



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

“Comportamiento pulpable de *Eucalyptus nitens* normal y suprimido crecido en la X Región de Chile”

Patrocinante: Sra. Silvana Mariani A.

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

AMÉRICO ENRIQUE BORGOÑO ACOSTA

VALDIVIA
2006

CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

| | | Nota |
|---------------|------------------------------|-------------|
| Patrocinante: | Sra. Silvana Mariani Alvarez | <u>6.5</u> |
| Informante: | Sr. Alfredo Aguilera León | <u>6.3</u> |
| Informante: | Sr. Marco Torres Uribe | <u>5.5</u> |

El Patrocinante acredita que el presente Trabajo de Titulación 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.

Sra. Silvana Mariani A.

AGRADECIMIENTOS

Mis sinceros agradecimientos a todos aquellos que formaron parte en la construcción y desarrollo no solo de esta tesis, sino que también en mi crecimiento personal y profesional, por todo esto muchas gracias.

En mi primer lugar quiero agradecer a MIS PADRES, a quienes les debo mis estudios y todo lo que soy e estos momentos, gracias por brindarme su apoyo siempre, no solamente en este paso por la Universidad Austral de Chile, sino que durante toda mi vida, muchas gracias por todo.... LOS AMO VIEJITOS.

A mi compadre y hermano CRISTHIAN agradecerle por su cariño, alegría y apoyo incondicional; a mí cuñada JESSICA por darnos la alegría más grande que ha llegado a nuestra familia VICENTITO.

También agradecer a MARIA PÍA PAREDES, mi polola y amiga, por su cariño, compañía y comprensión en los momentos difíciles durante el desarrollo de esta tesis. No puedo dejar de dar las gracias de dar mis agradecimientos a mis tíos JUAN CARLOS Y MARIA ANGELICA, a MARIA JOSE, quienes me han apoyado en mi estadía acá en Valdivia.

A mi profesora patrocinante Sra. SILVANA MARIANI ALVAREZ por la confianza depositada en mí durante el desarrollo de esta tesis, agradecer su constante apoyo y su tiempo disponible, ya que a pesar de estar con una agenda ocupada, siempre hubo un tiempo para mis consultas. A mis profesores informantes Don MARCOS TORRES URIBE, por guiarme, apoyarme y además por su paciencia durante mis ensayos en el laboratorio de pulpa y papel, a DON ALFREDO AGUILERA LEON, ya que a pesar de no estar en un primer momento en la comisión calificadora, acepto ser parte de esta y me presto todo su apoyo.

No puedo dejar de mencionar a CLAUDIO SEPULVEDA (pollo) y ANDREA Figueroa (chica), ya que con ellos pasamos momentos inolvidables durante nuestro intercambio en la Universidad Federal de Curitiba (Brasil), gracias por todo amigos.

ÍNDICE DE MATERIAS

| | Página |
|---|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. MARCO TEÓRICO | 4 |
| 2.1 <i>Eucalyptus nitens</i> | 4 |
| 2.2 Proceso Kraft | 5 |
| 2.3 Efecto de las propiedades físicas y morfológicas sobre la pulpa | 6 |
| 2.2.1 Densidad | 7 |
| 2.2.2 Dimensiones de la fibra | 8 |
| 2.4 Efecto de las propiedades químicas sobre el pulpaje kraft | 9 |
| 3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN | 9 |
| 3.1 Materiales | 9 |
| 3.1.1 Madera | 10 |
| 3.1.2 Normas y equipos | 11 |
| 3.2 Método | 11 |
| 3.2.1 Propiedades de la madera | 11 |
| 3.2.2 Obtención de la pulpa | 12 |
| 3.3 Diseño experimental | 13 |
| 4. RESULTADOS | 14 |
| 4.1.1 Resultados del análisis físico y morfológico | 14 |
| 4.1.2 Resultados de la obtención de pulpa Kraft | 19 |
| 5. CONCLUSIONES | 23 |
| 6. BIBLIOGRAFIA | 24 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | | |
|----------|--|----|
| Cuadro 1 | Referencia densidad básica de <i>E. nitens</i> entre 8 y 12 años de edad | 8 |
| Cuadro 2 | Normas utilizadas para medición de parámetros | 11 |
| Cuadro 3 | Condiciones de pulpaje | 13 |
| Cuadro 4 | Rendimiento volumétrico (kg / m ³) de la materia prima | 20 |
| Cuadro 5 | Referencia de índice de tracción del género <i>Eucalyptus</i> de 8 años de edad en pulpa Kraft cruda sin refinar | 22 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|----------|---|----|
| Figura 1 | Índice de tracción v/s densidad básica de <i>E. nitens</i> para madera joven (7 años) | 8 |
| Figura 2 | Contenido de humedad | 14 |
| Figura 3 | Densidad básica de <i>E. nitens</i> de 9 años | 16 |
| Figura 4 | Conteo porcentual elementos morfológicos de árbol normal (basal) y suprimidos | 16 |
| Figura 5 | Diámetro de los vasos de <i>E. nitens</i> | 17 |
| Figura 6 | Análisis de la fibra de <i>E. nitens</i> | 18 |
| Figura 7 | Rendimientos de las pupas de <i>E. nitens</i> | 18 |
| Figura 8 | Número Kappa v/s álcali consumido de las pulpas de <i>E. nitens</i> | 20 |
| Figura 9 | Propiedades de resistencias mecánicas de las pulpas de <i>E. nitens</i> | 21 |

RESUMEN EJECUTIVO

Dentro de las extensas plantaciones de *E.nitens*, la influencia del medio ambiente y la genética de las plantas, hace que estas plantaciones no crezcan y se desarrollen en forma homogénea, presentándose árboles con crecimiento normal y otros llamados suprimidos que no alcanzan un desarrollo físico acorde con la edad, esto lleva asociado que las propiedades entre ellos sean diferentes y se comporten en forma distinta frente a los procesos de obtención de subproductos.

Es por lo anterior que el objetivo perseguido es evaluar el comportamiento pulpable y de propiedades de resistencia mecánica de la pulpa obtenida mediante proceso Kraft que presenta el *Eucalyptus nitens* crecido en condiciones normales y suprimidas.

Los análisis fueron efectuados a ocho árboles de nueve años de edad, de los cuales seis son árboles crecidos en condiciones normales y dos en condiciones suprimidas, proveniente de fundos de FORESTAL ANCHILE ubicados en la décima Región de Chile.

La madera crecida en condiciones normales fue clasificada en su zona basal y apical para efectuar pulpajes y la madera crecida en condiciones suprimidas no se clasificó entre basal y apical por la baja cantidad de material.

La caracterización y análisis de pulpa Kraft cruda se llevó a cabo bajo normas estándar TAPPI, mientras que la anatomía de la fibra se realizó con tinción y proyección en la sección transversal, en el conteo porcentual de los elementos morfológicos se proyectó un anillo con madera temprana y tardía al cual se le contabilizaron cien puntos (vasos, células parenquimáticas y fibras).

Las propiedades morfológicas y físicas entre madera de *E.nitens* normal y suprimido tales como diámetro de vasos, espesor de pared, ancho de lumen y densidad básica, no presentan diferencias significativas estadísticamente, sin embargo, la densidad del *E.nitens* normal apical es superior en un 12,5% a la densidad de la madera normal basal y un 20,7% que la madera suprimida, lo cual no presenta efectos significativos sobre las propiedades de pulpaje, tales como rendimiento clasificado, rendimiento total, rechazo y número Kappa.

En el análisis estadístico realizado se determinó que los valores de densidad básica, diámetro de vasos, análisis de la fibra, rendimiento total y clasificado, álcali consumido presentan diferencias no significativas al 95% de confianza (p-Valor >0,05), el rechazo y número Kappa presentó diferencias significativas entre sus valores al 95% de confianza (p-Valor <0,05) y por último las propiedades de resistencia mecánicas de las pulpas presentó diferencias altamente significativas al 99% de confianza (p-Valor <0,01).

Palabras clave: *Eucalyptus nitens*, pulpa Kraft, anatomía, resistencias mecánicas.

1. INTRODUCCIÓN

El género *Eucalyptus* pertenece a la familia *Mirtaceae* y consta con cerca de 700 especies y variedades, la mayoría de las cuales se distribuyen en el continente oceánico, distribuido en todas las regiones tropicales y subtropicales en forma de densos bosques.

