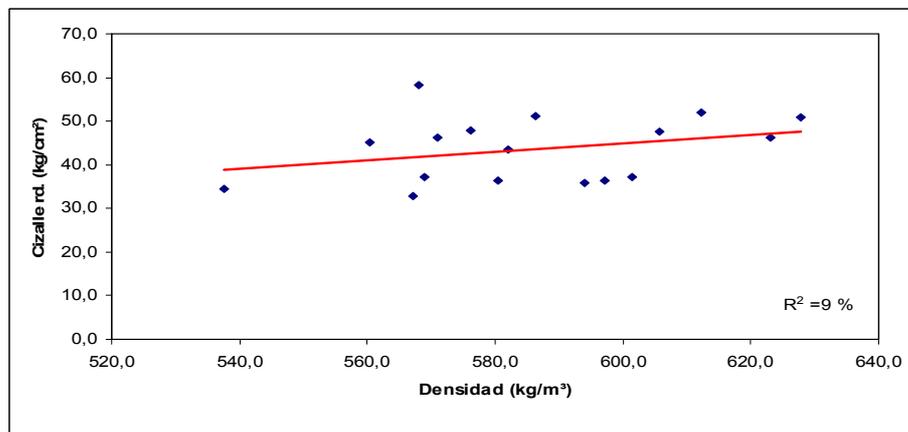


Figura 71: Cizalle radial según densidad en árboles de crecimiento lento.

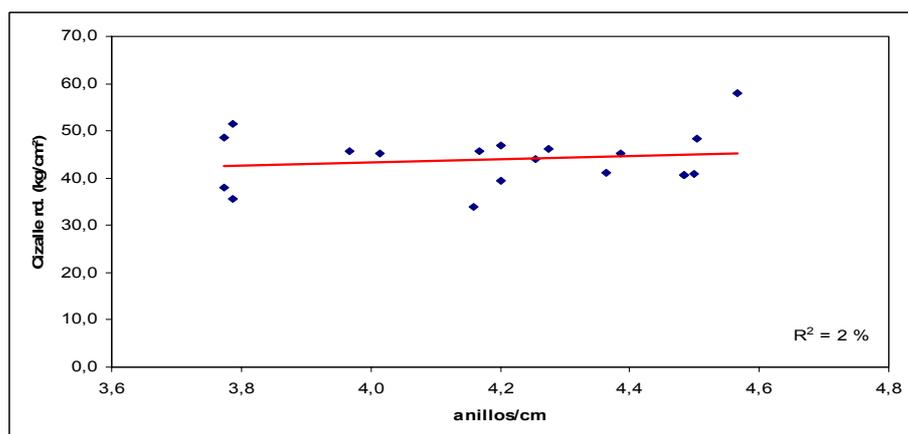


Figura 72: Cizalle radial según árboles de crecimiento moderado.

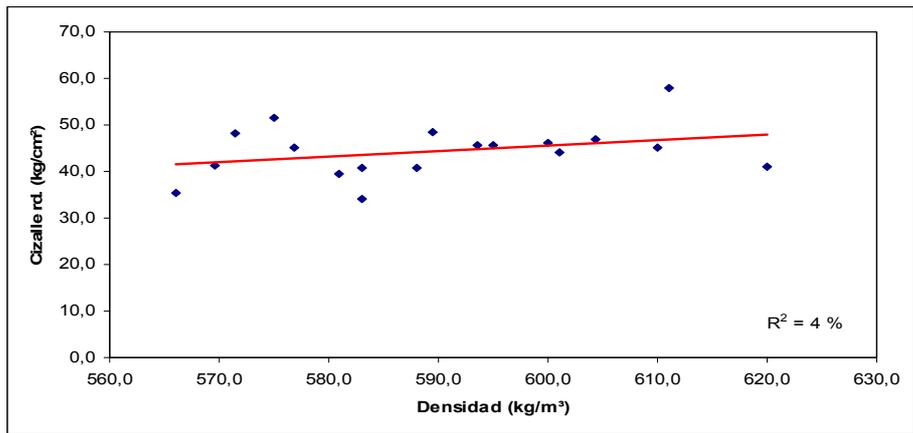


Figura 73: Cizalle radial según densidad en árboles de crecimiento moderado.

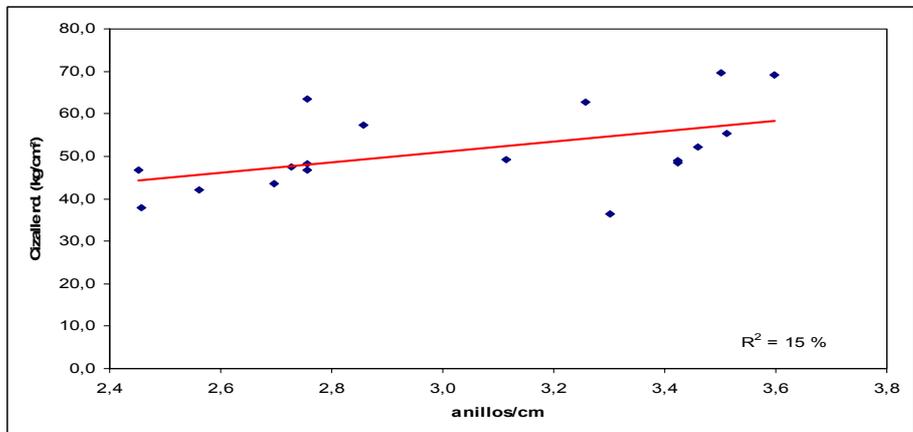


Figura 74: Cizalle radial según en árboles de crecimiento rápido.

