



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

“Comparación de tensiones de crecimiento en plantaciones adultas de híbridos entre *Eucalyptus nitens* (Deane et Maiden) Maiden y *Eucalyptus globulus* Labill”

Patrocinante: Sr. Mario Meneses V.

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

JOCELYN TAMARA ORMEÑO ALVEAL

VALDIVIA
2008

CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

Profesor guía:	Sr. Mario Meneses Villanueva	Nota <u>5,8</u>
Informante:	Sr. Jean Pierre Lasserre	<u>6,4</u>
Informante:	Sr. Luis Inzunza Diez	<u>6,0</u>

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

Sr. Mario Meneses V.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar el inmenso agradecimiento que siento a todas aquellas personas que con su enseñanza, apoyo y amistad hicieron posible la realización de esta tarea y que de una u otra forma estuvieron junto a mí.

A mis padres Víctor y Niria, que me apoyaron incansablemente durante todos los años de estudios al darme su confianza, cariño y dedicación. Mis tías Marta, Gladys y Maiguito, que con mucha paciencia han sido un gran apoyo para cumplir este sueño y mis hermanos Angélica y Manuel, por su apoyo y amistad.

A mis inseparables amigos forestines, Carolin, Rubidio, Osornin, Barbie y Silverio, quienes me enseñaron a creer en la amistad y con los cuales compartimos tan lindos momentos, incansables horas de estudio y también de carrete en "Cervantes Pub". A Claudia, Bea y Karins, estos últimos años en la "U" mis compañeras de estudio y amigas.

Como olvidar ese largo verano en la toma de datos junto a Anita y Karín, gracias chicas fue un gran trabajo.

A mi profesor Mario Meneses, por su ayuda y paciencia en la realización de esta tesis, a Don Jean Pierre Lasserre por el apoyo en la toma de datos y en la práctica y al profesor Luis Inzunza, por su confianza y apoyo.

Gracias a Dios

INDICE DE MATERIAS

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO/CONCEPTUAL	2
2.1 Definición y origen de las tensiones de crecimiento	2
2.2 Problemas que causan las tensiones de crecimiento	4
2.2.1 Efecto de las tensiones de crecimiento en el procesamiento	4
2.2.2 Técnicas para disminuir tensiones de crecimiento	6
2.3 Métodos para estimar tensiones de crecimiento	7
3 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	8
3.1 Material	8
3.1.1 Ubicación del área de estudio	8
3.1.2 Establecimiento de los ensayos	8
3.1.3 Características silvícolas	8
3.2 Metodología	8
3.2.1 Obtención de datos	8
3.2.2 Análisis estadístico	11
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
4.1 Niveles de tensiones entre tipo de material de origen	13
4.2 Distribución de las tensiones de crecimiento en el perímetro del árbol	14
4.2.1 Distribución de las tensiones de crecimiento entre sitios con material de origen híbridos	14
4.2.2 Distribución de las tensiones de crecimiento entre sitios con material puros	18

4.2.3	Distribución de las tensiones de crecimiento dentro del sitio híbridos v/s puros	20
4.3	Relación de las tensiones de crecimiento con otras variables	22
4.3.1	Relación tensiones de crecimiento con DAP, altura total y ahusamiento	22
4.3.2	Relación tensiones de crecimiento con variables de copa	22
4.3.3	Relación tensiones de crecimiento con velocidad de sonido	23
5.	CONCLUSIONES	24
	BIBLIOGRAFÍA	25
	ANEXOS	
	1. Abstract and keywords	
	2. Gráficos de dispersión por procedencia	
	3. Estadística descriptiva para las variables de estado	
	4. Estadística de Inferencia	

INDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Estadísticos descriptivos de las DRL por sitio y tipo de material de origen.	13
Cuadro 2. Estadísticos descriptivos para las DRL por sitio en híbridos según diferentes direcciones cardinales.	15
Cuadro 3. Valores medios de las DRL según direcciones cardinales N/S y E/O, en ambos tipos de material y sitios.	16
Cuadro 4. Estadísticos descriptivos para las DRL por sitio en árboles puros de <i>E. nitens</i> según diferentes direcciones cardinales.	18
Cuadro 5. Coeficientes de correlación r para las variables dasométricas por sitio y material de origen.	20
Cuadro 6. Coeficientes de correlación r para las variables Área y Volumen de copas.	21
Cuadro 7. Coeficientes de correlación r para las variables Velocidad de Sonido de árbol en pie con <i>Tree Sonic</i> y primera troza con <i>Hitman</i> .	21

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Esquema de la composición de las tensiones	3
Figura 2. Composición de la pared celular	3
Figura 3. Efecto de las tensiones homogéneas en la distribución de grietas en trozas.	5
Figura 4. Grietas en híbridos <i>E. nitens-globulus</i> y grietas en <i>E. nitens</i>	5
Figura 5. Grietas irregulares en dirección y magnitud en <i>E. nitens</i>	5
Figura 6. Arqueadura en tablas aserradas producidas por la liberación de tensiones de crecimiento.	6
Figura 7. Medición de proyección de copas en árboles en pie	9
Figura 8. Medición de la Velocidad de sonido en árboles en pie	10
Figura 9. Medición de velocidad en trozas <i>Hitman</i>	10
Figura 10. Secuencia de medición de las DRL	11
Figura 11. Distribución de las DRL (Strain) por sitio incluyendo ambos materiales de origen.	13
Figura 12. Frecuencia de cantidad de individuos por sitio según valor de Strain.	14
Figura 13. Comportamiento de las DRL en híbridos para los sitios S1 y S2 según diferentes direcciones cardinales.	15
Figura 14. Gráfico de dispersión de las DRL en híbridos para exposiciones opuestas N/S y E/O en ambos sitios.	16
Figura 15. Gráfico de dispersión de las DRL en híbridos promedio total v/s DRL en exposiciones N/S y E/O en ambos sitios.	17
Figura 16. Gráfico de dispersión de las DRL según exposición para el sitio 1.	18
Figura 17. Gráfico de dispersión de las DRL según exposición para el sitio 2.	19

Figura 18.	Comportamiento de las DRL en árboles puros de <i>E. nitens</i> para los sitios S1 y S2 según diferentes direcciones cardinales.	19
Figura 19.	Gráfico de dispersión de las DRL en híbridos para exposiciones opuestas N/S y E/O en ambos sitios.	20
Figura 20.	Gráfico de dispersión de las DRL en árboles puros de <i>E. nitens</i> promedio total v/s DRL en exposiciones N/S y E/O en ambos sitios.	20
Figura 21.	Gráfico de valores promedios y error estándar para las DRL (mm) dentro del sitio para los sitios S1 y S2.	21
Figura 22.	Gráfico de dispersión de las DRL dentro del S1 y S2 en valores promedio total y promedio N/S y E/O.	21

RESUMEN EJECUTIVO Y PALABRAS CLAVES

Se estudió el comportamiento de las Deformaciones residuales longitudinales DRL en individuos de *Eucalyptus nitens* (Deane et Maiden) Maiden y en híbridos de *Eucalyptus nitens* y *Eucalyptus globulus*, en dos condiciones de sitios ubicados en la Hacienda Rucamanqui (Precordillera Andina) y Predio Salto Malvén (Depresión Intermedia) en la Región del Bio Bio. Se determinó las DRL en trozas, utilizando el método CIRAD- Forêt en trozas basales de 3 metros. Los ensayos tenían condiciones similares de edad y manejo, esto con el fin de dejar constante estas variables.

El objetivo general de este estudio fue comparar las tensiones de crecimiento en plantaciones adultas de *E. nitens* y en híbridos de *E. nitens* y *E. globulus*. Mientras que los objetivos específicos fueron: a) Comparar la variabilidad de las tensiones de crecimiento entre y dentro de los sitios en híbridos y puros de *E. nitens* y b) Analizar relaciones entre tensiones de crecimiento y las distintas variables del árbol para cada sitio.

A través del análisis estadístico descriptivo no se observaron valores extremos para las DRL entre los sitios, los valores promedio encontrados fueron entre 0,044 y 0,225 mm. No se encontraron diferencias significativas entre las DRL y las variables analizadas en este estudio.

Se observó dentro de los sitios las mayores diferencias entre las variables analizadas, siendo el Sitio 1 donde el promedio de tensiones de crecimiento y la exposición N/S presentaron un p-valor de 0,040. No se encontraron diferencias significativas entre los promedios de tensiones de crecimiento entre materiales estudiados entre sitios.

Se relacionó las tensiones de crecimiento con variables de estado del árbol, dasométricas como DAP, Altura total y Ahusamiento, variables de copa y módulo de elasticidad con velocidad de sonido en árbol en pie "*Tree sonic*" y en trozas "*Hitman*". Donde, la relación más alta encontrada fue en el Sitio 1 en la variable Volumen de copas con un valor de asociación r de 0,901 y no encontrándose una explicación clara de dicha tendencia.

Finalmente, no se encontró relación entre las tensiones de crecimiento y el Módulo de Elasticidad, donde la relación con mayor valor fue en cada uno de los sitios para el material de origen puro con 22,8 y 38,2% aproximadamente.

Palabras claves: *Eucalyptus nitens*, *Eucalyptus globulus*, tensión de crecimiento, híbrido.

1. INTRODUCCIÓN

El eucalipto, originario de Australia y Malasia, ha sido introducido a varios países destacando España, Portugal, Nueva Zelandia, Chile, Brasil, Uruguay y Argentina, adaptándose a los más diversos suelos y climas (Lyon, 1990).

El género *Eucalyptus* es parte de muchos ejemplos que indican que asistimos a la gestión de un importante cambio forestal en torno a las nuevas posibilidades que puedan ofrecer las plantaciones de este género.

En Chile, el recurso de plantaciones de *Eucalyptus* a Diciembre de 2006 tiene una superficie total de 585 mil hectáreas de plantaciones, de las cuales el 25% son de la especie *Eucalyptus nitens* (INFOR, 2008).

Actualmente, *E. nitens* ha cobrado gran interés en nuestro país, siendo la tercera especie más plantada después de pino radiata y *Eucalyptus globulus*, la cual presenta una amplia expansión principalmente en el sur de Chile, debido a una serie de condiciones edafo-climáticas, así como también por su rápido crecimiento y su reconocida resistencia a las heladas. Es por esta última característica que Forestal Mininco S.A., ha establecido una serie de ensayos con el fin de mejorar esta característica en *E. globulus* y poder ampliar el rango de distribución de esta especie a través de híbridos.

En Chile, *Eucalyptus nitens* es una especie destinada a proyectos de inversión de obtención de fibra corta principalmente para la industria de la celulosa, debido a los bajos precios en su madera. No obstante, la producción de rollizos gruesos para aserrío y chapas con plantaciones de este género es también una tendencia mundial, y se hace una necesidad comenzar con pruebas comerciales en el aserrío y en las chapas, con el fin de mantener esta especie en el tiempo y potenciar sus utilidades.

Sin embargo, es conocido también que especies de este género presentan problemas al momento de procesar los árboles, donde las trozas sufren importantes rajaduras en los extremos, así como también deformaciones posteriores en la madera aserrada, ambas ocasionadas por las denominadas tensiones de crecimiento.

Con el fin de buscar nuevos mercados para esta especie y entender su comportamiento frente a procesos industriales, es que el presente trabajo tiene por objetivo general comparar tensiones de crecimiento en plantaciones adultas de híbridos de *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens* en dos condiciones de sitio. Para ello, se desarrollarán los siguientes objetivos específicos.

- Comparar la variabilidad de las tensiones de crecimiento entre y dentro de los sitios en híbridos y puros de *E. nitens*
- Analizar relaciones entre tensiones de crecimiento y las distintas variables del árbol para cada sitio.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Definición y origen de las Tensiones de Crecimiento

En la década de los años 40, Jacobs (1939) citado por Touza (2001), propuso definir las tensiones existentes en el interior de la madera de los árboles en pie como “tensiones de crecimiento” (“*growth stresses*”). Prado *et al.* (1989), define a las tensiones de crecimiento como; las fuerzas generadas entre capas sucesivas de madera al producirse el crecimiento y la necesidad de mantener la copa en una posición lo más vertical posible, producen tensiones en el interior del tronco que se manifiestan al momento de la corta. Según INFOR (2008), las tensiones de crecimiento o estrés de crecimiento, son un conjunto de esfuerzos de tracción y compresión, que se generan de manera natural durante la formación de nuevas células leñosas en el cambium con componentes longitudinal, radial y tangencial en relación al eje del fuste de los árboles.

Estudios realizados por Touza (2001), indican que las tensiones relacionadas con el peso propio del árbol son despreciables en comparación con las provocadas por la maduración de las fibras. Estas últimas tensiones de crecimiento tienen su desarrollo en las células que produce el cambium y en los cambios originados por la incorporación de lignina entre los espacios intermicrofibrilares de la pared celular durante el proceso de madurez celular. El origen de las tensiones de crecimiento es atribuido a la interacción que ocurre entre la tensión longitudinal generada en las microfibrillas de celulosa y las tensiones generadas durante la depositación de lignina (Chahuan, 2004). En oposición a lo expuesto anteriormente, Bamber (2001) señala que las tensiones de crecimiento son originadas por la naturaleza de los cristales de celulosa y que la lignina no participa en las tensiones de crecimiento.

Debido a que las tensiones de crecimiento está asociado al crecimiento celular, el cual a su vez se encuentra asociado al desarrollo de las capas que conforman las células, también se ha indicado que las tensiones de crecimiento tienen su inicio durante el período de diferenciación y maduración celular, y el proceso de lignificación de su pared; las células leñosas comienzan a experimentar procesos de acortamiento longitudinal y expansión transversal que se ven limitados por las fibras ya diferenciadas del leño adyacente, determinado tensiones de tracción longitudinal en la nueva fibra recién diferenciada (Cassens y Serrano, 2004; Valdés, 2004). Al producirse una expansión transversal asociada con un acortamiento en el sentido longitudinal de la célula del tejido leñoso. La mayor rigidez de fibras diferenciadas vecinas a las que la célula joven está fijada, restringe la extensión de este acortamiento longitudinal de tal forma que se desarrolla una tensión longitudinal (Figura 1).