Además de las poblaciones naturales existentes en Australia y algunas islas cercanas, en el mundo existen más de dieciocho millones de hectáreas plantadas con especies del género *Eucalyptus*.

En términos generales las especies de *Eucalyptus* superan normalmente los 45 metros de altura y pueden alcanzar diámetros de más de 6 metros. Un considerable número de ellas, de gran valor comercial, no alcanzan grandes dimensiones, presentando alturas que no superan los 35 m. En particular, los árboles adultos de *Eucalyptus nitens* presenta alturas que pueden variar entre 60-70 m de altura y con diámetros que fluctúan entre 1 y 2 m (en condiciones de crecimiento como bosque natural en Australia).

Chile presenta cerca de un 45% de su territorio continental apto para la actividad forestal, en la actualidad, sólo un 21% está cubierto por bosques, de los cuales cerca de un 18% corresponden a bosques naturales, la mayoría de los cuales están bajo protección a la explotación, y sólo un 3% representan plantaciones de crecimiento rápido. Son estas plantaciones las que actualmente sustentan más del 85% de la actividad forestal nacional, incluida la industria de la celulosa.

El aprovechamiento industrial de la madera de *Eucalyptus*, especialmente de las especies de más baja densidad, se concentra en la producción de pastas y celulosa para la manufactura de varios tipos de papel y otros productos. En menor proporción, se emplea en la producción de tableros, maderas aserradas y chapas.

El éxito del *Eucalyptus* a nivel mundial se debe además, a la gran adaptabilidad que posee, lo que ha permitido su desarrollo en una amplia gama de ambientes ecológicos, desde desérticos hasta templados-fríos. Ello se une a una excelente combinación de: rápido crecimiento, peso específico, y producción volumétrica, que la define como una de las especies más difundidas en el mundo.

Esta especie se desarrolla principalmente en climas templados de altura, con temperaturas no muy altas en verano e inviernos fríos, con muchas heladas y presencia de nieve (puede soportar temperaturas de hasta -15°C.), en los estados de Victoria y New South Wales en Australia.

El mejor desarrollo de esta especie se observa a una altitud de 1.000 a 2.000 m.s.n.m con precipitaciones sobre los 1.000 mm anuales.

El eucalipto es una especie con un alto contenido de lignina, aproximadamente entre un 21-26 % bmsle por otro lado esta lignina es fácil de remover, lo que trae como consecuencia un pulpaje fácil y con bajo consumo de productos químicos.

Sin embargo las características específicas (físicas, morfológicas y químicas) de cada especie varían según la procedencia, el terreno, la edad, los individuos e incluso en el mismo individuo según la posición en el fuste.

En estos momentos las empresas que se encuentran produciendo pulpa química Kraft de fibra corta son planta Santa Fe cuyos propietarios son inversiones y empresas CMPC S.A. con una producción de 344 mil toneladas por año y planta Arauco I con una producción de 177 mil toneladas por año y la planta San José de la Mariquina con una producción de 368 mil toneladas por año ambas plantas perteneciente a empresas COPEC.

Anualmente se producen 889 mil toneladas de celulosa blanca de fibra corta (eucaliptos), de las cuales 210 mil toneladas se destinan al consumo interno y el resto se exporta, esta producción tendrá un aumento notable en los próximos años con la instalación de nuevas plantas de celulosa blanqueada de fibra corta que se están realizando en nuestro país.

Hipótesis

Debido a las propiedades físicas y anatómicas que presentan generalmente los árboles suprimidos se deberían aplicar valores menores en el tiempo de cocción, dado que la penetración del licor de cocción se va a realizar de una forma más fácil, por consiguiente se debería obtener mayor rendimiento clasificado, menor rechazo y mayores propiedades de resistencia mecánicas que los árboles crecidos en condiciones normales.

Objetivo General

En este estudio se evaluará el comportamiento pulpable obtenido mediante el proceso Kraft para especie *E.nitens* en estado normal (basal, apical) y suprimido crecidos en la décima Región de Chile.

Objetivos Específicos

- Evaluar los resultados de los pulpajes del proceso Kraft, como el rendimiento total y clasificado de las pulpas obtenidas, cantidad de rechazo y número Kappa obtenido con madera de *E.nitens* normal (basal, apical) y suprimido.
- Cuantificar las propiedades de resistencias mecánicas de las pulpas químicas Kraft crudas obtenidas a partir de *E.nitens* normal (basal, apical) y suprimido.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 *Eucalyptus nitens*

La madera es un bien renovable, que se forma a partir de luz solar, anhídrido carbónico y agua, para sintetizar los compuestos básicos capaces de generar las unidades fundamentales que forman la madera, es decir, la unidades de glucosa que constituyen las fibrillas que componen las fibras. La optimización, de los procesos de utilización de la madera está íntimamente ligada a sus características físicas y químicas. Es por estas razones que tiene especial importancia el conocimiento de la formación de la madera, su estructura física y químicas, y sus propiedades.

A nivel mundial existen 18,7 millones de hectáreas correspondientes al género *Eucalyptus* abarcando más de 700 especies distintas ubicadas principalmente en Australia, Indonesia, Nueva Zelanda, Portugal, España, Brasil, Uruguay y Chile entre otros y con proyecciones de seguir incrementándose hasta el 2020.

En Chile la superficie plantada de *Eucalyptus* alcanza a 330.000 ha, de las cuales un 80% corresponde a *Eucalyptus globulus* y el 20% restante a *E.nitens*. La introducción del *E.nitens* en Chile fue realizada en el año 1962 en parcelas experimentales del Instituto Forestal, posteriormente a partir de mediados de 1980 tras verificarse el potencial que esta especie presenta, fue considerada dentro del programa de introducción de ensayos de progenie. Esta institución comenzó a desarrollar en ese periodo especies del género *Eucalyptus*, esta especie ha demostrado ser de rápido crecimiento (30 m³/ha/año) en la X Región y se ha convertido en una gran fuente de energía y de materia prima para diversas industrias, especialmente la de pulpa y papel, INFOR (2005).

El *E.nitens* es la especie de mayor crecimiento volumétrico en las Regiones IX y X, con edades de rotación desde los 8 a 14 años de edad, estas características le otorgan la posibilidad de convertirse en otra materia prima importante para la producción de pulpa Kraft.

La densidad básica que presenta el *E.nitens* es de aproximadamente de 450 kg /m³ en árboles crecidos en la X Región con un contenido de lignina de un 22,5 % bmsle, debido a estas propiedades el *E.nitens* presenta bajas propiedades de resistencias mecánicas, pero a la vez presenta bajo consumo de energía en el proceso de refinación y unas buenas propiedades ópticas lo cual hace que esta especie sea utilizada para la producción de papeles de impresión y escritura, Peredo (1999).

Esta especie presenta marcadas diferencias con el *E.globulus* como por ejemplo una menor densidad básica, longitud de fibras, coarseness, pero mayor contenido de lignina y extraíbles, Melo *et al* (1991), traducándose estas propiedades en menores rendimientos pulpables y menor resistencias mecánicas de las pulpas según Peredo (2000), a pesar de esto continúa despertando interés en el sector forestal de Chile,

por cuanto constituye una alternativa al *E.globulus*, especialmente entre las Regiones VIII y X donde este último se ve limitado por el frío y las heladas. Esta especie es de alto interés productivo, la calidad del papel originado por su pulpa exhibe una alta densidad y una menor porosidad que la obtenida de *E.globulus*, INFOR (2005).

La altura de los bosques esta generalmente relacionada con el tamaño y vigor que adquieren sus copas y ambas están también relacionadas con los diámetros que alcanzan. Estas características de los árboles son muy dependientes de la calidad genética inherente de cada individuo, pero también de las relaciones espaciales que él tiene con sus vecinos. El desarrollo de la copa y la altura de los árboles de un rodal permiten efectuar clasificaciones de los árboles que indican su posición relativa dentro del dosel de copas, en dicha clasificación se distinguen cuatro clases:

- Árboles dominantes.
- Árboles codominantes.
- Árboles intermedios.
- Árboles suprimidos.

Además se debe señalar que los árboles dominantes y codominantes corresponden a los *Eucalyptus* crecidos en condiciones normales y los árboles suprimidos a los que presentaran complicaciones en su desarrollo.