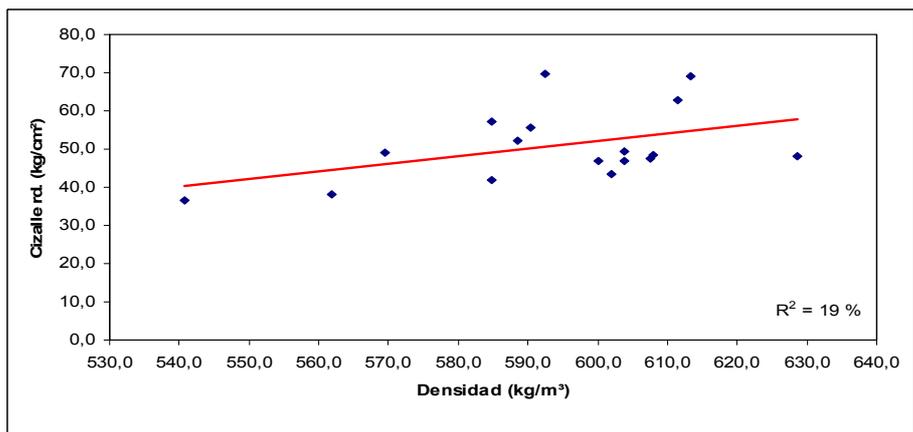


Figura 75: Cizalle radial según densidad en árboles de crecimiento rápido.

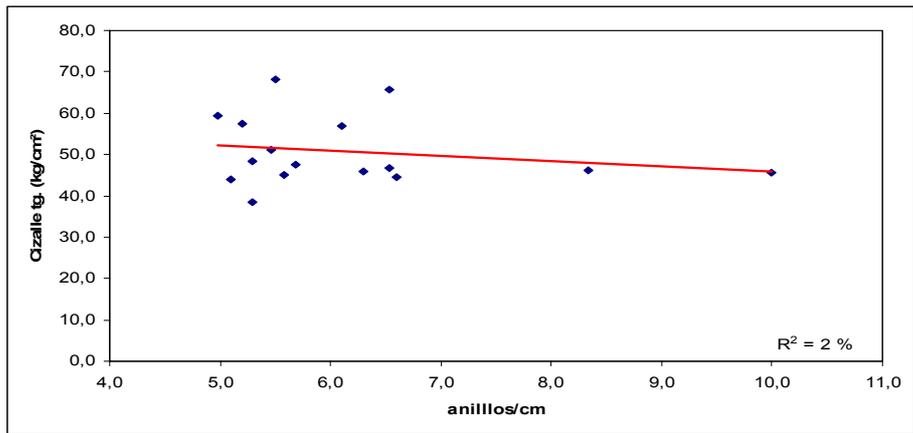


Figura 76: Cizalle tangencial según árboles de crecimiento lento.

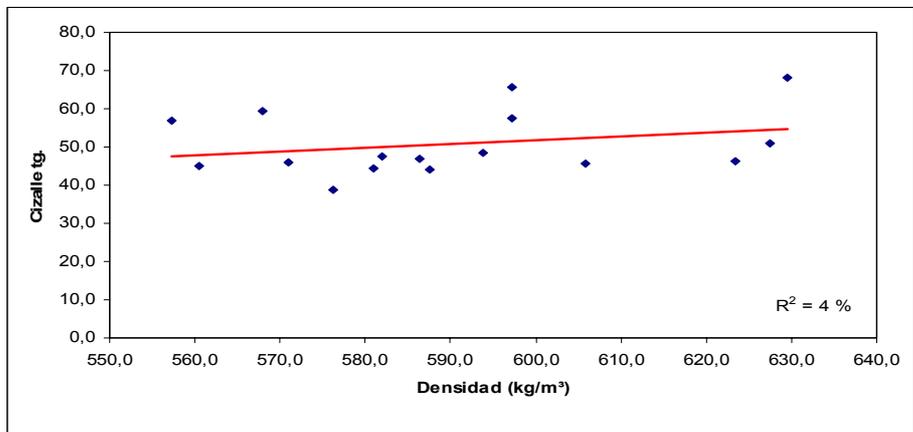


Figura 77: Cizalle tangencial según densidad en árboles de crecimiento lento.