Las tensiones de crecimiento son generadas en las células recién formadas y la magnitud de ellas depende del ángulo de las microfibrillas en alineación con el eje de la pared celular (Chahuan, 2004). Según Hillis y Braun (1988), durante la formación de las nuevas células la lignina es incorporada en la pared de las microfibrillas causando hinchamiento o expansión en el plano transversal y un acortamiento en el

largo de la fibra, esta acumulación de lignina puede ser distinta en áreas de diversa tensión perimetral. Las fuerzas de tracción longitudinal ejercen a su vez una compresión de las fibras ya diferenciadas presentes en la capa de madera adyacente, reduciendo su estado de tracción original, así sucesivamente se produce una acumulación de sucesivas capas de madera, determina el paso de tracción a compresión longitudinal de las fibras, desde periferia a médula del árbol, que en algunos casos produce elevados niveles de compresión al interior del fuste (Cassens y Serrano, 2004 citado por INFOR, 2008).

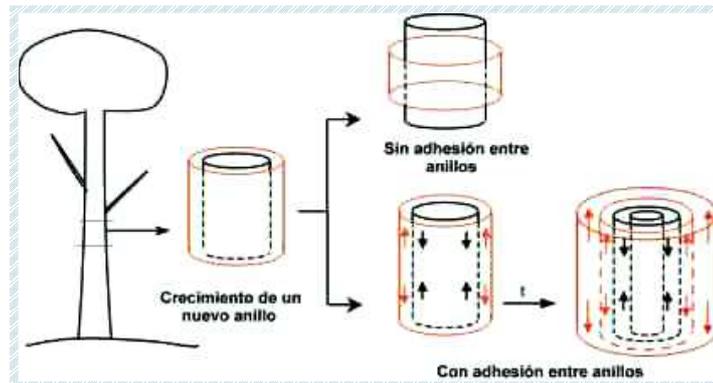


Figura 1. Esquema de la composición de las tensiones (Maduración de la fibra + Tensiones soportadas = Tensiones de crecimiento longitudinales), (Touza, 2001).

El desarrollo de las capas de células comienza con la formación de la lámina media, pared primaria, seguido por la pared secundaria la que a su vez esta conformada por tres zonas s_1 , s_2 y s_3 (Figura 2). El ángulo de la microfibrilla va a depender del contenido de celulosa, celulosa cristalina y lignina, siendo esto lo que determinará el nivel y la dirección de las tensiones, es así que, ángulos menores en la capa s_2 ocasionaran una reducción del largo de la fibra y viceversa para ángulos mayores, siendo un factor importante en la determinación de la magnitud y tipo de tensión de crecimiento en la madera (Yamamoto, 1998 citado por Chauhan, 2004).

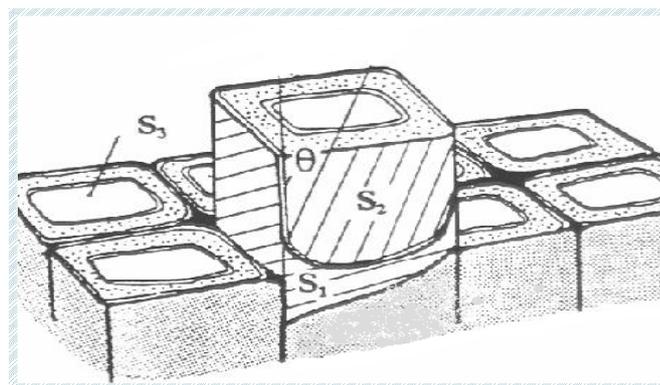


Figura 2. Composición de la pared celular, (Walker, 2007).

Los autores Waugh y Yang (2004) señalan que las tensiones de crecimiento están asociadas con el desarrollo de la pared secundaria en las fibras de la madera. Los mayores cambios estructurales tienen lugar en la pared secundaria de las células

durante un proceso de maduración, en el que, las nuevas células son paredes gruesas, rígidas y lignificadas (Touza, 2001).

Las tensiones de crecimiento no solo poseen su origen en la maduración celular, sino que además tienen un origen en el propio peso del árbol y en especial en el peso de sus copas y en sus procesos de reorientación en busca de posiciones más competitivas de luz y espacio (Touza, 2001; Cassens y Serrano, 2004), así como también al tratar de mantener su copa lo más vertical posible (Vignote *et al.*, 1996).

A partir de un punto de vista maderero, se ha establecido que el componente longitudinal de estas tensiones, siendo su estimador conocido como “Deformación Residual Longitudinal” DRL, es el más significativo dada su mayor magnitud como fuerza en relación a los componentes radial y tangencial de las tensiones y por una estrecha relación entre el aprovechamiento y reducción de la calidad de la madera aserrada, producto de su liberación durante la cosecha y etapa de procesamiento (INFOR, 2008).

Matemáticamente las tensiones longitudinales quedan definidas por el producto entre la deformación o desplazamiento longitudinal (DRL) que se genera durante la liberación de las tensiones cuando las fibras de la madera se cortan y el módulo de elasticidad (MOE) de la madera (Raymond *et al.*, 2004 citado por INFOR, 2008).

2.2 Problemas que causan las tensiones de crecimiento

2.2.1 Efectos de las tensiones de crecimiento en el procesamiento

Cuando las fuerzas internas desarrolladas en el árbol en pie que inicialmente se encontraban equilibradas se ven perturbadas producto de la cosecha de los árboles, trozado o a través del procesamiento en el aserrío, y si además la magnitud de estas tensiones es elevada, generan un conjunto de deformaciones que se localizan fundamentalmente en el extremo de las trozas o en los productos ya aserrados.

Según INFOR (2004) durante el procesamiento de la madera y aserrado de *Eucalyptus* se desarrollan una serie de grietas radiales en las trozas y después del volteo, que en el proceso de transformación y durante el secado del producto aumentan el desarrollo de rajaduras.

Touza (2001), señala que el efecto que más se observa en los troncos de eucalipto con tensiones de crecimiento elevadas es la aparición de importantes grietas en los extremos de las trozas (Figura 3). Además, que el desarrollo de estas grietas se debe a la acumulación del doble efecto producido por el acortamiento de las fibras tensionadas y el alargamiento de las fibras comprimidas en el interior del tronco.

El mismo autor señala, que si la distribución de las tensiones de crecimiento es de forma homogénea a lo largo de la circunferencia, las grietas suelen iniciarse en la médula y extenderse hacia la periferia en forma radial. Este diseño se relaciona con la geometría de la médula del eucalipto que, normalmente presenta una forma similar

a la de un rectángulo con sus cuatro esquinas deformadas, es decir con cuatro “puntos débiles” a partir de los cuales se inicia el desarrollo de las grietas

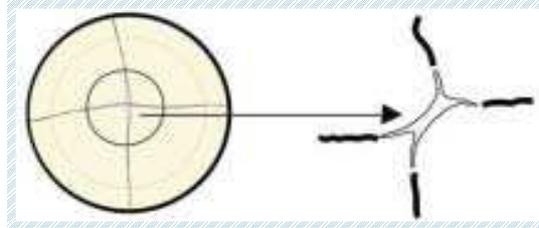


Figura 3. Efecto de las tensiones homogéneas en la distribución de grietas en trozas (Touza, 2001).

Sin embargo, si existiese una acumulación de tensiones en alguna parte de la periferia del tronco, se producen grietas irregulares en cuanto a la dirección y magnitud de ellas (figura 5). Según Valdés (2004) durante el volteo de los árboles el daño puede incrementar



Figura 4. Izquierda, grietas en híbrido *E. nitens-globulus*; derecha, grietas en *E. nitens*

Trozas de *Eucalyptus nitens* después de 48 horas de volteado el árbol, las variaciones de las grietas son mucho más extensas que recién volteado y las grietas encontradas seis semanas más tarde se mostraban significativamente más aumentadas (Purnell, 1998 citado por Lima *et al.*, 2002). Según Lima (2002) concluyó que el índice de rajaduras tiende a aumentar con la altura.



Figura 5. Grietas irregulares en dirección y magnitud en *E. nitens*

En madera aserrada la liberación de las tensiones de crecimiento pueden causar la formación de arqueaduras y encorvaduras (Figura 6).



Figura 6. Arqueadura en tablas aserradas producidas por la liberación de tensiones de crecimiento (Fuente: Mutizabal, 2008)

2.2.2 Técnicas para disminuir tensiones de crecimiento

Diversas técnicas se han desarrollado para minimizar los efectos de las tensiones de crecimiento de la madera, tanto en bosques como en el proceso de aserrado y transformación de las trozas.

a) *Árbol en pie*

Ferrand (1982) citado por Prado (1989), señala que las tensiones estarían relacionadas con el espaciamiento y la calidad del sitio. Entonces, indica que existe una posibilidad de modificar la magnitud de las tensiones de crecimiento a través de manejo silvícola, donde una menor competencia entre individuos, disminuirían las tensiones de crecimiento, mediante raleos más intensos con mayor espaciamiento entre individuos. Según Hillis (1978) citado por Prado (1989) adiciona otro factor que afecta la liberación de las tensiones, es el contenido de humedad al momento de voltear el árbol; donde en sitios buenos, si los árboles se voltean cuando el suelo está saturado, el rajado de las trozas se intensificaría.

Touza (2001) en contraposición a lo propuesto por Ferrand (1982), dice que es posible minimizar el nivel de tensiones al mantener las condiciones de crecimiento y la distribución espacial de los árboles lo más uniforme posible a lo largo de su vida. Lo ideal es limitar la aparición de estímulos que supongan, por parte del árbol, un incentivo para competir.

Otra técnica probada para minimizar los efectos de las tensiones de crecimiento según INFOR (2004), es la muerte del árbol algún tiempo antes de su volteo y la defoliación parcial con aplicación de herbicidas.

b) Trozas

Hillis (1978) citado por Prado (1989) propone que una vez volteados los árboles se pueden minimizar los efectos, donde las rajaduras terminales en las trozas se reducen considerablemente con el solo hecho de almacenarlas a la sombra, y si además se almacenan en agua las rajaduras se disminuyen considerablemente.

INFOR (2004) dice que en rollizos las técnicas para disminuir el efecto de las tensiones de crecimiento incluyen el secado al aire de las trozas descortezadas, el almacenaje en agua o bajo pulverización, calentamiento a través de vapor o agua caliente, la práctica de incisiones en sus extremos o revestimientos con grasa o ceras impermeables, y la aplicación de anillos de metal o plaquetas en sus extremos.

2.3 Métodos para estimar tensiones de crecimiento

Las tensiones no pueden ser medidas directamente (Yamamoto *et al.*, 2002; de Fegely, 2004) no obstante, al ser el producto entre la DRL y el MOE de la madera, es posible estimarla midiendo ambas. En consecuencia se han generado varios métodos para medir DRL. Yang et al., (2005) considera tres métodos que se pueden utilizar en dicha estimación y como trabajan cada uno de ellos:

- a) Método de Nicholson (1971): Este método consta de dos versiones la primaria y la simplificada. Se desarrolló para la medición de tensiones de crecimiento longitudinales en la superficie de los árboles y trozas. La primera versión es capaz de determinar el promedio de la tensión de crecimiento longitudinal dentro de un volumen de madera. La versión simplificada sirve para un gran número de árboles.
- b) Método de un agujero (CIRAD-Forêt): Es un extensómetro que permite estimar las tensiones periféricas perimetrales del árbol en su dirección longitudinal, entregando una magnitud de deformación o desplazamiento de las fibras, que se emplea como estimador indirecto del estrés de crecimiento. Al asumir el MOE como constante, se utiliza el desplazamiento como estimador de la tensión longitudinal (de Fegely, 2004 citado por INFOR, 2008).
- c) Método *Strain gauge* (dos agujeros): Fue utilizado por primera vez en Japón, mide la tensión de crecimiento superficial en forma directa y es más precisa que los métodos anteriormente mencionados, menos destructivo debido a que solo se remueve una pequeña área de madera.

En este estudio se utilizará el término Tensiones de crecimiento, no obstante como se mencionó anteriormente el término correcto a utilizar es Deformación Residual Longitudinal DRL.

3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1 Material

3.1.1 Ubicación del área de estudio

El estudio se realizó en dos ensayos de propiedad de la empresa Forestal Mininco S.A., ambos ubicados en la VIII Región. El primer ensayo se encuentra en la hacienda Rucamanqui (Sitio 1) ubicado en la precordillera andina de la comuna de Tucapel, provincia de Bio-Bio, Octava Región, 37° 08' latitud Sur, 71° 49' longitud Oeste, altitud media 485 m.s.n.m. El segundo ensayo se encuentra en el Predio Salto Malvén (Sitio 2) ubicado al sur de la Comuna de Los Ángeles.

3.1.2 Establecimiento de los ensayos

Los ensayos fueron establecidos en diciembre de 1997. El diseño de los ensayos es *Single Tree Plot* (STP) o un árbol una parcela, con 8 réplicas por cada sitio y con espaciamiento de 3,0 x 2,0 metros, correspondiente a una densidad inicial de 1.667 plantas ha⁻¹.

3.1.3 Características silvícolas

Los dos ensayos poseen igual manejo silvicultural con controles de maleza post plantación hasta el año 3 y fertilización con boro durante tres años posterior a la plantación. En ambos sitios la plantación fue del tipo manual y solo en el sitio 2 se realizó plantación con preparación de suelo a través de subsolado.