Una de las causa por las cuales se originan los árboles suprimidos en un dosel, se debe a que en la temporada de sequía, estos deben soportar un serio estrés por la falta de agua, provocados por los árboles dominantes y codominantes que se encuentran cercanos en la época de sequía. Además estos árboles al encontrarse ubicados totalmente bajo el dosel no reciben luz solar directa, sino que solo algo de luz difusa, debido a esto son débiles y de lento crecimiento, quedando rezagados y probablemente muy pronto morirán, por lo que muchas veces ni siquiera son considerados para efecto de un raleo ya que no presentan ninguna competencia para el resto de los árboles que crecen en un rodal, Donoso (1981).

2.2 Proceso Kraft

Dentro de los procesos de pulpaje destacan los procesos químicos por ser éstos los más utilizados a nivel mundial, representando éste el 58% de la producción de celulosa mundial, Fengel y Wagner (1984). En el proceso químico se produce eliminación de la lignina de la lámina media, quedando un remanente que se elimina en etapas posteriores de blanqueo.

El proceso Kraft permite la obtención de una pulpa tanto cruda como blanqueada, de amplio margen de aplicaciones, existiendo bastante experiencia acumulada, a nivel mundial, en su utilización. Incluso, se ha recomendado como un proceso base de comparación para estudios de nuevas materias primas, Wenzel (1976). Se puede utilizar cualquier tipo de materia prima fibrosa, además este proceso tolera corteza, haciendo más flexible el suministro de materia prima. A nivel industrial se utiliza madera tanto de coníferas como de latifoliadas.

El proceso sulfato o Kraft utiliza en su licor de cocción, NaOH y Na₂S denominado licor blanco. El hidróxido de sodio es capaz de romper los enlaces éter fenólicos de la lignina, permitiendo la disolución y a su vez los productos de degradación originados son fácilmente solubles en el medio alcalino existente lo que no ocurre en otros procesos de pulpaje. El sulfuro acelera la disolución de la lignina ya que facilita la ruptura de los enlaces antes citados, y al mismo tiempo, reacciona con algunos grupos terminales de los productos de degradación formados, que de otra manera se condensarían, Paz (1972).

A continuación de la cocción de las astillas, el licor negro residual es extraído en el lavado de la pulpa, este licor contiene los productos de la reacción de la solubilización de la lignina, posteriormente se concentra en los evaporadores de efecto múltiple para luego ser quemado en la caldera recuperadora para dar como resultado un fundido inorgánico de carbonato de sodio y sulfuro sodico. El salino fundido se disuelve para formar el licor verde, que reacciona con la cal para convertir el carbonato de sodio en hidróxido de sodio y regenerar el licor blanco original, Smook (1998).

Para obtener una buena penetración del licor en el interior de las astillas se debe proporcionar un tiempo suficiente a la temperatura más baja como lo es en la mayoría de los métodos químicos de pulpaje. El mecanismo principal de penetración es por capilaridad a través del lumen, punteaduras, canales de resina, vasos y diversas fisuras longitudinales. El mecanismo secundario es por difusión a través de las paredes celulares. Los líquidos sin o con poca capacidad de hinchamiento penetran de 50 a 200 veces más rápidamente en la dirección longitudinal (por movimiento capilar) que en la dirección transversal (por difusión), con un agente de hinchamiento, como el hidróxido de sodio, la diferencia es mucho menor, según una fuente, solo seis veces mayor en la dirección longitudinal. Por consiguiente, el espesor de la astilla es la dimensión más importante con respecto a la impregnación del licor Kraft.

2.3 Efectos de las propiedades físicas y morfológicas sobre la pulpa

Los problemas de las industrias de celulosa comienzan con la elección de cierto tipo de fibras que aseguren las propiedades de resistencias y ópticas requeridas por la pulpa, puesto que sus características se reflejaran en la mejor o peor calidad de la hoja.

Las dimensiones de las astillas son de fundamental importancia para que exista una distribución homogénea y una impregnación efectiva de los reactivos químicos del pulpaje al interior de la materia prima, una distribución efectiva y rápida del licor blanco (NaOH y Na₂S) en el interior de la madera asegura reacciones homogéneas durante el pulpaje, por consiguiente una alta calidad de la pulpa producida y una alta deslignificación.

La impregnación de las astillas ocurre básicamente por los fenómenos de capilaridad y difusión pero esto está directamente relacionado también con el porcentaje de humedad que contiene las astillas y sus características anatómicas.

La calidad de la pulpa Kraft que se va a obtener en este proceso se encuentra en directa relación con las propiedades físicas que encontraremos en nuestra materia prima con la cual elaboraremos esta pulpa. Dentro de las propiedades físicas que inciden en la calidad de la pulpa se encuentran la densidad de la madera, las dimensiones que tienen las fibras (diámetro de fibra, ancho de pared, ancho de lumen), la resistencia de la fibra, orientación de la fibra y enlaces interfibras.

2.3.1 Densidad

La densidad de la madera expresa la relación entre la masa de los distintos tipos de elementos que conforman la madera y el volumen que ellos ocupan. Como la madera es un material poroso, debe considerarse al referirse a la densidad de la madera el volumen interno de espacios vacíos existentes.

La densidad básica es un estimador apropiado de la calidad de la madera para la elaboración de pulpas. Para la manufactura de pulpa y papel se prefieren densidades entre 450 y 650 kg/m³. Para un mismo rendimiento en pulpa una densidad mayor significa más peso en pulpa producida por unidad de tiempo, Peredo (2000).

La edad que tienen los árboles al ser utilizados como materia prima en la industria de la celulosa produce un gran efecto sobre la densidad como se aprecia en el cuadro 1, lo anterior repercute también en el rendimiento volumétrico y productividad de pulpa, a mayor edad, se aprecia mayor densidad, mayor cantidad de pulpa obtenida por metros cúbicos de madera procesado y, por lo tanto, menor cantidad de materia prima para producir celulosa. Peredo (2000).

La madera de *E.nitens*, es de más baja densidad en comparación a la densidad de otros tipos de *Eucalyptus* de 9 años, los cuales tienen una densidad promedio de 550 kg/m³ aproximadamente, en comparación a los 450 kg/m³ promedio que presenta el *E.nitens* según Peredo (1999).

| Edad (años) | Densidad (kg/m ³) | Referencias |
|-------------|-------------------------------|---------------------------------|
| 8 | 447 | Kibblewhite <i>et al</i> , 2000 |
| 8 | 433 | Peredo, 2000 |
| 9 | 450 | Mariani <i>et al</i> , 2003 |
| 11 | 448 | Kibblewhite <i>et al</i> , 2000 |
| 12 | 472 | Peredo, 2000 |

Cuadro 1: Referencia densidad básica de *E.nitens* entre 8 y 12 años de edad.

La densidad básica en la madera de *E.nitens* independiente de la edad, sitio o semilla, se incrementa a lo largo del fuste desde la zona basal a la apical en un 14,61% según Mariani *et al*. (2005) y Celulosa Arauco (2003).

Considerando la incidencia que tiene esta propiedad de la madera sobre las características de la pulpa, muchas características pulpables serán afectadas por la altura del fuste de la cual proviene la madera.

Esta varía con la especie y depende además de la edad de los árboles, la magnitud de la densidad de la madera esta estrechamente relacionada con la estructura anatómica de la madera fundamentalmente con el espesor de las paredes celulares de la fibra, y en menor grado, de la proporción de tejido parénquimático axial y radial y del diámetro de los vasos, siendo esta propiedad un estimador apropiado de la calidad de la madera para la industria de la celulosa y papel, Monteoliva *et al.* (2002).

La flexibilidad de las fibras húmedas que se compactan depende de sus dimensiones. Las maderas que presentan una mayor densidad básica tienen fibras de paredes gruesas que son rígidas y producen hojas de menor densidad, a medida que aumenta la densidad básica en la madera se provoca un incremento directamente proporcional en el valor del índice de tracción, como se observa en la figura 1. Kibblewhite *et al.* (2000b).