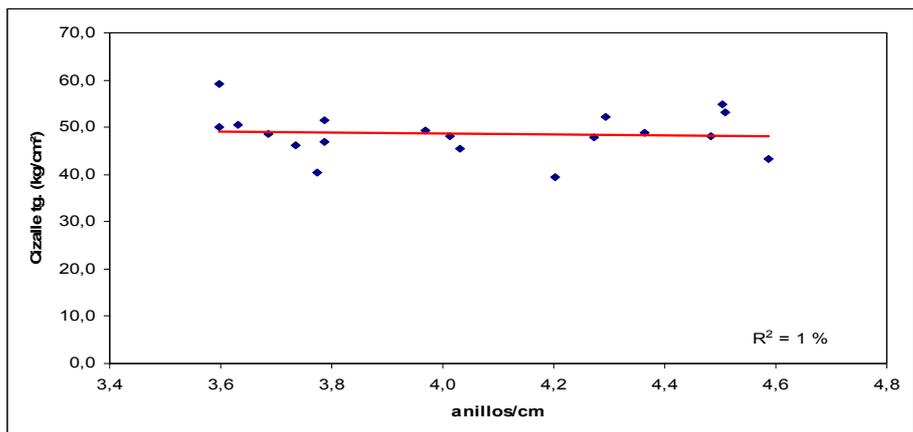


Figura 78: Cizalle tangencial según árboles de crecimiento moderado.

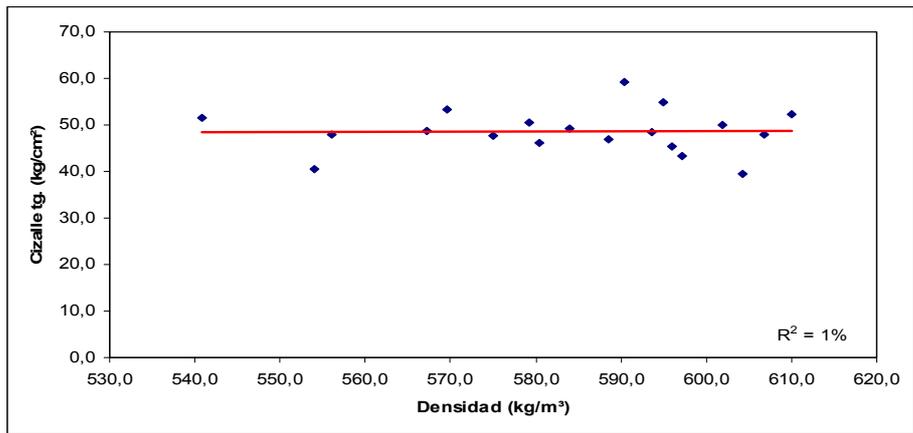


Figura 79: Cizalle tangencial según densidad en árboles de crecimiento moderado.

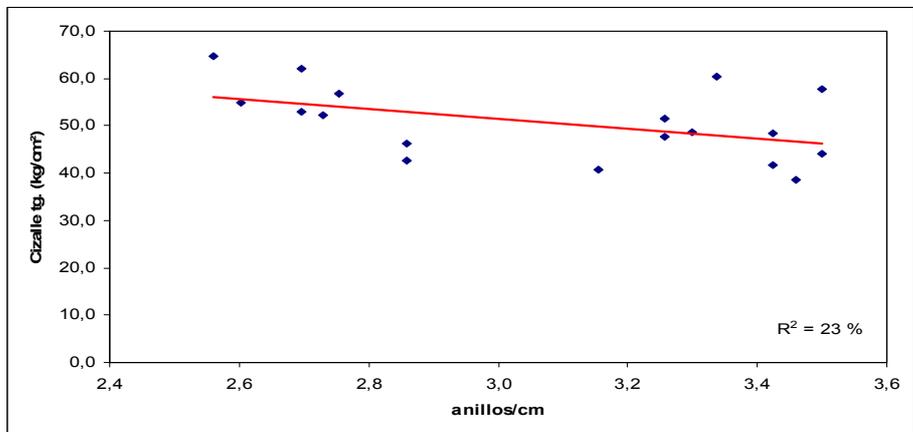


Figura 80: Cizalle tangencial según árboles de crecimiento rápido

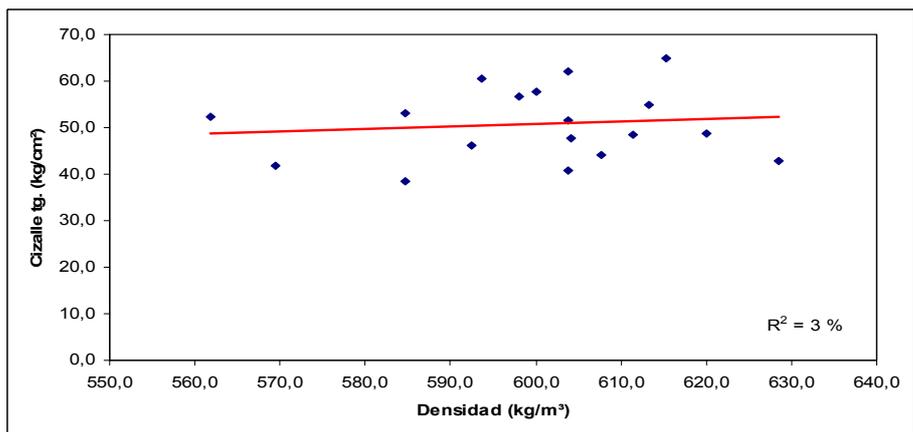


Figura 81: Cizalle tangencial según densidad en árboles de crecimiento rápido.