3.2 Metodología

3.2.1 Obtención de datos

Los datos fueron obtenidos a través de la selección de nueve familias de híbridos de *Eucalyptus nitens* y *Eucalyptus globulus* con tres réplicas cada uno, más nueve individuos puros de *E. nitens* de procedencia Toorongó en cada sitio, donde se consideraron los individuos rectos, que no presenten curvaturas severas y no posean daños evidentes, además se excluyeron de la muestra aquellos individuos que presentaron bifurcación bajo los 12 metros de altura.

a) Variables medidas sobre los árboles en pie

■ Diámetro a la altura del pecho (DAP)

Se midió con huincha diamétrica a 1,3 m sobre el suelo y se cuantificó en cm.

■ Proyección de proyección de copas

Se midió con un instrumento artesanal que consiste en un espejo fijado en una superficie de madera plana y dos niveles en el cual se reflejaba la copa del árbol, y se le media el radio de la rama viva más larga de cada exposición norte, este, sur y oeste (Figura 7).

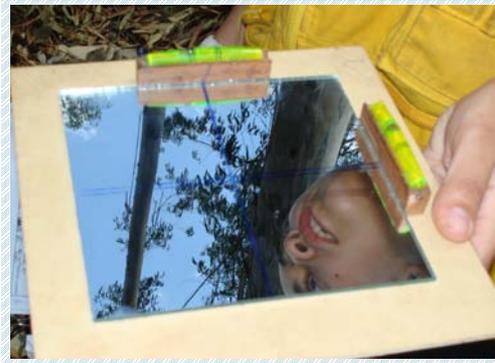


Figura 7. Medición de proyección de copas en árboles en pie

Una vez obtenidos los valores de la medición, se procedió a calcular valores de área (m^2) y volumen (m^3) de copa para cada individuo. Las formulas utilizadas en el cálculo son:

$$A = \pi * r^2 \quad [1]$$

donde A es el área de copa en m^2 ; r es el radio de copa en metros, el cual se obtiene con el promedio de las cuatro mediciones. El volumen de copa v se obtuvo asumiendo la forma geométrica de:

$$V = \pi * r^2 * 1/3 (HRV + HV/2) \quad [2]$$

donde HRV es la altura de la primera rama viva en metros y HV es la altura del primer verticilo verde en metros.

■ Módulo de elasticidad

La medición del módulo de elasticidad se realizó de manera indirecta usando el aparato de origen húngaro llamado *Fakopp tree sonic* diseñado especialmente para la medición sobre árboles en pie y que registra el tiempo de desplazamiento de onda a través de una técnica no destructiva. Este instrumento consta de dos cátodos, un acelerómetro receptor (*stop*) y un acelerómetro transmisor (*start*).

El transmisor se localiza a 1,5 m desde la base del fuste, el receptor a 0,5 m sobre la base del fuste, donde se mide la velocidad de la onda longitudinal propagada por un pequeño golpe proporcionado por un martillo, luego el tiempo de transmisión queda registrada en un osciloscopio. Ambos cátodos deben ser introducidos con un ángulo de 45° . Posteriormente se procede a golpear suavemente con un martillo la base del emisor, primero calibrando con tres golpes, para luego proceder a registrar la moda de las cinco mediciones siguientes que se encuentren dentro de un mismo rango de

valores. Se registraron los puntos cardinales norte y sur para luego obtener la media aritmética de ambas mediciones (Figura 8). A través de fórmula matemática se obtiene la velocidad del sonido en Km/seg utilizado en este estudio.



Figura 8. Medición de la Velocidad de sonido en árboles en pie

b) Variables medidas en árboles volteados

■ Altura total

La medición de esta variable se realizó con huincha de distancia tomando como base el DAP hasta el ápice del árbol y se cuantificó en metros.

■ Velocidad de sonido

El instrumento utilizado en la medición de esta variable fue el *Director HM200* o *Hitman*, el cual consiste en un método que evalúa las propiedades mecánicas de la madera cuya función es medir la velocidad de la longitud de ondas a través de trozas completas, al igual que examina vibraciones axiales o laterales.

El instrumento como lo muestra la Figura 9, se sitúa de forma perpendicular sobre una de las caras de la troza apoyando el sensor acústico sobre esta, para posteriormente presionar el sensor y esperar la señal sonora de un “beep” para proceder a martillar y esperar el valor de velocidad acústica que otorga el instrumento.



Figura 9: Medición de velocidad en trozas *Hitman*

La localización del sensor acústico en el área de la cara de la troza medida es al azar, debido a que éste calcula la velocidad promedio para la troza completa y es igual para toda la troza tanto en su cara mayor como en su cara menor.

■ Tensión de crecimiento

La estimación de tensiones de crecimiento se realizó mediante el protocolo del método de CIRAD-Fôret para la utilización del instrumento (Figura 10). Este procedimiento permite estimar las tensiones periféricas perimetrales del árbol en su dirección longitudinal.

El equipo está formado por una estructura rectangular, la que lleva un comparador digital con una precisión de 0,001 mm, además consta de un molde y un cuerpo metálico. El molde esta compuesto de dos clavos que van en cada extremo a una distancia fija que permite marcar el centro donde se realizará el futuro agujero.

Las mediciones son realizadas sobre el cambium a la altura del DAP, por lo que es necesario descortezar la troza hasta alcanzar este tejido. En las mediciones el molde se situó sobre la zona descortezada en posición paralela a la fibra, donde se introducen los dos clavos para marcar el centro entre ellos. Luego, se colocó el cuerpo metálico con el comparador digital que se apoya sobre cada uno de los clavos, regulando en cero el marcador.

Posteriormente, se introdujo la broca en el centro anteriormente marcado con el molde realizando un orificio de aproximadamente 20 mm de profundidad y 50 mm de diámetro. Este orificio permite liberar las tensiones perimetrales de las fibras ocasionando un desplazamiento vertical entre los clavos. Este desplazamiento es percibido por el comparador que registra el valor una vez que la broca se retira del agujero.



Figura 10. Secuencia de medición de las DRL

3.2.2 Análisis estadístico

El procesamiento y análisis estadístico se compone de un análisis descriptivo y un análisis de inferencia:

Análisis descriptivo

A través de cuadros y gráficos. Los cuadros contienen el número de observaciones y los cálculos de valores mínimos, promedios, máximos y desviación estándar, se presentan para observar su comportamiento y sus respectivas figuras son las que permiten visualizar los valores promedios y el error estándar (Anexo 3).

Análisis de inferencia

Esta etapa permite realizar inferencias respecto a la población de interés, de acuerdo a un cierto grado de significancia estadística (probabilidad).

El análisis inferencial que se realizó fue a través de un análisis de varianza, que permite comprobar si los tratamientos tienen igual media o promedio, para ello se comprobaron los supuestos de normalidad para cada tratamiento (test Shapiro-wilks) y homogeneidad de varianza entre tratamientos (Test de Levene) al 95% de confianza. Cuando existieron sólo dos tratamientos se utilizó la prueba “t” de Student, que permite comprobar si dos promedios son iguales o distintos.

Modelo utilizado. Origen de material dentro de sitio, familia dentro de sitio, dentro de familia y entre sitio, se utilizó el diseño completo al azar, que está dado por el siguiente modelo estadístico:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + e_{ij} \quad [3]$$

Donde:

y_{ij} = Es la variable dependiente: DAP, ht, etc.,

μ = Es el efecto medio del ensayo.

τ_i = Es el efecto del *i-ésimo* tratamiento (origen del material o familia).

e_{ij} = Es el error.

Se analizó la relación entre las variables, siendo estas entre las tensiones de crecimiento y variables de estado, tales como altura total, DAP y ahusamiento, variables de copa como el área y volumen de copas. Las relaciones se realizaron mediante un modelo de regresión lineal simple.

Además se analizó la relación tensiones de crecimiento con las propiedades del árbol como el tiempo sónico y velocidad del sonido a través de diagramas de dispersión para cada sitio.

Los análisis estadísticos se realizaron mediante el software estadístico Statgraphics 5.1.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Niveles de tensiones entre tipo de material de origen

En el Cuadro 1, se presentan los estadísticos descriptivos para las DRL de ambos sitios en estudio según tipo de material de origen, que corresponden a Sitio 1 (Rucamanqui) y Sitio 2 (Malvén).

Cuadro 1. Estadísticos descriptivos de las DRL por sitio y tipo de material de origen

	Material origen	Media	Mínimo	Máximo	C.V %	n*
Sitio 1	Híbrido	0,131	0,061	0,225	33,3	25
	Puro	0,095	0,051	0,154	40,9	8
Sitio 2	Híbrido	0,122	0,044	0,200	35,2	27
	Puro	0,104	0,052	0,151	30,7	9

* Diferencia corresponde a eliminación de individuos en la validación de datos

Al hacer una comparación entre los sitios y con iguales materiales de origen, los resultados muestran que el Sitio 1 con material de origen híbridos presentó la media, mínimo y máximo más altos en comparación al Sitio 2, pero con valores de coeficiente de variación similares que estarían indicando que en sitios diferentes con igual material de origen los valores de tensiones son similares y no varían mucho en relación a la media. La misma tendencia se presenta en el material de origen puro de *E. nitens*, donde los valores de tensiones son muy similares, el Sitio 1 presentó un menor valor medio y mínimo, no así su coeficiente de variación de 40,9% en relación al 30,7% del Sitio 2.

Sin embargo, dentro del Sitio 1 se presenta una diferencia muy alta de valores de tensiones de crecimiento entre los dos tipos de material de origen, donde el híbrido supera los valores medios, mínimo y máximo. La figura 11, muestra que en ambos sitios es posible encontrar una diversidad de valores de DRL.

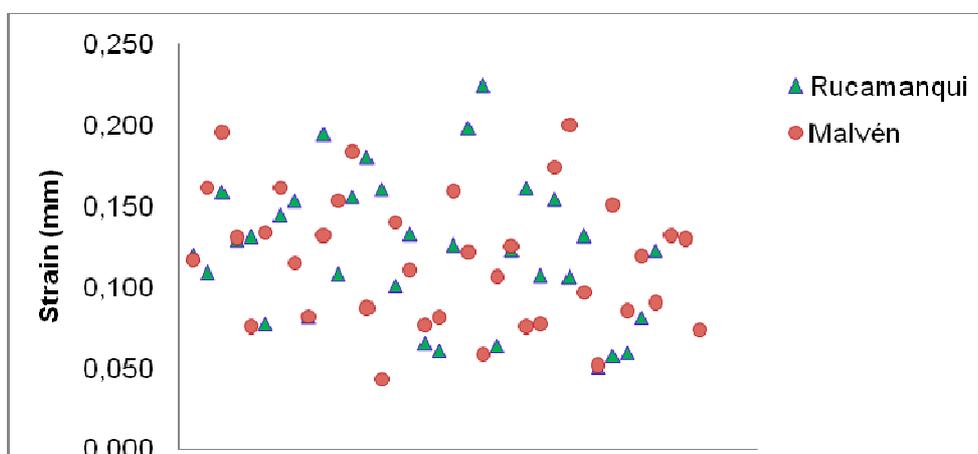


Figura 11. Distribución de las DRL (Strain) por sitio incluyendo ambos materiales de origen.

A través de la prueba de normalidad con el test Shapiro-Wilks, realizada a cada uno de los tratamientos, se pudo observar que cada uno de ellos presenta una distribución normal con una significancia de 0,05. La normalidad y la homogeneidad, este último a través del test de Levene, permitió aplicar un análisis de varianza y con los resultados de este test nos indicó que, con un 95% de confianza las varianzas entre los sitios no mostraron diferencias significativas (Anexo 4).

La distribución de valores de tensiones de crecimiento en ambos sitios, es muy variable y según Chahuan (2004) niveles de bajas DRL no causarían problemas en el proceso de transformación a productos finales, además que con niveles bajo 0,08 mm se califican como árboles de baja de tensión que pueden ser utilizados perfectamente en el proceso productivo a productos finales¹. La Figura 12, muestra la distribución de valores de tensiones de crecimiento bajo y sobre 0,08 mm.

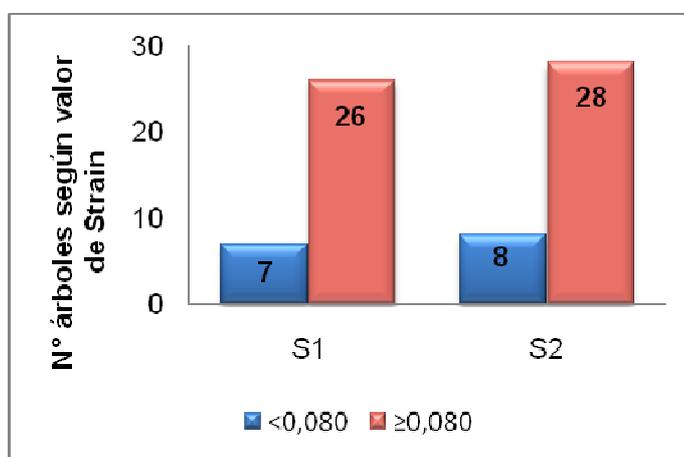


Figura 12. Frecuencia de cantidad de individuos por sitio según valor de Strain.

4.2 Distribución de las tensiones de crecimiento en el perímetro del árbol

4.2.1 Distribución de las tensiones de crecimiento entre sitios con material de origen híbridos

La muestra de material de origen híbridos se compone de un total de 52 árboles. En el cuadro 1 se muestra la totalidad de individuos para cada uno de los sitios. El rango de tensiones promedio encontrados fluctúa entre 0,044 y 0,225 mm con un valor medio de 0,126 mm. Para mayor detalle del comportamiento de las tensiones de crecimiento en sus rangos de valores mínimos, máximos y medios, ver Cuadro 2.