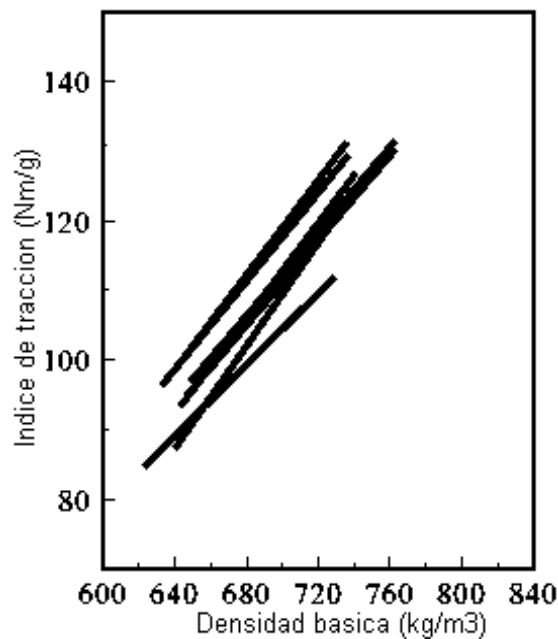


Figura 1: Índice de tracción v/s densidad básica de *E.nitens* para madera joven (7 años).

2.3.2 Dimensiones de la fibra

En cuanto a la morfología fibrosa, se acepta que la longitud de fibra es un atributo cuya variación esta asociada con el logro de diferentes características de los papeles en términos de sus resistencias, propiedades ópticas y características superficiales, Valente *et al.* (1992).

El *E.nitens* es una especie de baja longitud de fibra, aproximadamente entre 0,62 y 0,70 mm como lo presenta Kibblewhite (2000b) en una investigación en *E.nitens* de 8 a 11 años de edad crecidos en Nueva Zelanda, en comparación a los 0,82 mm que tiene el *E.globulus* de 7 años de edad.

La longitud de fibra influye fuertemente en el índice de rasgado, pero es de menor importancia para las propiedades de tracción y explosión, la resistencia a la tracción se encuentra más influenciada por los enlaces fibra a fibra que por la longitud de ésta. Debido a que el *E.nitens* es una especie que presenta un bajo valor en su largo de fibra promedio que se obtiene de la refinación, se puede observar que su índice de rasgado es de aproximadamente 6,6 Nm²/g, valor menor en comparación a los 8,8 Nm²/g que presenta el *Eucalyptus globulus* para árboles de 9 años de edad, esto se debe a que la fracción de finos que se generan en la refinación disminuyen aún más las bajas longitudes de fibra de esta especie, Peredo (1999).

Esta juega un papel importante en la estructura, mientras menor sea la longitud, mayor es el número de fibras por unidad de peso y, por lo tanto, menor el número de extremos libres por unidad de peso de fibras, como consecuencia del menor largo de fibra que presenta el *E.nitens*, se aprecia un mayor número de fibras por gramo. Lo que incide en las propiedades ópticas y de superficie de la pulpa. Esta característica, conjuntamente con el coarseness, tiene una incidencia importante en el tipo y la calidad del papel posible de obtener de las pulpas. Peredo (1999).

2.4 Efectos de las propiedades químicas sobre el pulpaje Kraft

Esta especie tiene un porcentaje de lignina de un 22,5 % bmsle, valor que se encuentra entre los bajos en comparación al resto de los eucaliptos, lo cual favorece la aptitud pulpable que esta tiene con respecto por ejemplo al *Eucalyptus viminalis* que tiene un 26,3 % bmsle de lignina.

El *E.nitens* presenta uno de los valores más altos en cuanto a los valores de solubilidad en soda dentro de los eucaliptos, además se puede agregar que el contenido de holocelulosa presenta un incremento desde la zona basal a la zona apical del árbol, mientras que el contenido de lignina presenta una reducción en su porcentaje. Mariani *et al.* (2005).

3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1 Materiales

3.1.1 Madera

Para la realización de este estudio se emplearon 8 árboles de madera pulpable de *Eucalyptus nitens* (6 normales y 2 suprimidos), la madera utilizada para esta investigación fue otorgada por FORESTAL ANCHILE provenientes de fundos de la décima Región, estos poseen nueve años de edad y se extrajeron rodela cada 2,44 metros a través de la altura del fuste.

Se toman por separado las rodelas de la zona apical y zona basal para madera normal, mientras que la suprimida no se separa por la baja cantidad de material.

Los tres tipos de materia prima (basal, apical y suprimido) se astillaron de forma manual, siendo el tamaño de las astillas de un promedio de 27,5 x 20.7 x 4.5; y posteriormente colocadas en bolsas de polietileno. De la madera normal y suprimida, se tomaron las segundas rodelas (en altura) y se extrajeron “cuñas” que contienen madera temprana y tardía, para realizar las determinaciones de análisis morfológicos (vasos, fibras, radios y parénquimas).

3.1.2 Normas y Equipos

La determinación de las propiedades de resistencias mecánicas, densidad básica, Número Kappa y anatomía de las fibras del *E.nitens* normal y suprimido, se realizarán de acuerdo a las siguientes normas presentadas en el cuadro 2.

| Parámetro | Norma |
|------------------------|---|
| Densidad básica | Tappi T258 om-94 |
| Nº de Kappa | Tappi T236 om-99 |
| Anatomía de las fibras | Tinción y proyección en sección transversal |
| Índice de Tensión | Tappi T404 om-92 |
| Índice de Rasgado | Tappi T414 om-98 |
| Índice de Explosión | Tappi T403 om-97 |

Cuadro 2: Normas utilizadas para la medición de parámetros.

Las cocciones se realizarán en digestor M/K System con recirculación de licor, teniendo este una capacidad de 6,7 litros.

Para deshacer las astillas procedentes del pulpaje Kraft, éstas se introducen en los desintegradores General Electric y para obtener la pulpa clasificada y rechazo se utiliza clasificadores de fibras Allis–Chalmers.

A continuación se confeccionan hojas de 60 g/m² en formadora TAPPI, las cuales se ambientan en sala climatizada a 22 ° C y 50 % HR. Se miden sus propiedades de resistencias mecánicas tales como índice de tensión, índice de explosión e índice de rasgado.

3.2 Método

3.2.1 Propiedades de la madera

Densidad básica:

Las astillas se dejan reposar en agua hasta su saturación, una vez saturadas se calcula el volumen de la madera por principio de Arquímedes, esto es, se pesa un recipiente con agua y luego en el mismo recipiente con agua se introducen las astillas sumergiéndolas completamente y se vuelve a pesar el recipiente con estas sumergidas en él. La diferencia de peso es igual al volumen de la muestra de madera, ya que se asume que la densidad del agua es igual a 1 g/cm³; a continuación las astillas se secan por 24 h hasta que llega a peso constante, una vez secas se pesan para obtener el peso anhidro y así poder calcular la densidad básica de la madera la cual esta expresada en kg/m³, esta es calculada con la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad Básica} = \frac{\text{Peso Anhidro}}{\text{Volumen Hinchado}}$$

Propiedades anatómicas:

Se extrajo la segunda rodela de cada árbol, de las cuales se obtuvieron “cuñas” y se cortan para obtener muestras que en su sección transversal contenga madera temprana y madera tardía. La determinación entre madera temprana y tardía se realizó en forma visual ubicando un anillo de crecimiento.

En el plano transversal se obtienen dos cortes por muestra en el micrótopo y posteriormente estos cortes se tiñen con safranina y se dejan por 48 horas aproximadamente, en una cámara de secado para posteriormente hacer las mediciones de conteo porcentual de elementos morfológicos (vasos, células parenquimáticas y fibras) en madera temprana y tardía.

El conteo porcentual de los elementos morfológicos existentes en el *E.nitens* ya sea en la madera normal o suprimida se clasificó en zona temprana como tardía, a las cuales se les realizó las siguientes mediciones:

- N° de vasos, fibras, radios y parénquima.
- Diámetro de los vasos.
- Diámetro de las fibras.
- Espesor de pared de las fibras.

El estudio de los números de vasos, fibras, radios y parénquima se hizo por duplicado en una micro-proyectora que tiene un objetivo de 10/025, con la cual se ocupó una escala graduada de 1:400, en el cual se avanza en el anillo en dirección radial, limitando la distancia tangencial de 1 mm real.