Ensayo Dureza:

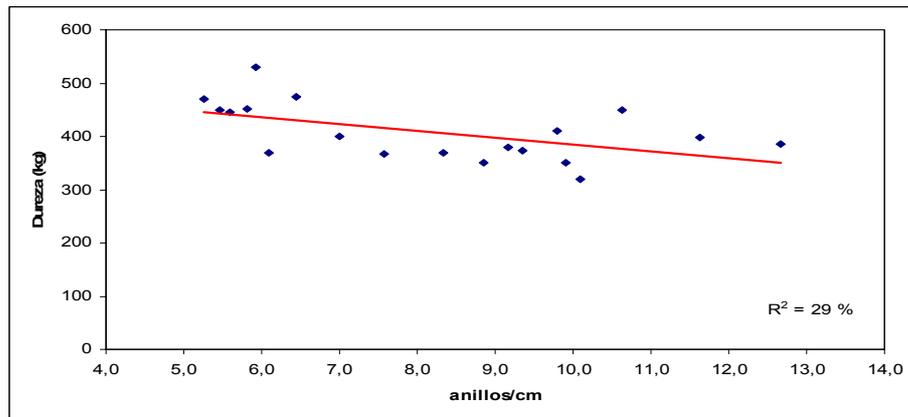


Figura 82: Dureza paralela según árboles de crecimiento lento.

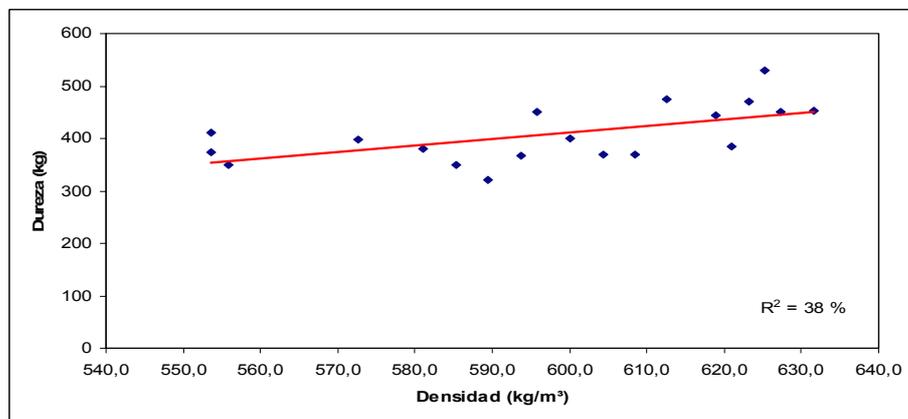


Figura 83: Dureza paralela según densidad en árboles de crecimiento lento.

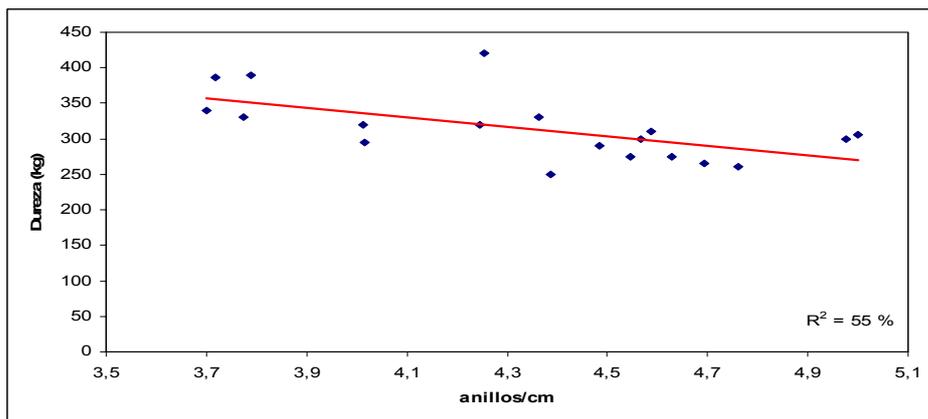


Figura 84: Dureza paralela según árboles de crecimiento moderado.

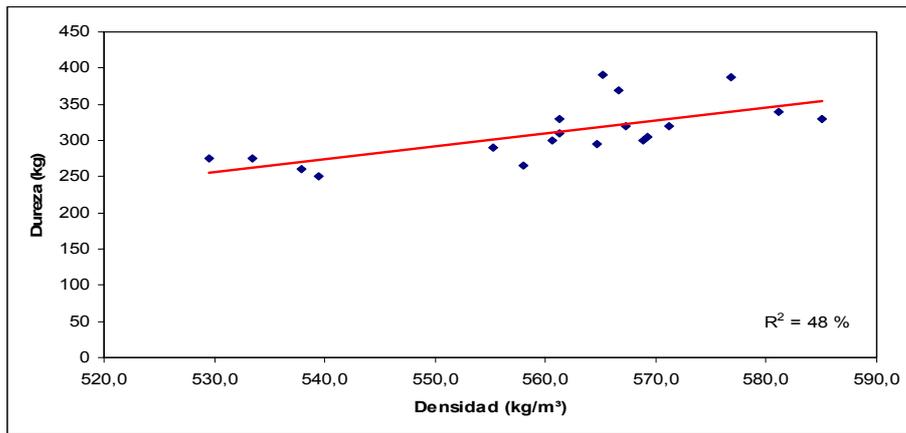


Figura 85: Dureza paralela según densidad en árboles de crecimiento moderado.