La Figura 13 muestra el comportamiento de las tensiones de crecimiento medidas en el perímetro del árbol según las diferentes direcciones cardinales, donde por cada exposición y material de origen por sitio las tensiones de crecimiento tienen una gran variabilidad, y además no muestran ningún patrón definido de los valores graficados.

¹ Meneses, M. 2007. Profesor Instituto de Manejo Forestal. Universidad Austral de Chile. Comunicación personal.

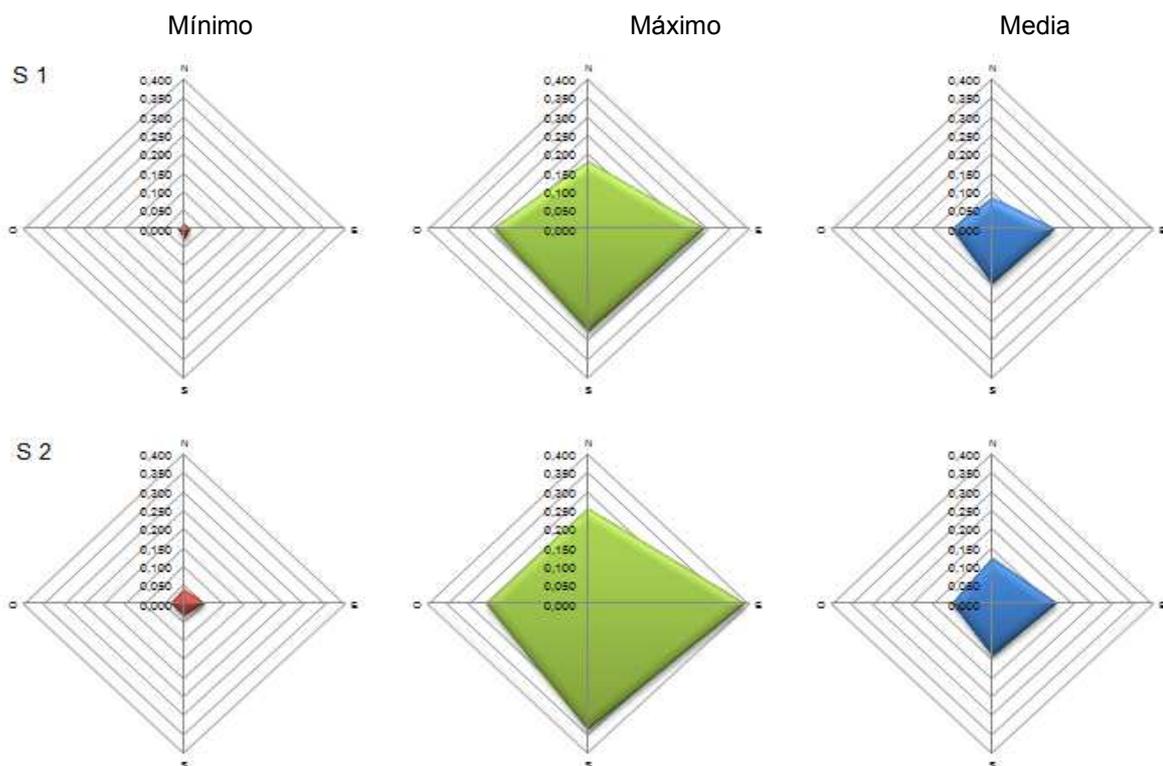


Figura 13. Comportamiento de las DRL en híbridos para los sitios S1 y S2 según diferentes direcciones cardinales.

Probablemente dicha tendencia mostrada en la Figura 13, se deba al balanceo de los árboles producido por el viento (Chauhan, 2004). Además, el mismo autor señala que las tensiones de crecimiento ayudan a reorientar el fuste a una mejor posición restableciendo el alineamiento vertical producido por el balanceo.

En el Cuadro 2 se presentan los resultados de los estadísticos descriptivos de las tensiones de crecimiento para el material de origen híbridos en ambos sitios por exposición cardinal.

Cuadro 2. Estadísticos descriptivos para las DRL por sitio en híbridos según diferentes direcciones cardinales.

	Estadístico	Norte	Este	Sur	Oeste
S1	N	25	25	25	25
	Media	0,121	0,140	0,161	0,100
	Rango	0,036 - 0,256	0,033 - 0,339	0,053 - 0,391	0,033 - 0,253
	C.V%	47,6	64,3	54,4	54,4
S2	N	27	27	27	27
	Media	0,083	0,147	0,157	0,099
	Rango	0,012 - 0,179	0,028 - 0,277	0,015 - 0,290	0,017 - 0,237
	C.V%	57,2	43,9	56,1	56,6

En el Sitio 1 el valor medio más alto de tensión de crecimiento lo presenta la dirección cardinal Sur con 0,161 mm, en el Sitio 2 el valor medio más alto fue de 0,157 para la misma dirección. El valor mínimo más bajo fue encontrado en el Sitio 2 con 0,012 mm en la dirección Norte y en el Sitio 1 se encontró el valor más alto de tensión en la dirección Sur con 0,391 mm. En relación al coeficiente de variación los resultados obtenidos en general son elevados, el valor más alto fue encontrado en la orientación Este del Sitio 1 con 64,3% y el valor más bajo fue encontrado en la misma orientación con 43,9% en el Sitio 2. Dado que las tensiones longitudinales pueden variar en el sentido perimetral del árbol, para lograr confiabilidad, se recomienda tomar entre 2 a 8 mediciones por árbol en su sentido perimetral a una misma altura (Valencia, 2008 citado por INFOR, 2008). Estos autores además, recomiendan recolectar al menos 2 mediciones a la altura del DAP, una medición en el aspecto del viento predominante y otra en el lado opuesto del fuste.

Además, se realizó un análisis entre exposiciones opuestas para establecer si existe alguna asociación entre ellas. En el Cuadro 3, se presentan los valores de tensiones promedios por exposición N/S (Norte/Sur) y E/O (Este/Oeste) según material de origen, donde se aprecia que la media más alta se encuentra en el material origen híbrido en exposición N/S y el menor valor en el material de origen puro en la exposición E/O, ambos valores encontrados en el Sitio 1.

Cuadro 3. Valores medios de las DRL según direcciones cardinales N/S y E/O, en ambos tipos de material y sitios.

Material origen		N/S (mm)	E/O (mm)
Sitio 1	Híbrido	0,141	0,120
	Puro	0,098	0,093
Sitio 2	Híbrido	0,120	0,123
	Puro	0,103	0,104

En relación a los coeficientes de determinación en la Figura 14 se observa que el coeficiente de determinación R^2 más alto se obtuvo en el Sitio 2 en la exposición cardinal E/O alcanzando un 15,8% y el valor menor corresponde a un 0% de explicación en el Sitio 1 en igual exposición cardinal.

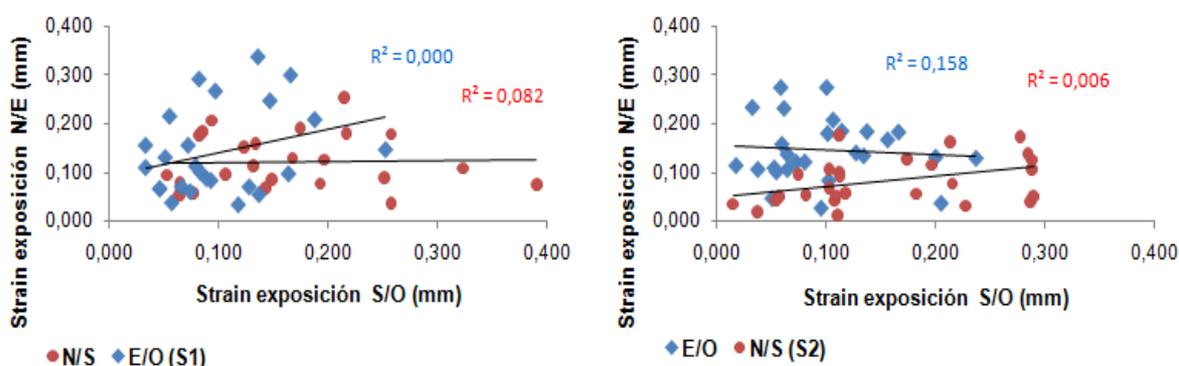


Figura 14. Gráfico de dispersión de las DRL en híbridos para exposiciones opuestas N/S y E/O en ambos sitios.

Chahuan (2004) al igual que Mutizabal (2008) concluyen que el coeficiente de determinación entre exposiciones opuestas es muy pobre, esto indica una gran diferencia relativa entre los valores de las DRL en orientaciones opuestas.

La Figura 15 muestra el coeficiente de determinación entre el promedio de las cuatro exposiciones N/E/S/O y el promedio entre las exposiciones N/S y E/O.

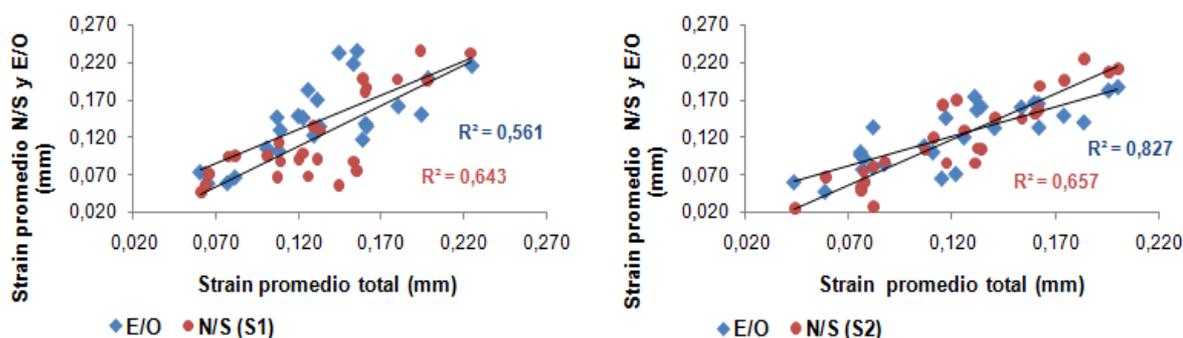


Figura 15. Gráfico de dispersión de las DRL en híbridos promedio total v/s DRL en exposiciones N/S y E/O en ambos sitios.

En la Figura 15 se observa que el Sitio 2 presenta un mayor R^2 , donde el promedio de las DRL de la dirección cardinal E/O explica en un 82,7% al promedio de las DRL total y la exposición N/S en un 65,7%. El análisis de varianza no arrojó diferencias significativas entre los promedios de las DRL en las direcciones cardinales N/S y E/O por sitio con un p-valor de 0,680 y 0,070 respectivamente. Chauhan (2004) señala que el promedio de medidas opuestas a una altura particular, ofrece un apropiado acercamiento en la proyección de niveles de las DRL en árboles de diámetros pequeños. La Figura 16 y 17 muestran la distribución de las DRL para cada exposición cardinal versus el promedio de las cuatro exposiciones cardinales.

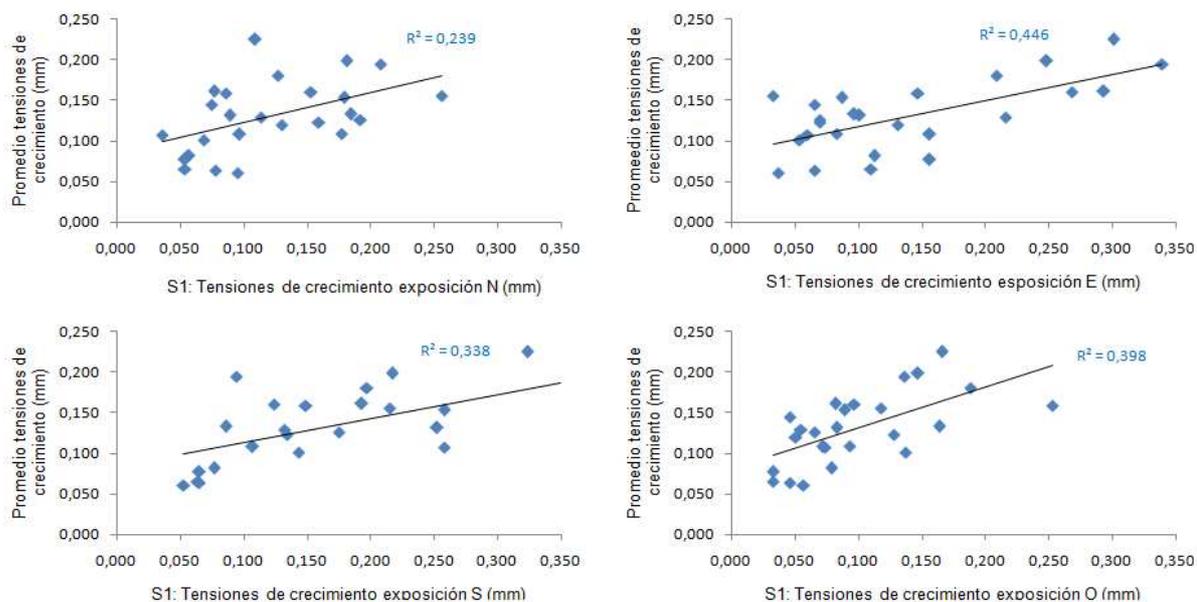


Figura 16. Gráfico de dispersión de las DRL según exposición para el sitio 1.

Los valores de R^2 encontrados son muy dispersos donde no se aprecia una clara relación entre las variables, con valores de 44,6% en exposición Este en el Sitio 1 y de 65,3% en Sitio 2 con exposición Norte, es decir, explica cada uno de los porcentajes según el promedio obtenido de las tensiones de crecimiento. Los valores más bajos encontrados de R^2 con 20% en el sitio 2 en exposición Oeste y de 23,9% en el Sitio 1 con exposición Norte.