3.2.2 Obtención de la pulpa

La pulpa Kraft se obtiene en el digestor M/K system, el cual se carga con 400 g de astillas de *Eucalyptus nitens*, las cuales son sometidas a las siguientes condiciones (las que serán constantes para todos los pulpajes) como lo indica el cuadro 3:

| | |
|------------------------------|-----|
| T° máxima (°C) | 165 |
| Tiempo hasta T° máxima (min) | 120 |
| Tiempo a T° máxima (min) | 20 |
| Sulfidez | 30 |
| Peso madera seca (g) | 400 |
| Razón licor-madera (l / kg) | 4:1 |
| Álcali activo (% bms) | 14 |

Cuadro 3: Condiciones de pulpaje

Una vez obtenidas las pulpas se procede a confeccionar hojas de acuerdo a norma TAPPI T205 de 60 g/m², las cuales a continuación se ambientan y se les determina, índice de tracción, índice de rasgado e índice de explosión los cuales son determinados según la norma.

3.3 Diseño experimental

Se realizan pulpajes Kraft en triplicado para la madera normal y en duplicado para la madera suprimida, esto permite hacer un análisis de desviación estándar de los datos y con la media de los mismos se compararan las diferencias en el comportamiento pulpable.

Modelo estadístico:

El modelo estadístico asociado al ensayo (Morales 2005), corresponde a un diseño al azar, que esta dado por la siguiente expresión:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + e_{ij}$$

Donde:

y_{ij} = Es la variable dependiente.

μ = Es el efecto medio del ensayo.

τ_i = Es el efecto del *i*-ésimo tratamiento (basal, apical y suprimido).

e_{ij} = Es el error.

Análisis inferencial.

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

Consistió en realizar el análisis de varianza, que permite comparar si tres o más tratamientos poseen igual media o promedio. Este se realizó mediante el programa STATGRAPHICS 5.0.

Se comprobaron los dos supuestos básicos del análisis de varianza, los tratamientos tienen que distribuirse normales, se aplicó el test de Shapiro-Wilks ($n < 30$) y test Chi Cuadrado ($n \geq 30$) y las varianzas entre los tratamientos deben ser iguales (homogeneidad de varianzas), se aplicó el test de Levene ($n < 10$) y test de Bartlett ($n \geq 10$), al 95% de confianza.

Para el análisis del diámetro de vasos, que posee sólo 2 tratamientos se utilizó la prueba "t" de Student.

Las variables en % se transformaron a Arcoseno $\sqrt{\%}$ para normalizarlas.

Para formar grupos de tratamientos homogéneos, se utilizó el test de Duncan, al 95% de confianza.

4. RESULTADOS

4.1.1 Resultados de análisis físico y morfológico.

Como la madera es un material higroscópico absorbe o entrega agua de acuerdo a las condiciones ambientales, lo cual hace variar el contenido de humedad dependiendo del ambiente en que se encuentre. Si se ha iniciado el proceso de pérdida de humedad, la madera entrega al ambiente el agua libre contenido en sus lúmenes celulares hasta alcanzar el punto de saturación de las fibras (PSF), que corresponde al contenido de humedad en el cual se ha eliminado toda el agua libre del interior de los lúmenes celulares y las paredes celulares se mantienen completamente cubiertas de agua.

Por debajo del punto de saturación de las fibras y al continuar el proceso de pérdida de humedad, la madera comienza a perder agua contenida en sus paredes celulares, hasta alcanzar un contenido de humedad en el cual el proceso se detiene. Este estado se designa como contenido de humedad de equilibrio. El contenido de humedad de equilibrio de la madera depende fundamentalmente de la especie, la temperatura y la humedad relativa del ambiente en que se encuentre la madera.

Las rodelas de madera normal (basal y apical) como las de madera suprimida, estuvieron almacenadas durante 12 meses bajo las mismas condiciones de temperatura y humedad, luego se astillaron en forma manual para ser ocupadas en este estudio, la figura 2 nos muestra el contenido de humedad de equilibrio que logró el material en forma de astilla de cada madera.

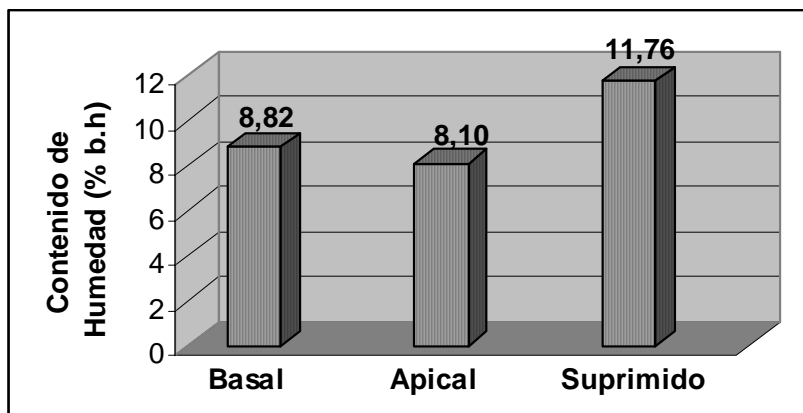


Figura 2: Contenido de humedad de las astillas.

La madera de los árboles suprimidos posee un contenido de humedad un 28 % en promedio más alto que la madera normal (basal y apical), lo cual nos indica que estas maderas poseen diferentes características morfológicas, que influyen en la velocidad de transporte de la humedad que esta presente en la madera al medio ambiente.

Además se puede agregar que la madera de los árboles suprimidos se encuentra más húmeda que la madera normal apical y basal, lo que influye en el proceso de obtención de pulpa Kraft, debido a que diferencias en el contenido de humedad de las maderas, influye en la difusión del licor de cocción en las astillas, por lo tanto si la humedad fuera una variable importante sobre el pulpaje, se deberá esperar para la madera crecida en condiciones suprimidas que otorgue un mayor porcentaje de rendimiento clasificado y un menor rechazo.

El *E.nitens* de la zona apical presentó una mayor densidad básica que el de la zona basal, lo que coincide con valores de otras especies de eucaliptos obtenidos por otros investigadores como Peredo (1999), Klibberwhite *et al* (2000a) y Monteoliva *et al* (2002). La madera de los árboles crecidos en condiciones normales ya sea de la zona basal como apical presenta una mayor densidad básica que la madera que creció en condiciones suprimidas.

Los valores promedio de cada materia prima varían, desde 405 a 511 kg/m³ como se aprecia en la comparación de medias en la figura 3, siendo estas diferencias sumamente importantes para la industria de celulosa y papel ya que como se mencionó anteriormente repercutirá en los procesos de penetración del licor en las astillas y en los rendimientos volumétricos.

La densidad básica de *E.nitens* (9 años) en la zona apical es superior en un 12,5% respecto a la de la zona basal mientras que la diferencia entre el *E.nitens* normal apical y suprimido es de 20,7%, es decir 106 kg/m³, en ambos casos el análisis de varianza concluye que no existen diferencias significativas, según tratamiento al 95% de confianza (p-valor>0,05).

Al comparar los resultados de densidad básica de este estudio con los de otros autores como Peredo (2003) en el que obtiene una densidad básica para *E.nitens* de 9 años de edad, un promedio de 472,5 kg/m³ y 463 kg/m³, para árboles procedentes de BOSQUES ARAUCO S.A. y FORESTAL VALDIVIA respectivamente, los valores de este estudio están dentro de los rangos mencionados en la literatura para los árboles crecidos en condiciones normales y para esta edad.

Se puede esperar que las diferencias de densidad básica halladas entre estos ejemplares de *E.nitens*, puedan ser importantes para la industria consumidora al momento de elegir la materia prima más apropiada para su proceso productivo.

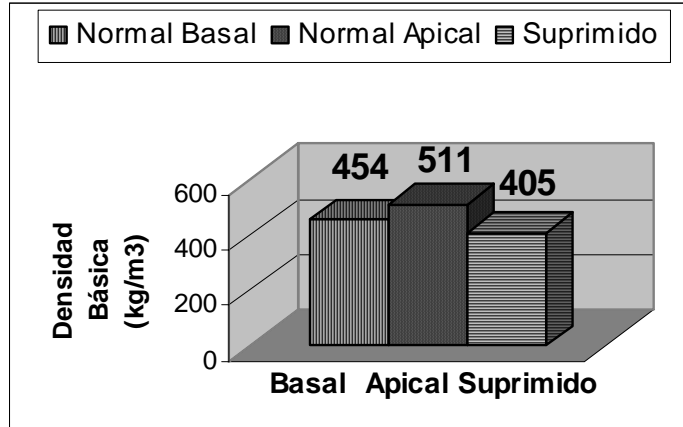


Figura 3: Densidad básica de *E.nitens* de 9 años.