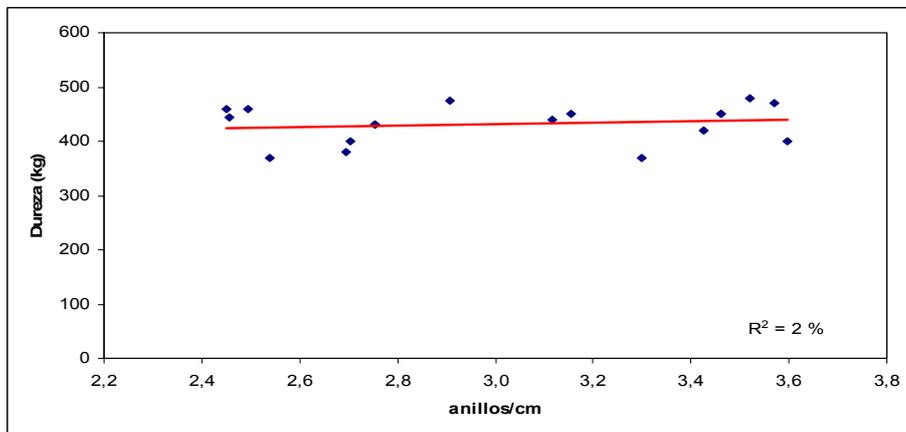


Figura 86: Dureza paralela según árboles de crecimiento rápido.

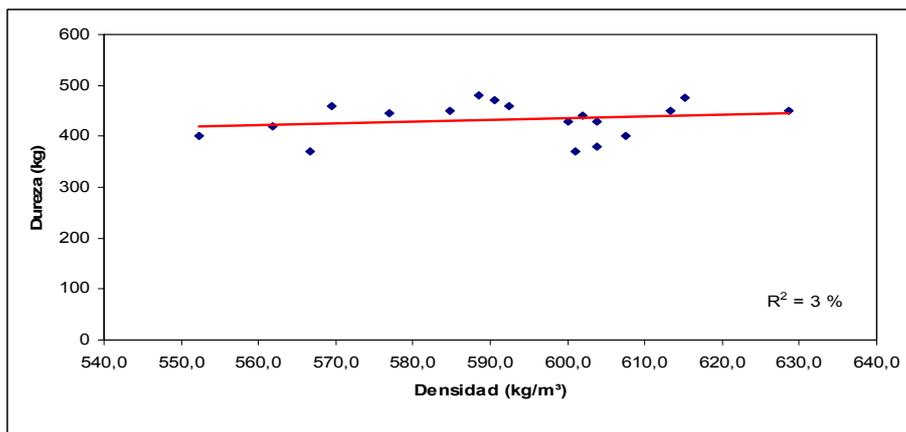


Figura 87: Dureza paralela según densidad en árboles de crecimiento rápido.

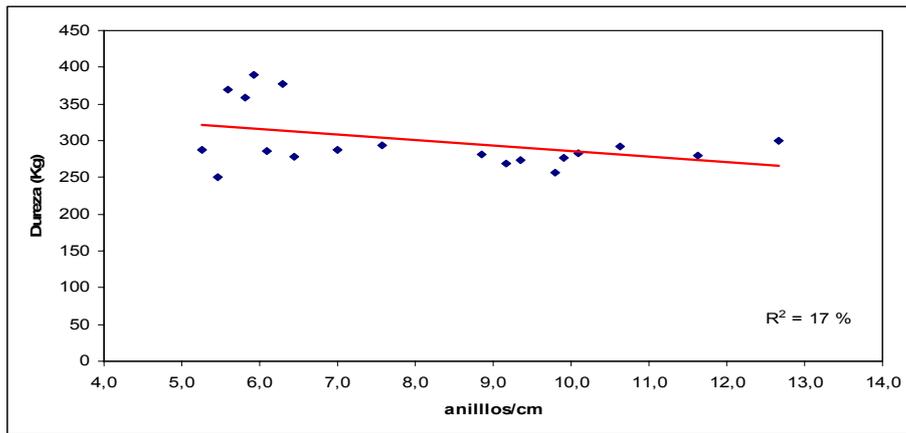


Figura 88: Dureza normal radial según árboles de crecimiento lento.