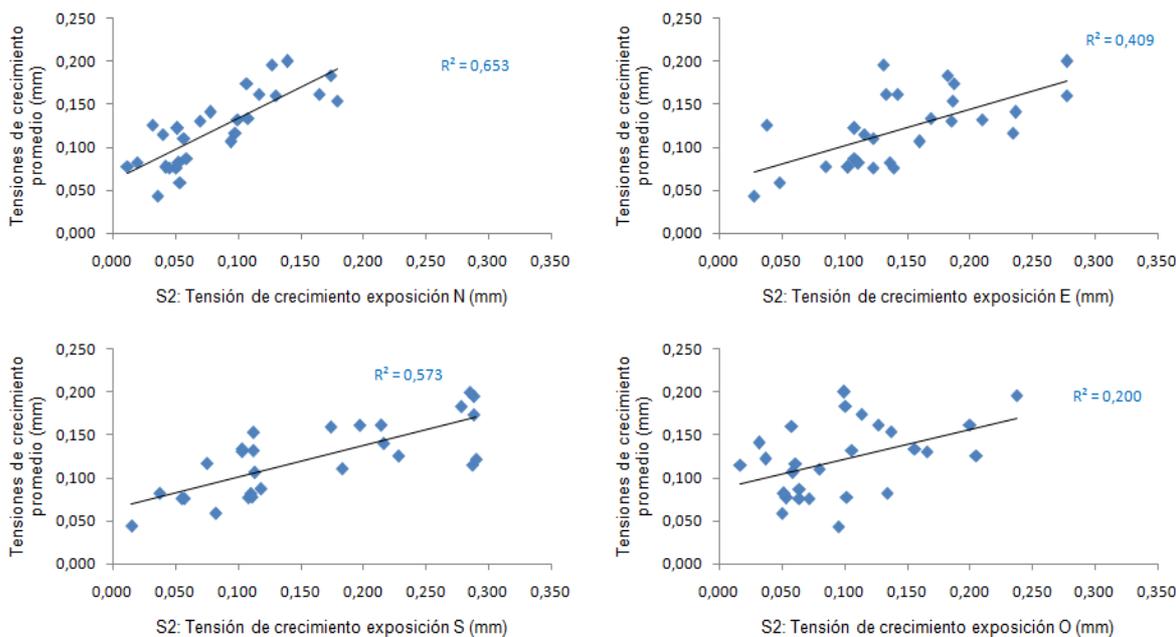


Figura 17. Gráfico de dispersión de las DRL según exposición para el sitio 2.

Meneses (2007) y Mutizabal (2008), señalan que con sólo dos mediciones de tensiones de crecimiento perimetrales son suficientes para caracterizar las tensiones de crecimiento en el árbol.

4.2.2 Distribución de las tensiones de crecimiento entre sitios con material puros

Efectuado el análisis sobre la muestra de árboles puros de *E. nitens* entre los sitios, se observó que no se encuentra ningún tipo de relación significativa entre las diferentes direcciones cardinales medidas, donde las variables no siguen un patrón determinado con p-valor de 0,640 para el promedio de tensiones y p-valor de 0,760 y 0,590 en orientación N/S y E/O respectivamente (Anexo 4).

La Figura 18 muestra gráficamente los valores de tensiones de crecimiento mínimos, máximos y medios obtenidos en cada uno de los sitios estudiados con el material de origen proveniente de individuos puros.

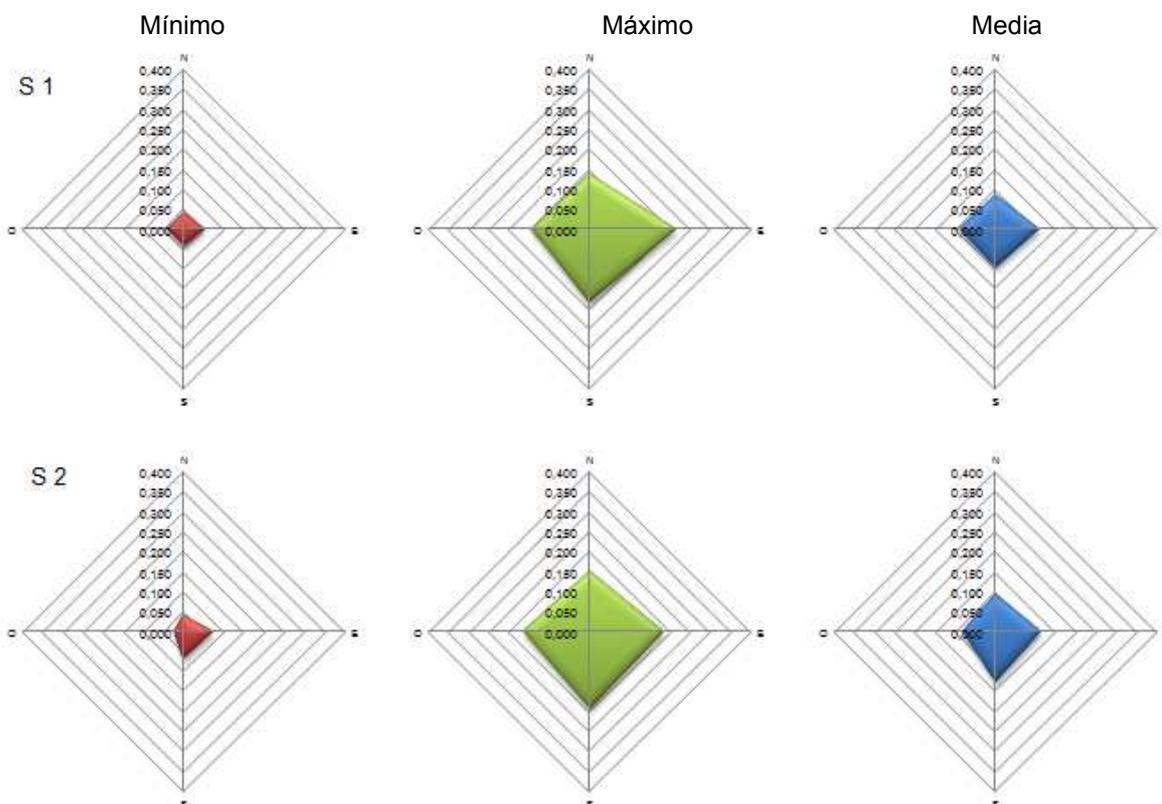


Figura 18. Comportamiento de las DRL en árboles puros de *E. nitens* para los sitios S1 y S2 según diferentes direcciones cardinales.

El Cuadro 4, muestra los estadísticos descriptivos por cada sitio para el origen de material puros de *E. nitens*.

Cuadro 4. Estadísticos descriptivos para las DRL por sitio en árboles puros de *E. nitens* según diferentes direcciones cardinales.

Estadístico		Norte	Este	Sur	Oeste
S1	N	8	8	8	8
	Media	0,086	0,096	0,109	0,090
	Rango	0,042 - 0,139	0,044 - 0,184	0,053 - 0,216	0,043 - 0,142
	C.V%	42,2	61,9	52,2	46,2
S2	N	9	9	9	9
	Media	0,094	0,128	0,112	0,080
	Rango	0,040 - 0,150	0,068 - 0,192	0,075 - 0,184	0,022 - 0,166
	C.V%	44,0	31,5	32,3	56,2

El valor medio más bajo de tensión se presenta en la orientación Oeste del Sitio 2 con un valor de 0,080 mm y el valor medio más alto se presenta en la orientación Este del mismo con un valor de 0,128 mm. En relación al mínimo valor de tensión encontrado en los sitios es de 0,022 mm y el valor máximo es de 0,216 mm en la orientación Oeste del sitio 1 y orientación Sur del Sitio 2 respectivamente. El

coeficiente de variación de los árboles muestra puros de *E. nitens* poseen la misma tendencia que los resultados obtenidos de la muestra de híbridos, la orientación cardinal Este posee el valor de media más elevado con un valor de 61,9% en el Sitio 1 y un valor de 31,5% en el Sitio 2.

Las figura 19 muestra que los valores de coeficiente de determinación R^2 , son relativamente bajos, donde el Sitio 1 presentó el valor más alto con un 56,9% de explicación y el valor más bajo con un 13,8%. Estos valores presentan igual tendencia en comparación a los R^2 encontrados en el material de origen híbridos.

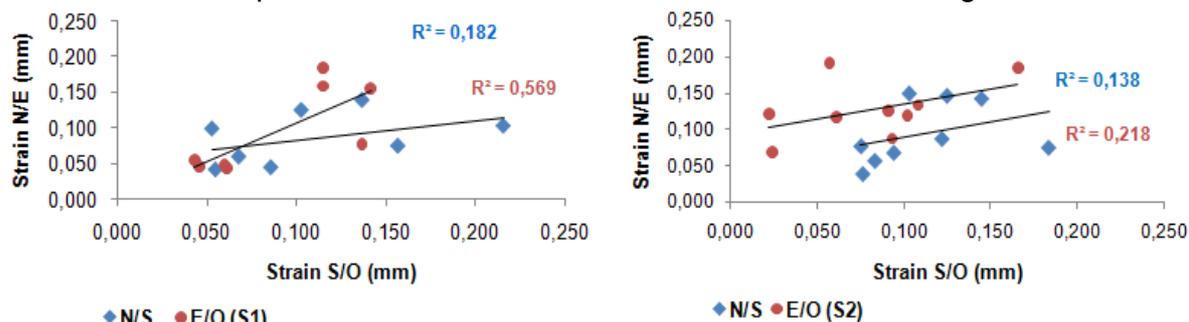


Figura 19. Gráfico de dispersión de las DRL en árboles puros de *E. nitens* para exposiciones opuestas N/S y E/O en ambos sitios.

La Figura 20 muestra el coeficiente de determinación R^2 entre el promedio de las cuatro exposiciones N/E/S/O y el promedio entre las exposiciones N/S y E/O.

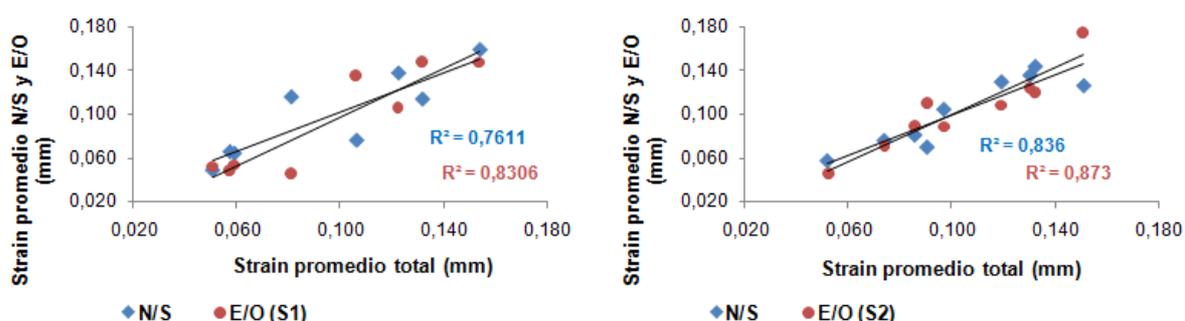


Figura 20. Gráfico de dispersión de las DRL en árboles puros de *E. nitens* promedio total v/s DRL en exposiciones N/S y E/O en ambos sitios.

El valor de R^2 más alto encontrado fue de 87,3% en el Sitio 2 en la exposición N/S y el menor valor fue un 76,1% en el Sitio 1 en la exposición N/S. El análisis de varianza no mostró diferencias significativas entre las variables analizadas (Anexo 4).

4.2.3 Distribución de las tensiones de crecimiento dentro del sitio híbridos v/s puros

Dentro del sitio es donde se observaron las mayores diferencias promedio de los valores de tensiones de crecimiento. La Figura 21 muestra gráficamente la distribución de los valores medios de las tensiones de crecimiento dentro de cada uno de los sitios entre los dos tipos de material de origen.

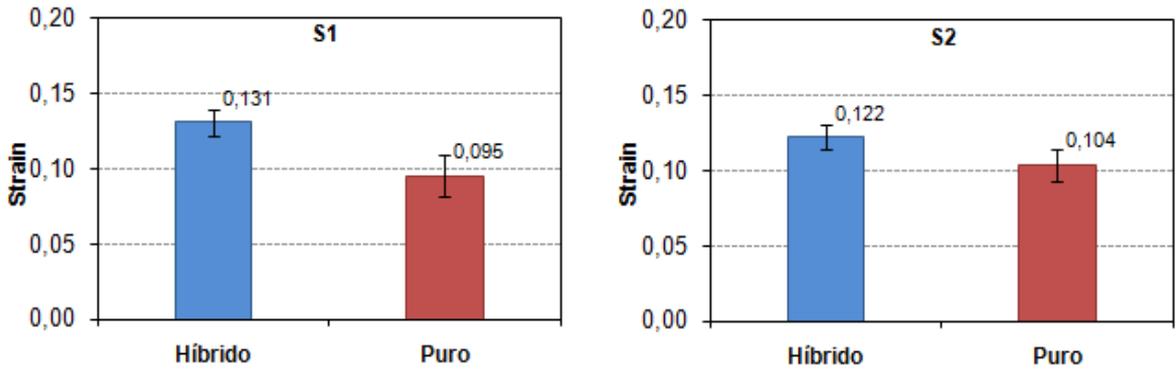


Figura 21. Gráfico de valores promedios para las DRL (mm) dentro del sitio para los sitios S1 y S2.

Los valores de tensiones de crecimiento para el Sitio 1 fluctuaron entre 0,131mm y 0,095mm para material de origen híbridos y puros respectivamente. No así, en el Sitio 2 donde los valores medios de tensiones entre cada tipo de material de origen varió en un 15% aproximadamente. En el cuadro 3, se muestran los valores de tensiones de crecimiento promedios por exposición cardinal N/S y E/O. La Figura 22 muestra los coeficientes de determinación R^2 de las DRL dentro de los sitios entre material de origen híbridos y puros de *E. nitens* el análisis de resultados demostró que no existió diferencia significativa entre los promedios de tensiones dentro de los sitios (Anexo 4).