En general el comportamiento de la densidad básica en la madera de *E.nitens* crecido en condiciones normales fue de incrementar su valor desde la zona basal hacia la apical.

En cuanto a la presencia porcentual de elementos morfológicos de *E.nitens* de (9 años), la figura 4 representa estos porcentajes tanto en madera temprana como tardía, en los árboles crecido en condiciones normales y suprimidas.

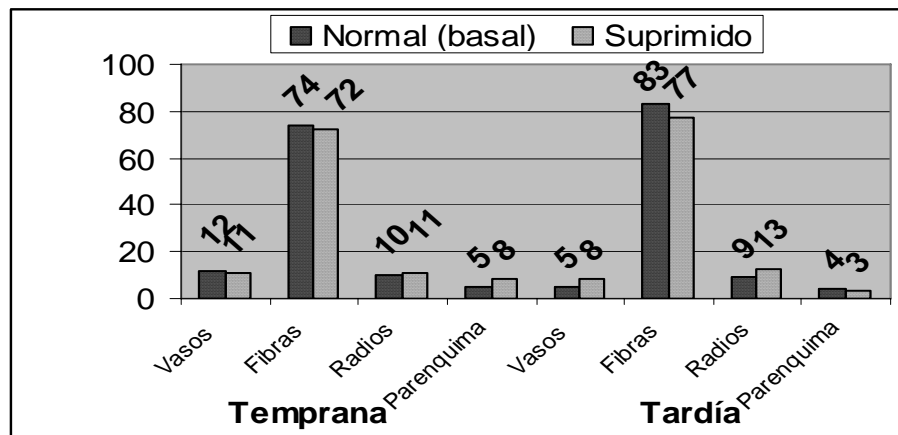


Figura 4: Conteo porcentual elementos morfológicos de árbol normal (basal) y suprimidos.

El análisis de presencia de elementos morfológicos indica que la madera de los árboles de *E.nitens* normales presentan un 8,33% más vasos que los árboles suprimidos en la zona temprana, y en la zona tardía este porcentaje cambia radicalmente ya que los árboles suprimidos poseen 37,5% más de vasos que los árboles crecidos en condiciones normales. El porcentaje de vasos existente en los árboles normales y suprimidos siempre se presentó mayor en la zona temprana que la tardía, esta diferencia es importante en el momento de realizar el pulpaje Kraft pues mayor presencia de vasos mejora la penetración del licor en las astillas.

Se aprecia también que la madera de *E.nitens* suprimido presenta un 2,70% menos de fibras que la madera normal en la zona temprana y un 7,23% menos en la zona tardía, el menor porcentaje de fibras en la madera de los árboles suprimidos indica que existen más elementos correspondientes a vasos y radios leñosos, por lo que existe más espacios, por ende la densidad básica es menor que la crecida en condiciones normales, estos elementos morfológicos influyen en los rendimientos de las pulpas obtenidas de la madera de *E.nitens* normal y suprimido, ya que como los árboles crecidos en condiciones suprimidas presentan un menor porcentaje de fibras, esto repercutirá en que el rendimiento clasificado posiblemente sea menor.

Los árboles suprimidos tienen un 9,1% más de radios leñosos y un 37,5% más de parénquima en la zona temprana, y en la zona tardía los suprimidos presentan un 30,8% más de radios leñosos y un 25% menos de parénquima que los árboles normales.

La medición de los diámetros de los vasos en la madera de *E.nitens* (normal y suprimido), se realizó en la zona temprana y tardía como indica la figura 5.

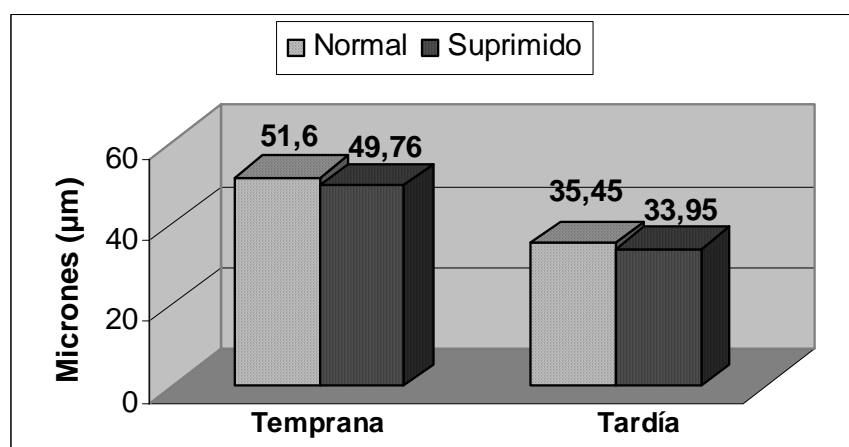


Figura 5: Diámetro de los vasos de *E.nitens*.

Los elementos de vaso de la madera de *E.nitens* normal tiene un diámetro mayor que la madera de *E.nitens* suprimido en la zona temprana y tardía, sin embargo el análisis de la prueba "t" de Student, indica que no existen diferencias significativas entre los promedios del diámetro de vasos, según árbol normal y suprimido, respecto a la madera temprana y tardía (al 95% de confianza, p-valor>0,05).

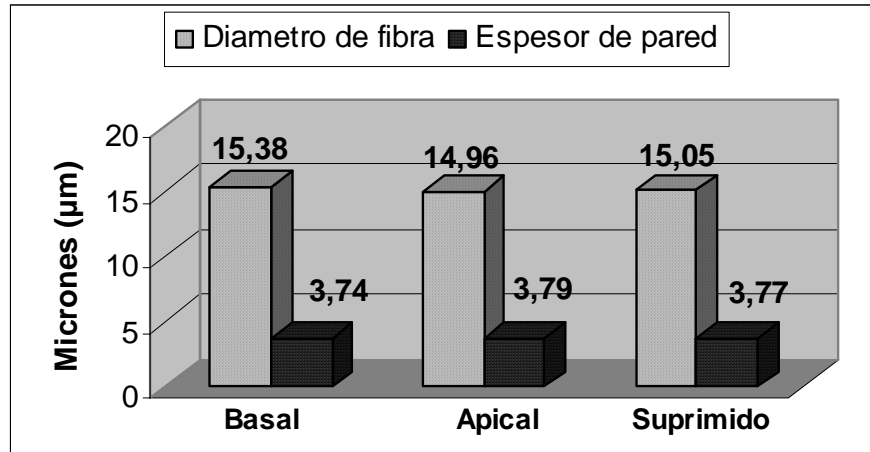


Figura 6: Análisis de la fibra de *E.nitens*.

Las dimensiones anatómicas de la fibra analizadas (diámetro de la fibra y espesor de pared), para madera de *E.nitens* normal (para su zona apical y basal) y suprimido presentan valores medios de 15,13 µm en el diámetro de la fibra y 3,77 µm en el espesor de la pared como indica la figura 6, no existiendo diferencias significativas al 95% de confianza (p -valor $>0,05$) para el diámetro de la fibra y el espesor de pared, entre los tres tipos de madera estudiados.

4.1.2 Resultados de la obtención de pulpa kraft.

En base a los resultados mencionados anteriormente, contenido de humedad, densidad básica de la madera, análisis morfológico (vasos, fibras, radios, parénquima), presentado por las astillas se puede observar que influyeron en los rendimientos de las pulpas obteniendo diferencias entre ellos, como lo indica la figura 7.

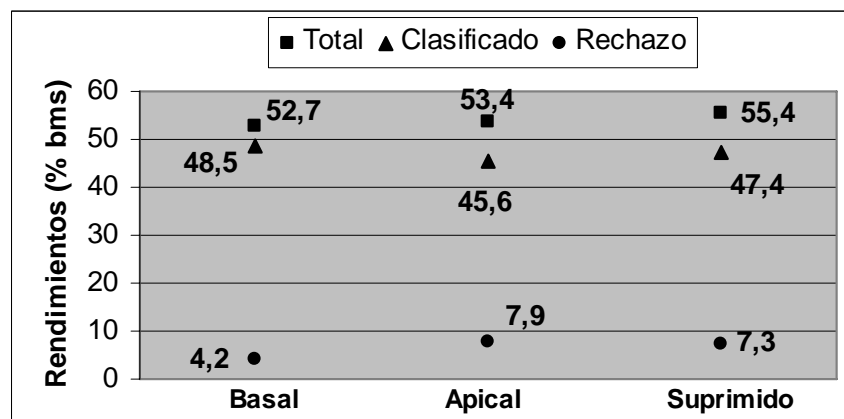


Figura 7: Rendimientos de las pulpas de *E.nitens*.