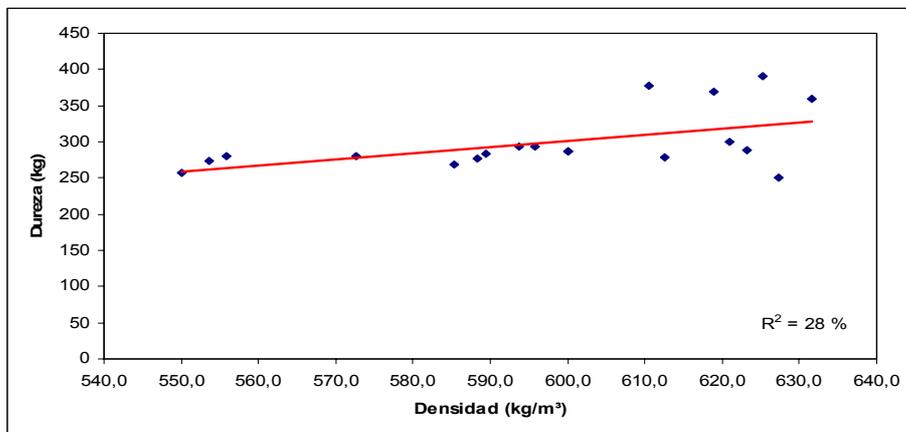


Figura 89: Dureza normal radial según densidad en árboles de crecimiento lento.

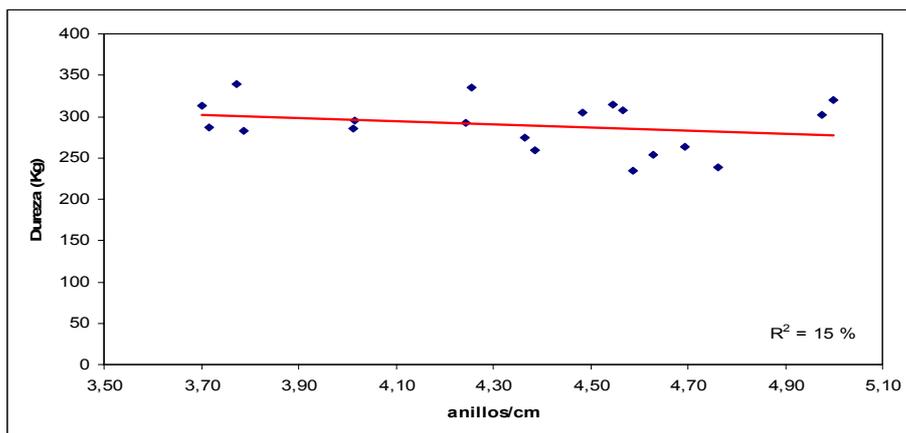


Figura 90: Dureza normal radial árboles de crecimiento moderado.

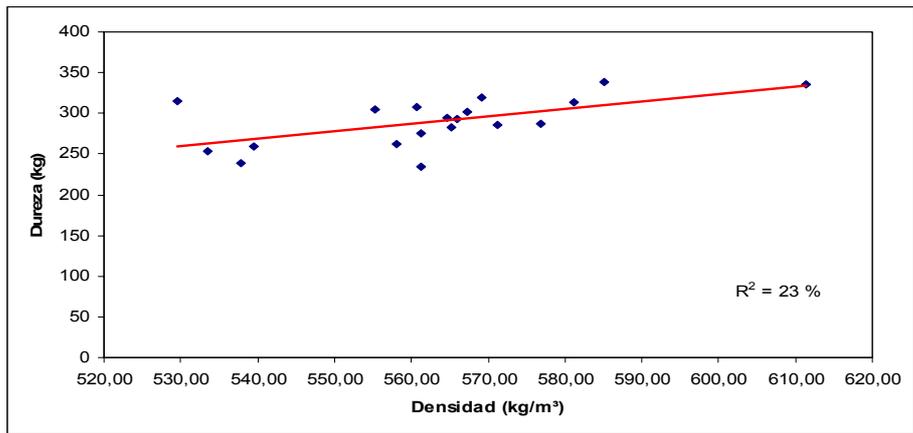


Figura 91: Dureza normal radial según densidad en árboles de crecimiento moderado.

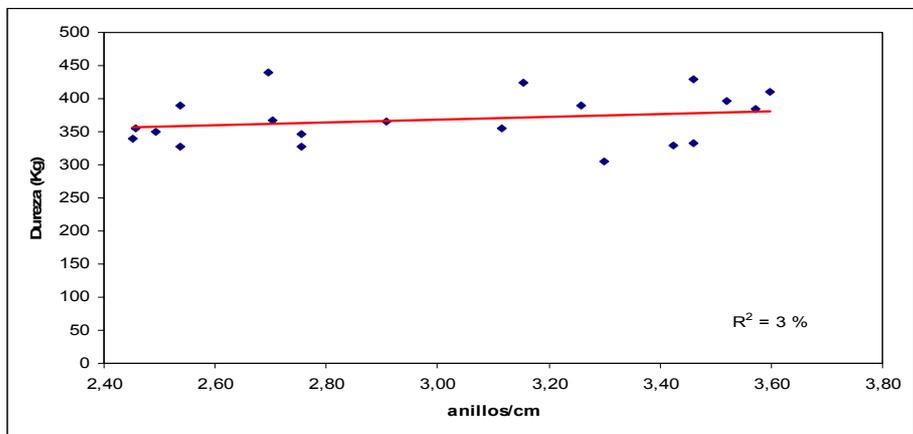


Figura 92: Dureza normal radial según árboles de crecimiento rápido.