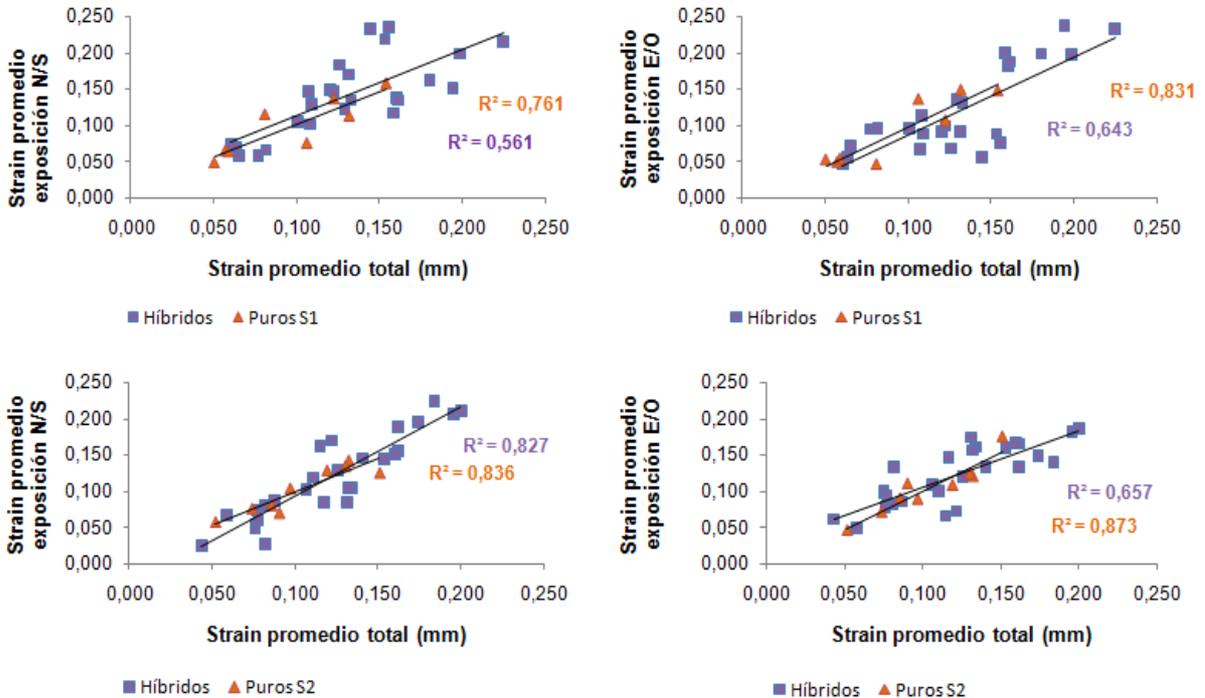


Figura 22. Gráfico de dispersión de las DRL dentro del S1 y S2 en valores promedio total y promedio N/S y E/O.

4.3 Relación de las tensiones de crecimiento con otras variables

Se buscó relaciones entre tensiones de crecimiento y otras variables medidas, específicamente DAP, altura total y ahusamiento, además de variables de copa y módulo de elasticidad en pie y troza.

4.3.1 Relación tensiones de crecimiento con DAP, altura total y ahusamiento

En el cuadro 5, se muestran los coeficientes de correlación r entre las DRL según tipo de material de origen con las variables DAP, altura total y ahusamiento. Se puede apreciar que no hay una clara asociación visible de las DRL con las variables dasométricas debido a la alta dispersión que están presentando.

Cuadro 5. Coeficientes de correlación r para las variables dasométricas por sitio y material de origen.

Sitios	Origen de material	DAP (cm)	Altura total (m)	Ahusamiento troza 1 (cm/m)
S1	Híbrido	0,130	0,118	0,032
	Puro	0,475	0,321	0,585
S2	Híbrido	0,155	0,110	0,311
	Puro	0,089	0,303	0,370

El Sitio 1 en material de origen híbrido es la que presenta el menor valor de asociación donde la variable Ahusamiento troza 1 posee un valor r de 0,032 y el valor mayor lo presenta la misma variable en material de origen puro de *E. nitens* con un r de 0,585 con una asociación moderada. Estos resultados coinciden con los encontrados por Chauhan (2004) y Mutizabal (2008) donde concluyen que no existe una alta asociación entre los valores de DRL y las variables analizadas.

4.3.2 Relación tensiones de crecimiento con variables de copa

La variable Área de copa, la media más baja fue encontrada en el Sitio 2 con 12,9m² en material de origen híbrido y en material de origen puro el menor valor fue de 8,4m². El Volumen de copas promedio menor se encontró en Sitio 1 con 31,4m³ en material de origen puros (Anexo3).

En el cuadro 6 se muestra el coeficiente de correlación r analizados entre los valores de las DRL con las variables Área de copa y Volumen de copa.

Cuadro 6. Coeficientes de correlación r para las variables Área y Volumen de copas.

Sitios	Origen de material	Área de copa (m ²)	Volumen de copa (m ³)
S1	Híbrido	0,235	0,141
	Puro	0,837	0,901
S2	Híbrido	0,247	0,265
	Puro	0,435	0,437

El Sitio 1 es el que presenta el mayor grado de asociación en la variable Volumen de copa y lo mismo ocurre con la variable Área de copa para el material de origen puro de *E. nitens*. Con las gráficas (Anexo 2) se observa la alta dispersión de los datos, sin embargo el Sitio 1 es el que presenta la mejor asociación con un valor r cercano a 1 y pendiente positiva.

Touza (2001) señala que es probable que altos valores de DRL se deba a la competencia que realizan los árboles por una posición privilegiada, tal vez con volúmenes de copa mayores el factor viento y la dirección sea capaz de influir en el nivel de las DRL.

4.3.3 Relación tensiones de crecimiento con velocidad de sonido

Los estadígrafos descriptivos de la variable Velocidad de sonido se muestran en los cuadros 3 y 6 (Anexo 3), donde el material de origen híbrido en el Sitio 2 presentó el valor medio de Velocidad de sonido (*Tree Sonic*) menor con 3,71 km/seg, igual relación ocurrió para la variable Velocidad de sonido (*Hitman*) donde se encontró un valor medio de 3,01 km/seg.

El cuadro 7 muestra los coeficientes de correlación entre las tensiones de crecimiento por sitio y por tipo de material de origen con la variable Velocidad de sonido, donde no se observó una clara relación entre los materiales de origen y entre los sitios. La asociación mayor se halló en cada uno de los sitios para el material de origen puro con valores r de 0,477 y 0,618 respectivamente.

Cuadro 7. Coeficientes de correlación r para las variables Velocidad de Sonido de árbol en pie con *Tree Sonic* y primera troza con *Hitman*

Sitios	Origen de material	Veloc. Sonido (<i>Tree sonic</i>)	Veloc. Sonido (<i>Hitman</i>)
S1	Híbrido	0,192	0,148
	Puro	0,344	0,477
S2	Híbrido	0,430	0,265
	Puro	0,207	0,618

Estos resultados son similares a los encontrados por Mutizabal (2008), donde señala que la variable Velocidad de sonido no está relacionado con los niveles de DRL estos resultados se asimilan a resultados obtenidos por Chafe (1990), citado por Chahuan (2004). Chahuan (2004), señala además que no existe aparente asociación directa o indirecta entre las variables tensiones de crecimiento y la Velocidad de sonido en árboles o trozas y que ambas variables son parámetros independientes y que ambas deben ser utilizados en investigación para producción de madera de calidad.

5. CONCLUSIONES

Se observó una alta variabilidad de valores de las DRL en el perímetro del árbol, los rangos fluctuaron entre 0,012 mm y 0,391mm. Debido a alta dispersión de los datos no se encontraron diferencias significativas entre los sitios.

Debido a la alta variabilidad de los valores de DRL entre el material de origen híbridos en cada uno de los sitios no se encontraron diferencias significativas entre los promedios Norte-Sur y Este Oeste con un p-valor de 0,680 y de 0,070, con estos resultados se puede concluir que es factible realizar 2 mediciones de DRL por árbol en exposiciones opuestas N/S o E/O ya que en ambos casos existe una alta relación, en la exposición E/O se encontró el mayor valor con un 82,7%. Estos resultados facilitan el trabajo operativo en terreno debido a que con 2 mediciones el tiempo empleado en terreno sería menor.

En el material de origen puro de *E. nitens* se observó también una alta variabilidad de valores de DRL, el mayor valor encontrado fue en la exposición E/O con un 87,3% y el valor menor fue de 76,1% en la exposición N/S.

Dentro de cada uno de los sitios no se encontraron diferencias significativas entre las variables estudiadas, el Sitio 1 presentó valores de DRL entre 0,033mm y 0,391mm con p-valor de 0,730 y Sitio 2 con p-valor de 0,330 respectivamente.

Con respecto a la relación entre las DRL y la variable Altura total el valor de asociación más alto encontrado fue en el Sitio 1 en material de origen puro de *E. nitens* con valor r de 0,321. Las variables DAP y Ahusamiento presentaron valores de asociación r mayores de 0,475 y 0,585 respectivamente.

En relación a las variables de copa la asociación más alta encontrada fue en el Sitio 1 con un valor r de 0,901 en la variable Volumen de copas (m³), no existiendo una explicación clara de este nivel de asociación.

La variable Velocidad de sonido con *Tree Sonic* y *Hitman* en este estudio no presenta ningún tipo de relación con los niveles de las DRL tanto entre sitios como dentro de los sitios ya que los valores se distribuyeron en un amplio rango de valores.

En conclusión, en este estudio no se encontró diferencias significativas entre los valores de DRL en árboles híbridos de *E. nitens* y *E. globulus* o árboles puros de *E. nitens*.

6. BIBLIOGRAFÍA

Bamber, R. 2001. A general theory for the origin of growth stresses in reaction wood: how trees stay upright. *IAWA Journal*, Vol 22 (3):205-212.

Cassens, D.; J. Serrano. 2004. 14th Central Hardwood Forest Conference. Proceeding of a Conference held at the Ohio Agriculture Research and Development Center (OARCD). The Ohio State University, Wooster, Ohio. 1:106-115.

Chauhan, S. 2004. Selecting and/or Processing Wood According to Its Processing Characteristics. School of Forestry The University of Canterbury. Christchurch, New Zealand. 192p.

Devlieger, F.; R. Quintana. 2006. Tensiones de crecimiento en híbridos de álamo creciendo en Chile. *Nota técnica*. 8(3):219-222.

INFOR, 2004. *Eucalyptus nitens* en Chile: Primera Monografía. Valdivia, 143p.

INFOR, 2006. El sector forestal chileno 2006. Chile, 10p.

INFOR, 2006. Boletín del *Eucalyptus nitens*. Ficha técnica del proyecto INNOVA CORFO-INFOR. Número 2. Septiembre 2006. Chile, 6p.

INFOR, 2008. *Eucalyptus nitens* en Chile: desarrollando silvicultura de alto valor. Informe técnico 175.

Kube, P. 2005. Genetic Improvement of the Wood Properties of *Eucalyptus nitens*. Breeding to improve solid Wood and pulp properties. University of Tasmania. 118p.

Lyon, A. 1990. Análisis del efecto de la fertilización en plantaciones de un año de *Eucalyptus globulus* Labill, en los suelos volcánicos de la VIII región. Tesis Ing. Forestal. Santiago, Universidad de Chile, Fac. de Cs. Agrarias y Forestales. 112p.

Mangieri, H.; M. Dimitri. 1961. Los Eucaliptos en la Silvicultura. Buenos aires, 221p.

Meneses, M. 2006. Comportamiento del strain en cuatro procedencias de *E. nitens* y dos densidades de plantación. Universidad austral de Chile. 20p.

Prado, J.; S. Barros. 1989. *Eucalyptus*. Principios de silvicultura y manejo. Santiago, Chile. 199p.

Schacht, L., Nivaldo, J., Vencovsky, R. 1998. Variação genética de indicadores de tensão de crescimento em clones de *Eucalyptus urophylla*. *Scientia Forestales*. n. 54, p. 55-68.

Touzá, M. 2001. Proyecto FAIR CT 98-9579: Sistemas de aserrado adecuados para *Eucalyptus globulus* europeos afectados por tensiones de crecimiento. España, 31p.

Touzá, M.; Sanz, F. 2000. Nuevas aplicaciones de la madera de Eucalipto. CIS.Madera. Número 3: 6-22.

Trugilho, P., Iwakiri, S., Pereira, M., Monteiro, J., Karman, L. 2004. Efeitos da idade e classe diamétrica na deformação residual longitudinal em árvores de *Eucalyptus dunnii* Maiden. SIF. v.28, n.5, p 725-731.

Valdés, R. 2004. Determinación de tensiones de crecimiento de *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden mediante un método no destructivo. Tesis Ing. en Industrias de la madera. Talca, Universidad de Talca, Fac. de Cs. Forestales. 48p.

Vignote, S.; Molinero, I.; Gerard, J.; Diez, M.R. 1996. Estudio de las tensiones de crecimiento de *Eucalyptus globulus* Labill en Galicia y su relación con las características de la estación y morfológicas del propio árbol. Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales. España. 5 (1):153-165.

Volker, P. 1995. Evaluation of *Eucalyptus nitens* x *globulus* for Commercial Forestry. Theme 4. Breeding and selection strategies – Sub theme: Eucalypt breeding and genetics. IUFRO. 4p.

Walker J. 2006. Wood Quality: Multifaceted Opportunities. Chapter 6. In: Chauhan S.; Donnelly R.; Huang C.; Nakada R.; Yafang Y.; Walker J. Second Edition. University of Canterbury, Christchurch. New Zealand.