Bajo condiciones fijas de pulpaje la madera que creció en condiciones normales (apical), al poseer una mayor densidad básica fue más difícil la penetración del licor de cocción en la astilla, lo cual repercutió en un mayor porcentaje de fibras no separadas y por lo tanto un menor porcentaje de rendimiento clasificado y mayor rechazo, para mejorar estos resultados se debería incrementar la carga de álcali y/o incrementar el contenido de humedad para asegurar una impregnación completa de la astilla.

Con respecto al rendimiento total y clasificado de pulpa Kraft cruda que presentaron estos tres tipos de madera (basal, apical y suprimido), no existen diferencias significativas analizados al 95 % de confianza (P-Valor > 0,05).

Sin embargo el rechazo presentó diferencias significativas para los tres pulpajes estudiados al 95 % de confianza (P-Valor < 0,05), presentando la pulpa obtenida de la amdera normal apical el maximo porcentaje de 7,9 %:

El rendimiento volumétrico (kg de celulosa / m³ de madera) es uno de los parámetros que permiten evaluar el rendimiento de la materia prima, en función de la densidad de madera y del rendimiento clasificado como indica, Peredo (1999), este parámetro es de suma importancia en la industria de la celulosa, ya que la densidad de la madera esta directamente relacionada con los costos de carga de álcali (a mayor densidad de la madera se debe ocupar una mayor carga de álcali para que logre una mejor penetración del licor en la astilla).

En el cuadro 4 se presentan los resultados obtenidos para cada una de las materias primas analizadas. Los valores presentados indican que existe una incidencia importante de la densidad básica de la zona del fuste de la cual proviene la materia prima sobre el rendimiento volumétrico, a mayor altura, mayor rendimiento volumétrico.

| Zona del fuste de donde proviene | Densidad básica (kg/m ³) | Rendimiento clasificado (%b.m.s)* | Rendimiento volumétrico (kg/m ³) |
|----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--|
| Normal basal | 454 | 48,5 | 220 |
| Normal apical | 511 | 45,6 | 233 |
| Suprimido | 405 | 47,4 | 193 |

Cuadro 4: Rendimiento volumétrico (kg / m³) en función de la materia prima.

* % b.m.s: Porcentaje base madera seca.

La información que presenta el cuadro 4, indica que si se utiliza *E.nitens* de la zona apical como materia prima, se obtendrá un rendimiento volumétrico mayor en un 6 y 20,7 % respecto de la madera normal basal y suprimido.

Dado que el *E.nitens* suprimido presenta menor densidad básica implica que su utilización para obtención de pulpa es deficiente porque otorgará menores rendimientos volumétricos respecto a un *E.nitens* normal.

En la figura 8 se visualiza el consumo del álcali (% base reactivo) v/s el Numero Kappa.

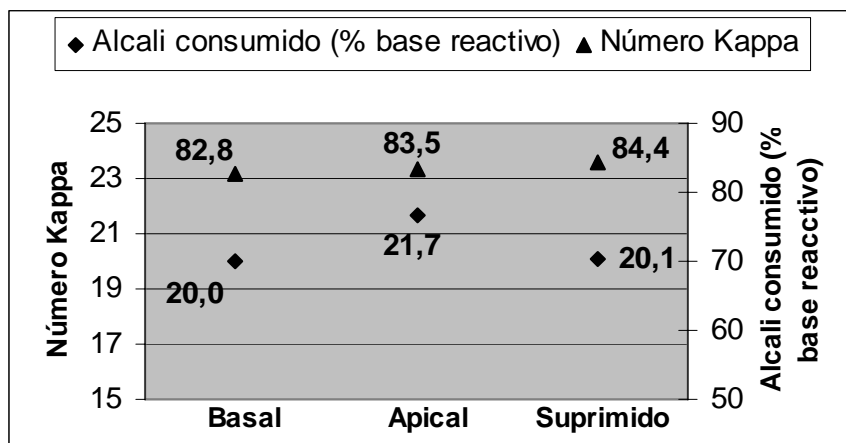


Figura 8: Número Kappa v/s álcali consumido de las pulpas de *E.nitens*.

Para el número Kappa, se observaron diferencias significativas para las maderas crecidas en condiciones normales (zona basal y apical), y en condiciones suprimidas al 95% de confianza (p -valor $< 0,05$), sin embargo el mayor número Kappa es presentado por la madera crecida en condiciones normales (zona apical) lo que reafirma que al poseer una mayor densidad básica la deslignificación fue deficiente y por esto también existió más rechazo, esto sin dejar de mencionar que también puede existir una influencia del contenido y reactividad de la lignina presente en los tres tipos de madera.

El consumo de álcali (% madera reactivo) presentó diferencias no significativas al 95% de confianza (P -Valor $>0,05$). El pulpaje de *E.nitens* crecido en condiciones suprimidas presentó un mayor álcali consumido (% madera reactivo) que los árboles normales (apicales), ya que las astillas del suprimido presentaron una menor densidad y un mayor contenido de humedad, que conjuntamente, mejoró la impregnación ocasionando el aumento del consumo y mayor deslignificación (menor número Kappa), la menor densidad básica permitió una mejor impregnación de las astillas.

La figura 9 indica las propiedades de resistencias mecánicas obtenidas a partir de pulpas de *E.nitens* normal (basal y apical) y suprimido.

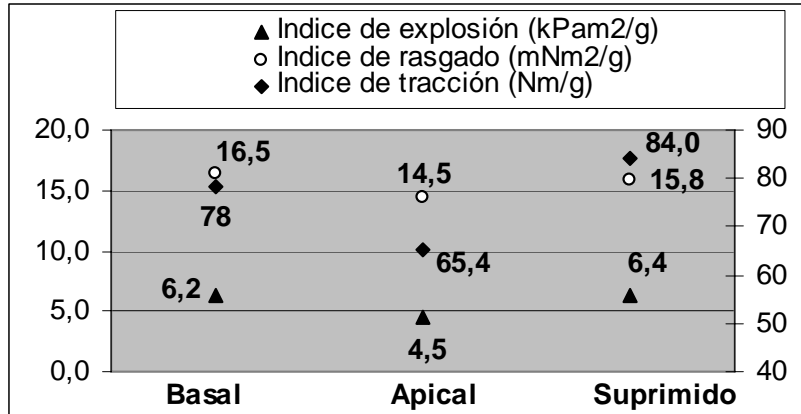


Figura 9: Propiedades de resistencias mecánicas de las pulpas de *E.nitens*.

En el análisis estadístico realizado a las propiedades de resistencias mecánicas de las pulpas de *E.nitens* los resultados presentaron diferencias altamente significativas al 99% de confianza (P-Valor <0,01).

El árbol que creció en condiciones suprimidas presentó un índice de tracción un 7,14 y 22,14 % mayor (basal y apical respectivamente), esto se debe a que el árbol suprimido presenta una menor densidad básica, presentó fibras susceptibles al colapso y una mayor densidad del papel, las fibras más deslignificadas (más flexibles), se acomodan mejor en el entramado y a la vez tiene una mayor área de contacto entre las fibras.

La mayor densidad que presenta el *E.nitens* crecido en condiciones normales en su zona apical (511 kg/m³), hace que la fibra presente una menor deslignificación (mayor número Kappa), por lo tanto tiene fibras mas rígidas y menos propensas al colapso, lo que provoca una menor área de contacto entre las fibras, produciendo un menor índice de tracción y de explosión.