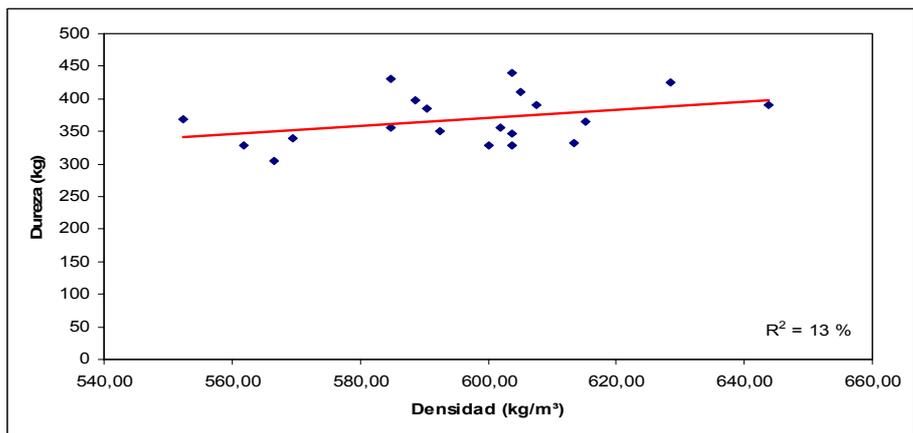


Figura 93: Dureza normal radial según densidad en árboles de crecimiento rápido.

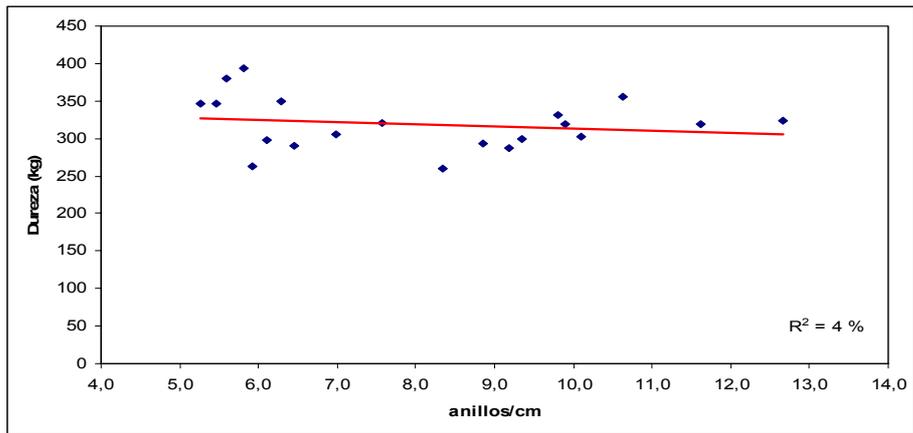


Figura 94: Dureza normal tangencial según árboles de crecimiento lento.

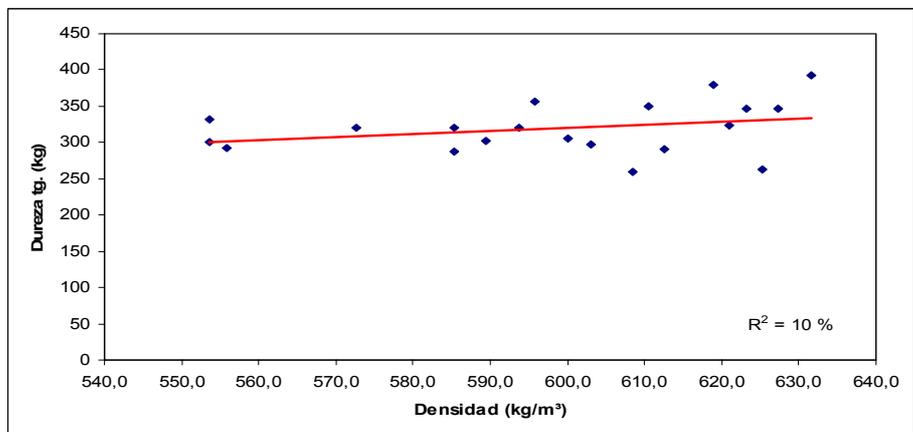


Figura 95: Dureza normal tangencial según densidad en árboles de crecimiento lento.