Yamamoto H. 1998. Generation mechanism of growth stresses in wood cell walls: roles of lignin deposition and cellulose microfibril during cell wall maturation. Wood Sciences and Technology, 32(3). 10p.

Yang, J., Baillères, H., Okuyama, T., Muneri, A., Downes, G. 2005. Measurement methods for longitudinal surface strain in trees: a review. Australian Forestry . Vol. 68. No. 1. Pp 34-43.

ANEXOS

Anexo 1
Abstract and Keywords

Abstract and key words

This studied was about the behavior of crack growth in *Eucalyptus nitens* (Deane et Maiden) Maiden and hybrid between *E. nitens* and *Eucalyptus globulus* in two site conditions in Hacienda Rucamanqui (Andes range) and Salto Malvén (Depression) in the Region of the Bio Bio. The growth tensions of the logs were determined using the CIRAD-Forêt in base logs from the ground to a height of 3 meters. The trials were of similar age and management in order to make these variables constant.

The overall objective of this study was to compare the strains of growth in mature plantations of *E. nitens* and *E. globulus*. While the specific objectives were: a) to compare the variability of growing tensions between and within site in hybrids and pure *E. nitens* b) to analyze relationships between growth stresses and variables for each tree site.

Through descriptive statistical analysis extreme values for the growth stresses between sites were not observed with average values found between 0,044 and 0,225mm. No statistically significant differences were found between the Longitudinal growth strain DRL and the analyzed variables.

Within the site, that largest differences between the analyzed variables were observed in Site 1 where the average growth stresses and exposure N/S showed a p-value of 0,040. No differences were found between the average growth rates between stresses studied and different materials between sites.

Tension was related to other variables of growth status of the tree, such as dasométricas DAP, total height, tapered, variable crown with stiffness and sound speed in walking "Tree sonic" and tree logs "Hitman". The highest was found in Site 1 in a variable volume crown with an r association 0,091.

Between the growth stresses and canopy variables, the greater is found in the source material where the volume of pure material has a value of 0,811 r to the growth stresses.

Finally, no relationship was found between the growth stresses and modulus of elasticity, where the ratio was higher in each of the sites for the pure material of 22,8 and 38,2%.

Key words: *Eucalyptus nitens*, *Eucalyptus globulus*, growth stresses, hybrid.

Anexo 2
Gráficos de dispersión por procedencia

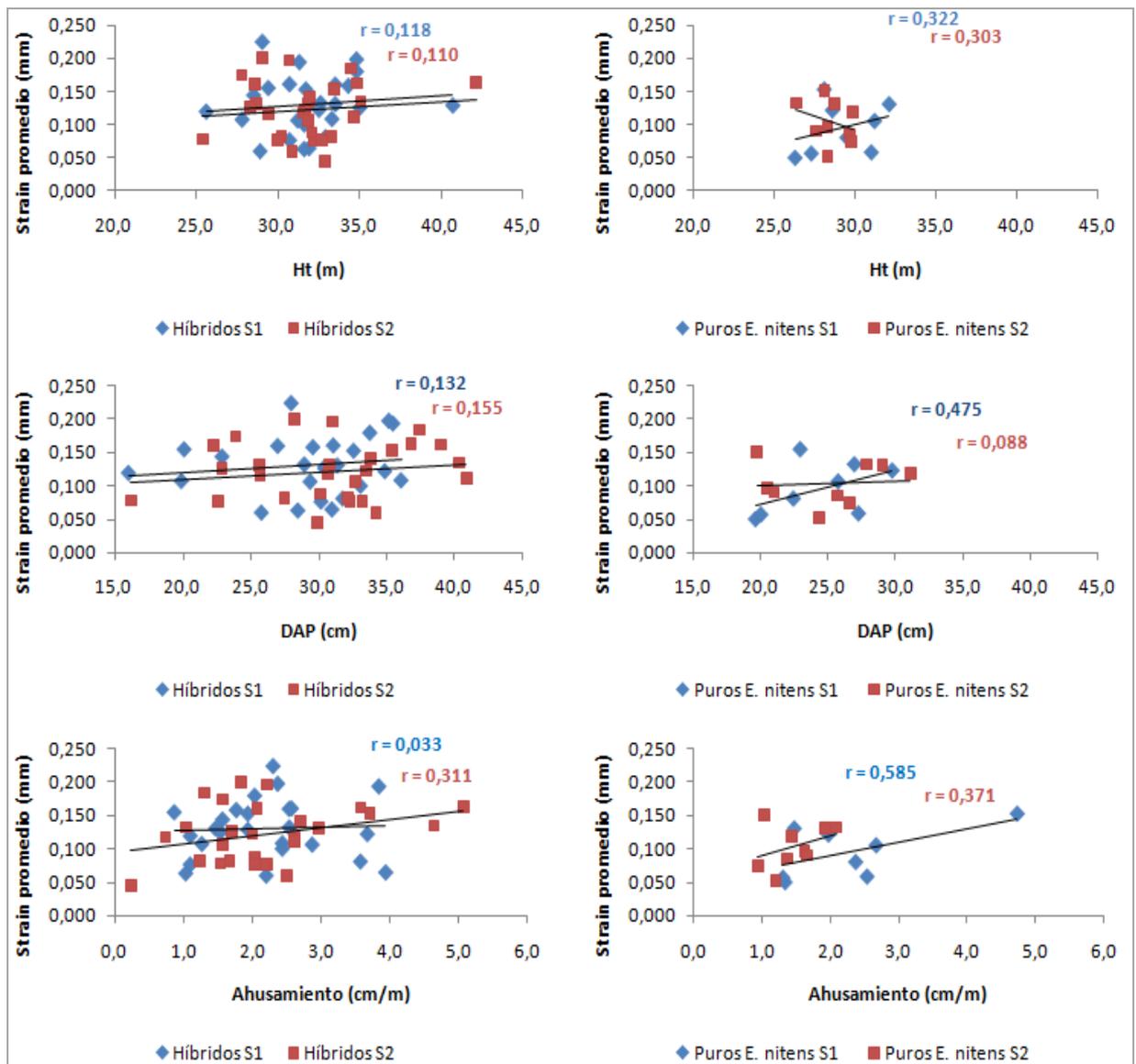
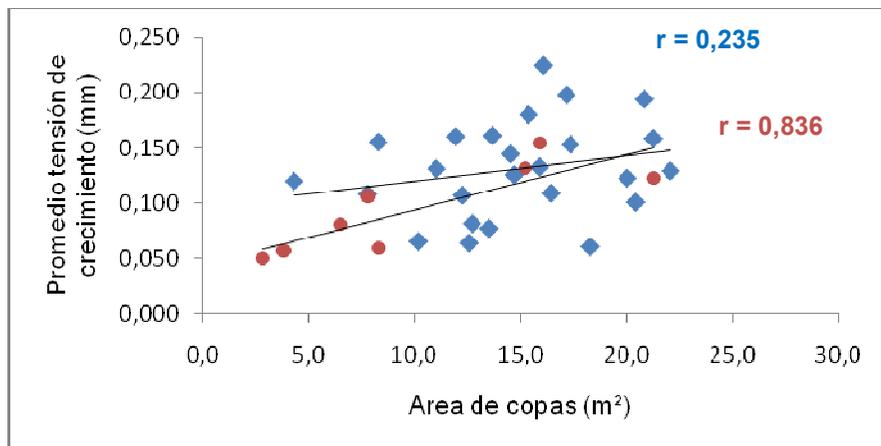


Figura 1. Gráficos de dispersión de las DRL y las variables de estado Altura total, DAP y Ahusamiento.

RUCAMANQUI (Sitio 1)



MALVÉN (Sitio 2)

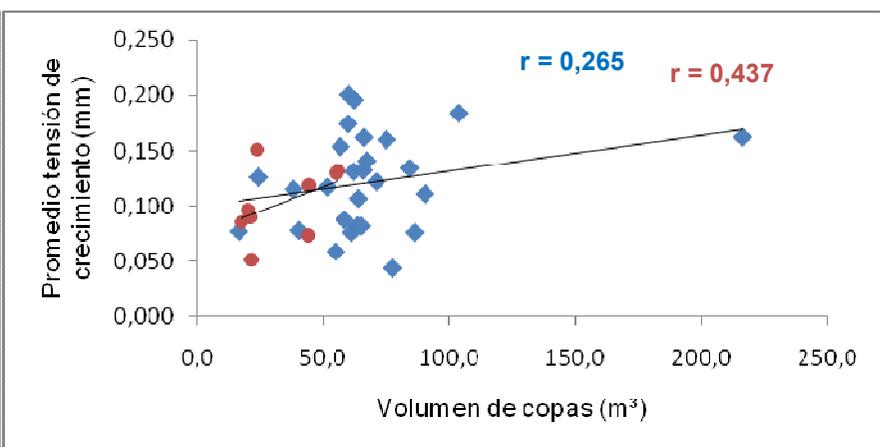
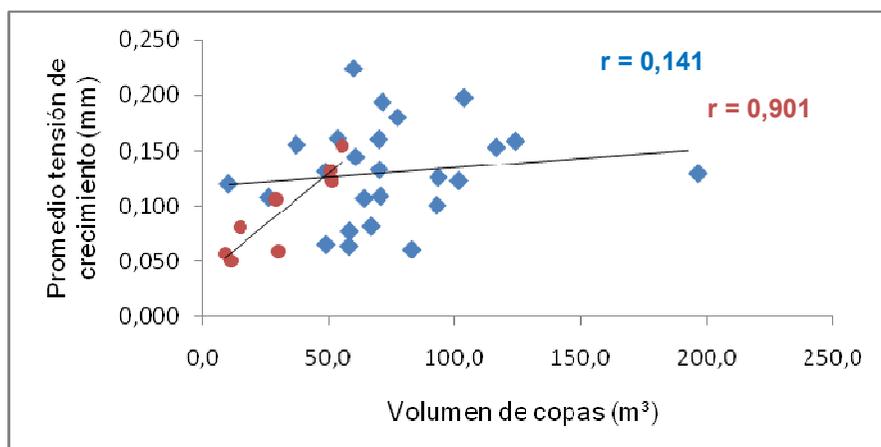
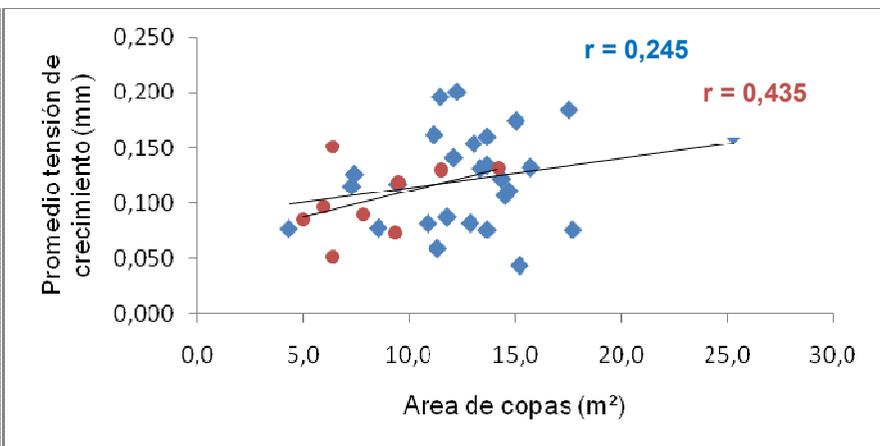
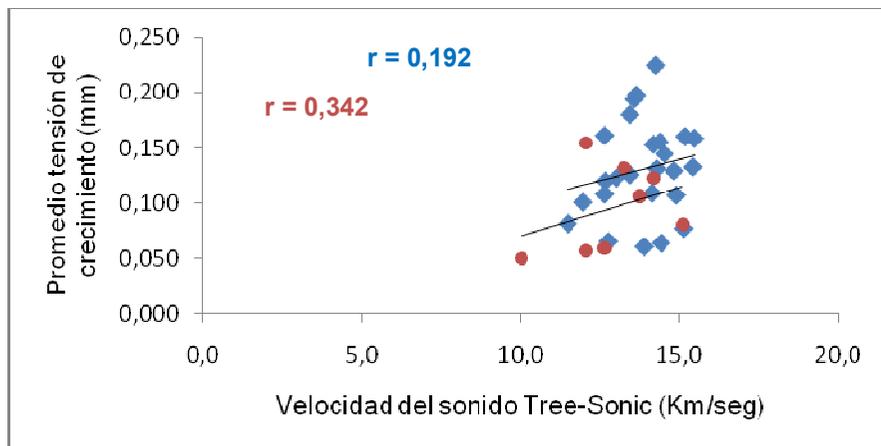


Figura 2. Gráficos de dispersión de los promedios de las DRL (Tensiones de crecimiento) y las variables de estado área y volumen de copas en los dos sitios estudiados. (Híbridos color azul y árboles puros de *E. nitens* color rojo).

RUCAMANQUI (Sitio 1)



MALVÉN (Sitio 2)

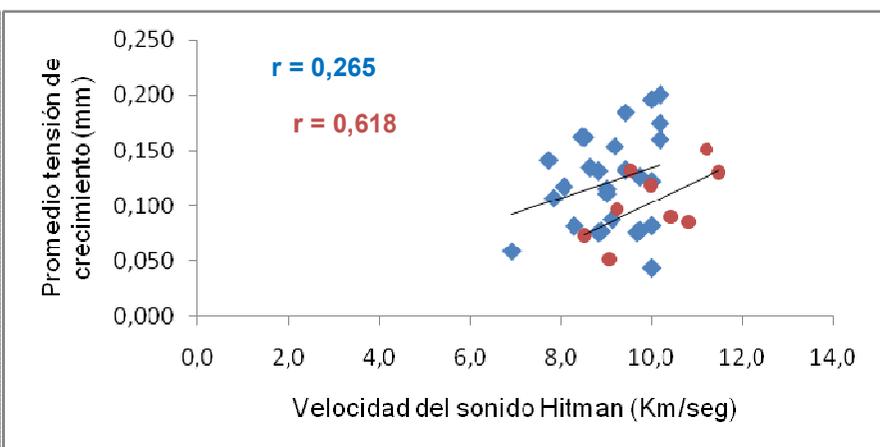
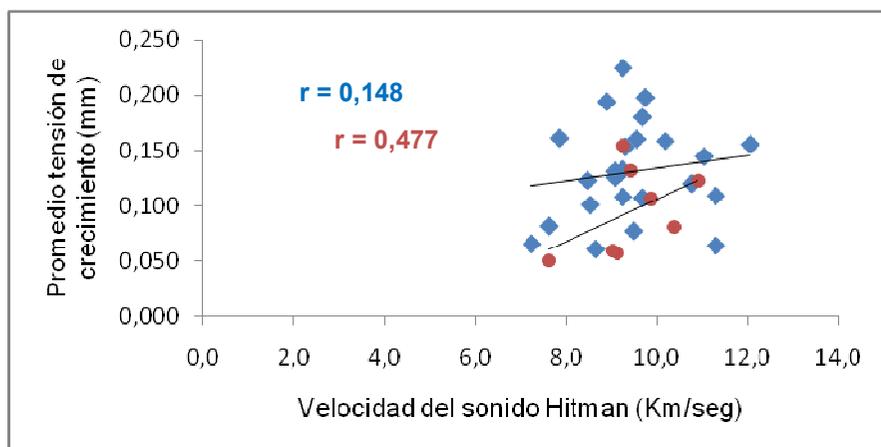
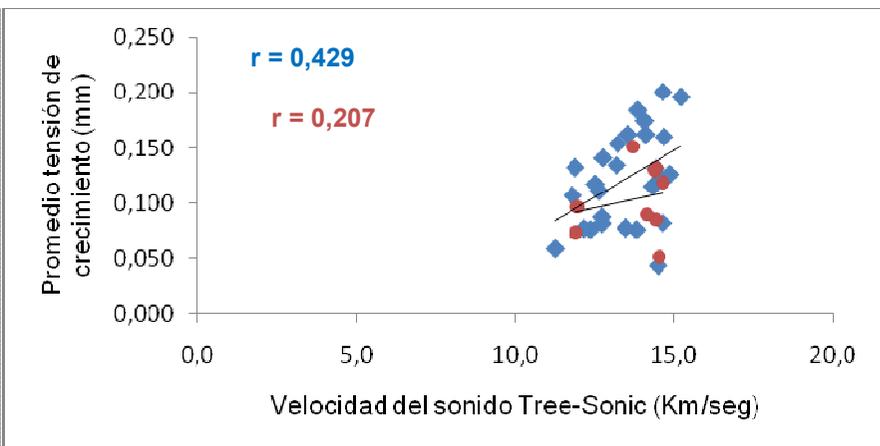


Figura 3. Gráficos de dispersión de los promedios de las DRL y las variables de estado área y volumen de copas en los dos sitios estudiados (Híbridos color azul y árboles puros de *E. nitens* color rojo).

Anexo 3
Estadística descriptiva para las variables de estado

Cuadro 1. Estadísticos descriptivos para las variables dasométricas para material de origen híbrido.

	Estadístico	DAP (cm)	Altura total (m)	Ahus. Troza 1 (cm/m)
S1	N	25	25	25
	Media	29,4	31,9	2,2
	Rango	16,0 - 36,1	25,6 - 40,7	0,9 - 3,9
	C.V%	17,3	9,4	40,9
S2	N	27	27	27
	Media	30,7	31,7	2,2
	Rango	16,2 - 40,9	25,4 - 42,2	0,2 - 5,1
	C.V%	19,5	10,1	50,0

Cuadro 2. Estadísticos descriptivos para la proyección de copas en material de origen híbrido.

	Estadístico	Área de copas (m ²)	Volumen copas (m ³)
S1	N	25	25
	Media	14,8	74,8
	Rango	4,3 - 22,1	10,3 - 196,7
	C.V%	30,4	49,1
S2	N	27	27
	Media	12,9	68,2
	Rango	4,3 - 25,3	16,3 - 216,7
	C.V%	30,2	51,3

Cuadro 3. Estadísticos descriptivos para la velocidad del sonido *Tree sonic* en árbol en pie y Vel. *Hitman* en primera troza para material de origen híbrido.

	Estadístico	Velocidad sonido (<i>Tree sonic</i>)	Velocidad Sonido (<i>Hitman</i>)
S1	N	25	25
	Media	3,72	3,07
	Rango	3,39 - 3,93	2,69 - 3,47
	C.V%	3,94	6,15
S2	N	27	27
	Media	3,67	3,01
	Rango	3,35 - 3,90	2,63 - 3,19
	C.V%	4,05	4,80

Cuadro 4. Estadísticos descriptivos para las variables dasométricas para material de origen puro.

	Estadístico	DAP (cm)	Altura total (m)	Ahus. Troza 1 (cm/m)
S1	N	8	8	8
	Media	24,3	29,3	2,3
	Rango	19,6 - 29,7	26,3 - 32,1	1,3 - 4,7
	C.V%	14,8	6,8	47,8
S2	N	9	9	9
	Media	25,1	28,5	1,5
	Rango	19,7 - 31,1	26,3 - 29,9	0,9 - 2,1
	C.V%	15,9	4,2	26,7

Cuadro 5. Estadísticos descriptivos para la proyección de copas en material de origen puro.

	Estadístico	Área de copas (m ²)	Volumen copas (m ³)
S1	N	8	8
	Media	10,2	31,4
	Rango	2,8 - 21,2	8,9 - 55,4
	C.V%	63,7	60,5
S2	N	9	9
	Media	8,4	33,6
	Rango	5,0 - 14,2	17,3 - 55,8
	C.V%	35,7	47,5

Cuadro 6. Estadísticos descriptivos para la velocidad del sonido *Tree sonic* en árbol en pie y Vel. *Hitman* en primera troza para material de origen puro.

	Estadístico	Velocidad sonido (<i>Tree sonic</i>)	Velocidad Sonido (<i>Hitman</i>)
S1	N	8	8
	Media	3,58	3,07
	Rango	3,17 - 3,89	2,76 - 3,30
	C.V%	6,16	5,29
S2	N	9	9
	Media	3,71	3,16
	Rango	3,45 - 3,83	2,92 - 3,39
	C.V%	4,01	5,12

Cuadro 7. Análisis de variables en relación al coeficiente de variación R²

Sitio	Variable		Indep.	R ²	R ² ajust.	E.Estandar
	Material	Dep.				
Rucamanqui	Híbrido	Prom tensión	N	0,239	0,206	0,0388
			E	0,447	0,423	0,0331
			S	0,343	0,315	0,0360
			O	0,398	0,372	0,0345
Malven	Híbrido	Prom tensión	N	0,653	0,640	0,0257
			E	0,410	0,386	0,0336
			S	0,573	0,556	0,0286
			O	0,200	0,168	0,0391
Rucamanqui	Híbrido	Prom tensión	DAP	0,017	-0,025	0,0441
	Puro			0,226	0,097	0,0370
Malven	Híbrido	Prom tensión	DAP	0,024	-0,015	0,0432
	Puro			0,008	-0,134	0,0339
Rucamanqui	Híbrido	Prom tensión	Altura total	0,014	-0,029	0,0442
	Puro			0,103	-0,046	0,0398
Malven	Híbrido	Prom tensión	Altura total	0,012	-0,027	0,0434
	Puro			0,092	-0,038	0,0324
Rucamanqui	Híbrido	Prom tensión	Ahusamiento	0,001	-0,042	0,0444
	Puro			0,342	0,233	0,0341
Malven	Híbrido	Prom tensión	Ahusamiento	0,097	0,061	0,0415
	Puro			0,137	0,014	0,0316
Rucamanqui	Híbrido	Prom tensión	Área copas	0,055	0,014	0,0432
	Puro			0,700	0,649	0,0231
Malven	Híbrido	Prom tensión	Área copas	0,061	0,023	0,0424
	Puro			0,189	0,074	0,0306
Rucamanqui	Híbrido	Prom tensión	Volumen copas	0,020	-0,022	0,0440
	Puro			0,811	0,780	0,0183
Malven	Híbrido	Prom tensión	Volumen copas	0,070	0,033	0,0421
	Puro			0,191	0,076	0,0306
Rucamanqui	Híbrido	Prom tensión	MOE Tree sonic	0,037	-0,005	0,0436
	Puro			0,118	-0,029	0,0395
Malven	Híbrido	Prom tensión	MOE Tree sonic	0,185	0,152	0,0395
	Puro			0,043	-0,093	0,0333
Rucamanqui	Híbrido	Prom tensión	MOE Hitman	0,022	-0,021	0,0440
	Puro			0,228	0,100	0,0369
Malven	Híbrido	Prom tensión	MOE Hitman	0,070	0,033	0,0421
	Puro			0,382	0,294	0,0267

Anexo 4
Estadística de Inferencia

Cuadro 1. Análisis estadístico según Material y variable. Sitio: Rucamanqui

Variable	Normalidad				Homogeneidad	
	Híbrido		Puro		Test Levene	P
	Test S.Wilks	P	Test S.Wilks	P		
DAP	0,94	0,06ns	0,94	0,65ns	1,04	0,30ns
HT	0,95	0,31ns	0,96	0,81ns	1,04	0,26ns
Área copa	0,98	0,84ns	0,92	0,42ns	1,06	0,20ns
Volumen copa	0,96	0,37ns	0,89	0,23ns	1,01	0,64ns
MOE Tree sonic	0,96	0,53ns	0,97	0,89ns	1,05	0,21ns
MOE Hitman	0,96	0,39ns	0,96	0,77ns	1,01	0,63ns
Ahusamiento	0,94	0,12ns	0,84	0,07ns	1,02	0,44ns
Prom. Tensión n/e/s/o	0,97	0,72ns	0,92	0,41ns	1,00	0,73ns
Tensión N/S	0,95	0,29ns	0,93	0,52ns	1,03	0,38ns
Tensión E/O	0,94	0,13ns	0,93	0,52ns	1,02	0,50ns

Cuadro 2. Análisis estadístico según sitio y variable. Sitio: Malvén

Variable	Normalidad				Homogeneidad	
	Híbrido		Puro		Test Levene	P
	Test S.Wilks	P	Test S.Wilks	P		
DAP	0,98	0,76ns	0,95	0,66ns	1,05	0,20ns
HT	0,92	0,06ns	0,92	0,42ns	1,09	0,06ns
Área copa	0,94	0,11ns	0,92	0,42ns	1,03	0,37ns
Volumen copa	0,92	0,06ns	0,84	0,06ns	1,00	0,89ns
MOE Tree sonic	0,95	0,22ns	0,83	0,06ns	1,00	0,99ns
MOE Hitman	0,94	0,14ns	0,94	0,14ns	1,01	0,55ns
Ahusamiento	0,94	0,12ns	0,94	0,12ns	1,09	0,06ns
Prom. Tensión n/e/s/o	0,96	0,50ns	0,96	0,50ns	1,03	0,33ns
Tensión N/S	0,96	0,41ns	0,96	0,41ns	1,10	0,07ns
Tensión E/O	0,95	0,26ns	0,95	0,26ns	1,00	0,71ns

Cuadro 3. Análisis estadístico según material y variable. Material: Híbridos

Variable	Normalidad				Homogeneidad	
	Rucamanqui		Malvén		Test Levene	P
	Test S.Wilks	P	Test S.Wilks	P		
DAP	0,92	0,06ns	0,98	0,76ns	1,01	0,43ns
HT	0,95	0,31ns	0,92	0,06ns	1,00	0,77ns
Área copa	0,98	0,84ns	0,94	0,11ns	1,01	0,53ns
Volumen copa	0,93	0,07ns	0,92	0,06ns	1,00	0,82ns
MOE Tree sonic	0,96	0,53ns	0,95	0,25ns	1,00	0,99ns
MOE Hitman	0,96	0,39ns	0,94	0,14ns	1,05	0,14ns
Ahusamiento	0,94	0,12ns	0,94	0,12ns	1,02	0,29ns
Prom. Tensión n/e/s/o	0,97	0,72ns	0,96	0,50ns	1,00	0,94ns
Tensión N/S	0,95	0,29ns	0,96	0,41ns	1,00	0,68ns
Tensión E/O	0,92	0,06ns	0,95	0,26ns	1,07	0,07ns

Cuadro 4. Análisis estadístico según material y variable. Material: Puros

Variable	Normalidad				Homogeneidad	
	Rucamanqui		Malvén		Test Levene	P
	Test S.Wilks	P	Test S.Wilks	P		
DAP	0,94	0,65ns	0,95	0,66ns	1,00	0,79ns
HT	0,96	0,81ns	0,92	0,42ns	1,16	0,15ns
Área copa	0,92	0,42ns	0,92	0,42ns	1,33	0,05ns
Volumen copa	0,88	0,18ns	0,84	0,06ns	1,02	0,64ns
MOE Tree sonic	0,97	0,89ns	0,82	0,05ns	1,07	0,32ns
MOE Hitman	0,96	0,77ns	0,97	0,85ns	1,00	0,95ns
Ahusamiento	0,92	0,44ns	0,97	0,87ns	1,00	0,26ns
Prom. Tensión n/e/s/o	0,92	0,41ns	0,97	0,93ns	1,02	0,58ns
Tensión N/S	0,93	0,52ns	0,91	0,32ns	1,02	0,57ns
Tensión E/O	0,85	0,06ns	0,96	0,82ns	1,03	0,50ns