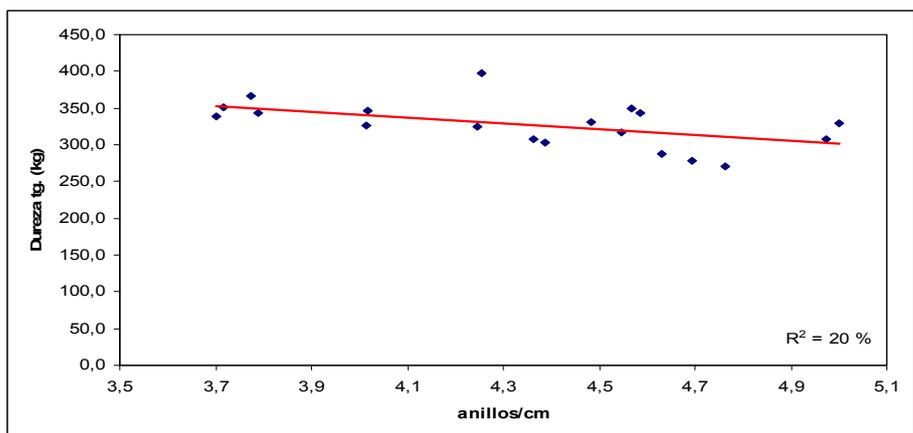


Figura 96: Dureza normal tangencial según árboles de crecimiento moderado.

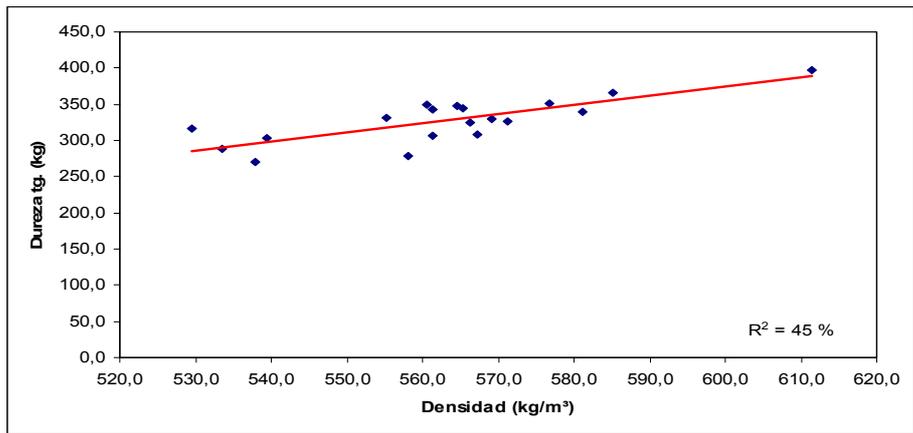


Figura 97: Dureza normal tangencial según densidad en árboles de crecimiento moderado.

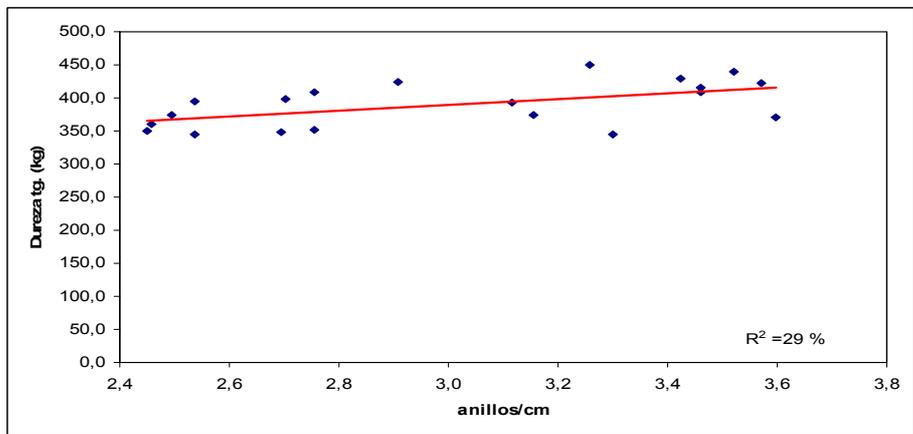


Figura 98: Dureza normal tangencial según árboles de crecimiento rápido.

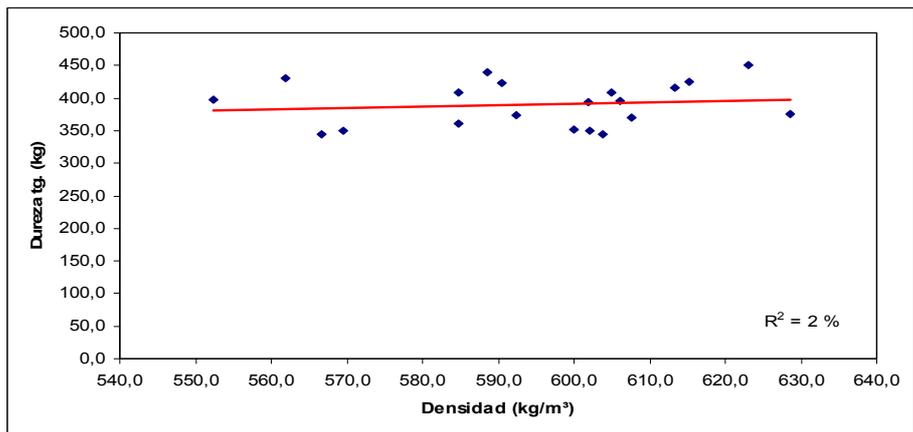


Figura 99: Dureza normal tangencial según densidad en árboles de crecimiento rápido