La madera normal apical es la de mayor densidad básica por lo tanto el licor de cocción no penetró lo suficiente en la astillas como en las otras materias primas, lo cual influye negativamente en las propiedades físico-mecánicas de la pulpa como se ha mencionado en los puntos anteriores.

| Especie | Edad (años) | Índice de tracción (mNm/g) | Referencia |
|------------------------------|-------------|----------------------------|---------------------------------|
| <i>E. globulus</i> | 8 | 104 | Kibblewhite <i>et al</i> , 2000 |
| <i>E. nitens</i> | 8 | 121 | Kibblewhite <i>et al</i> , 2000 |
| <i>E. maidenii</i> | 8 | 81 | Kibblewhite <i>et al</i> , 2000 |
| <i>E. nitens</i> (basal) | 9 | 78 | Estudio |
| <i>E. nitens</i> (apical) | 9 | 65,4 | Estudio |
| <i>E. nitens</i> (suprimido) | 9 | 84 | Estudio |

Cuadro 5: Referencia de índice de tracción del género *Eucalyptus* de 8 años de edad en pulpa Kraft cruda sin refinar

Los índices de tracción que se presentan estos *Eucalyptus* en el cuadro 5 son mayores al que presentan nuestros árboles crecidos en condiciones normales (zona basal y apical) y suprimidos.

5. CONCLUSIONES

Los ocho árboles de *Eucalyptus nitens* de 9 años de edad procedentes de fundos de FORESTAL ANCHILE ubicados en la décima región de Chile; de los cuales 6 pertenecen a crecidos en condiciones normales y 2 en condiciones presentaron diferencias no significativas entre su densidad básica, análisis morfológicos y diámetro de vasos.

La ubicación que tiene la madera en el fuste (basal, apical), tiene una marcada incidencia en las respuestas de pulpaje, la madera de la zona apical presenta menores rendimientos clasificados y mayor rechazo que la observada de zona basal o árbol suprimido, esta última presentaron diferencias significativas, sin embargo debido a que la madera de zona apical posee una densidad básica mayor, la diferencia en el rendimiento volumétrico es de un 6 y 20,7 % respectivamente.

La alta densidad básica que presenta el *E.nitens* de la zona apical repercute en una menor penetración del licor de pulpaje en las astillas lo que implica una menor deslignificación de este material (mayor número Kappa), respecto de la madera normal basal y árbol suprimido, la diferencias en número Kappa es significativa.

La madera de los árboles suprimidos presentó un mayor contenido de humedad de equilibrio, que sumado a su menor densidad favoreció la impregnación del licor de cocción generando menor cantidad de rechazo y mayor deslignificación (ambas poseen diferencias significativas). A pesar de lo anterior su utilización no es atractiva debido a los bajos rendimientos volumétricos que se obtiene.

Con respecto a los índices de tracción y explosión, la madera que presenta menores índices es la crecida en condiciones normales (zona apical), esto se debe a que esta madera es la que presentó una menor deslignificación, lo que provocó que las fibras permanecieran más rígidas y por lo tanto existe una menor área de contacto entre las fibras, en comparación a los mayores índices de resistencia físico-mecánicas obtenidos por la pulpa del árbol suprimido.

6. BIBLIOGRAFÍA

CELULOSA ARAUCO S.A. Seminario.2003 “Producción pulpa de Eucalyptus”, 22 y 23 de octubre, Arauco (Chile). 34 p.

Donoso, C. 1981 Bosques templados de Chile y Argentina 4ª Ed. Santiago (Chile) Editorial Universitaria S.A. 483 p.

Donoso, C.1981a Ecología forestal 5ª Ed. Santiago (Chile) Editorial Universitaria S.A. 396 p.

Fengel, D.; Wegener, G. 1984. Wood Chemistry, Ultraestructure Reaction, Walter deGruyter, Berlín, 2-220p.

Instituto forestal (INFOR). 2005 *Estadísticas* INTERNET:
http://www.infor.cl/webinfor/estadisticas_Forestales/estadisticas.htm (Agosto 29, 2004)

Kibblewhite R.; Jhonson B.; Shelbourne C. 2000 (a) Kraft pulp qualities of *Eucalyptus nitens*, *E.globulus*, and *E.maidenii*, at ages 8 and 11 years. New Zealand journal forestry Science. 447 p.

Kibblewhite R.; Riddell M.; Shelbourne C. 2000 (b) Variation in wood, kraft fibre, and handsheet properties among 29 trees of *Eucalyptus regnans*, and comparison with *E. nitens* and *E. fastigata*. *New Zealand Journal of Forestry*. 458-473 p.

Mariani S.; Poblete H.; Torres M.; Fernández A.; Morales E. 2005 Caracterización física y química del *Eucalyptus nitens* con la altura. II Coloquio Internacional de pulpa de Eucalipto, 24-26 Mayo 2005. Concepción Chile.

Mariani S.; Torres M.; Fernández A.; Morales E. 2003 Efecto de la duraminización del *Eucalyptus nitens* en pulpaje kraft. *Celulosa y Papel*.

Melo R.; Paz J.; Solís A.; Carrasco V. 1991 Ensayos de pulpaje y blanqueo de madera de eucaliptos (*Eucalyptus* spp.). *Celulosa y Papel*, 7(1): 10-19 p.

Monteoliva, S.; Nuñez C.; Igatúa D. 2002 Densidad básica, longitud de fibras y composición química de la madera de una plantación de *Eucalyptus globulus* en la provincia de Buenos Aires, Argentina. Congreso Iberoamericano de Docencia e Investigación en Celulosa y Papel, Brasil. 13 p.

Morales, E. 2005. Diseño experimental a través del análisis de varianza y modelo de regresión lineal, editorial Consultora Carolina, Valdivia, 248 p.

Paz, J. 1972 Procesos de obtención de pulpa a partir de madera de *Eucalyptus Globulus* “labill”.Laboratorio de productos forestales. Universidad de Concepción.120 p.

- Peredo, M. 1999 Propiedades de la madera y aptitud pulpable de algunas especies de eucaliptos cultivados en Chile. Silvotecnica XII. Realidad potencial del Eucalyptus en Chile: Cultivo Silvícola y su uso industrial, Concepción Chile, 321 p.
- Peredo, M. 2000 Utilización industrial de la madera de Eucalyptus. I Congreso Iberoamericano de investigación y desarrollo de productos Forestales. Concepción Chile, 16-20 p.
- Smook, G. 1998 Manual para técnicos de pulpa y papel 1ª ED. EE.UU. Tappi Press 395 p.
- Valente, C.A., Mendes de Sousa, A., Furtado, F.P. y de Carvalho 1992 A.P. "Improvement program for *Eucalyptus globulus* at PORTUCEL: Technological component." Appita , 403-407 p.
- Wenzel, H.F.J., 1976 Kraft pulping: "Theory and Practice. Lockwood Publishing Co. New York.112 p.

ANEXOS

Anexo 1

Abstract

ABSTRACT

In plantations of *E. nitens* the influence of environment and genetics generate differences in the growth rates and development of trees, where normal and suppressed trees, we found the latest does not reach a physical according to their age, in consequence physical properties away in normal and suppressed trees are different and their behave distinct in the transformation process.

At the present work, the behave in pulping and mechanical properties of the Kraft pulp of *E. nitens* growth are studied at normal and suppressed conditions.

Eight trees of nine years age were selected which six normal and two suppressed from the Forestal ANCHILE Company. The wood grown rates normal condition was classified in the base of apex zone for pulping, the grown rate suppress conditions was not classified due the low of raw material.

Kraft pulp was characterized and analyzed under TAPPI norms, while fiber anatomy was dyed and projected at transversal section. Morphological elements were projected whit spring wood and summer wood ring and one hundred points were counted (vessels, parenchyma cells and fibers).

The morphological and physic properties away normal and suppressed wood *E. nitens*, such as vessels diameter, wall thickness, lumen wide and basic density did not present significative differences.

The density of apex at normal *E. nitens* was 12,5% greater than basal normal wood and 20,7% greater than suppressed wood, which present significative effects over the properties of reject and Kappa number. And did not significative effects over classified and total yield.

At last, the property of physical- mechanical resistances of the pulps presents significative differences at 99% of confidence (p-value < 0,01)

Key words: *Eucalyptus nitens*, Kraft pulp, wood anatomy, mechanical resistances properties.

Anexo 2

Densidad básica de los árboles

Cuadro 1. Densidad básica de los árboles

| | Apical 1 | Apical 2 | Basal 1 | Basal 2 | Suprimido 1 | Suprimido 2 |
|----------------------|----------|----------|---------|---------|-------------|-------------|
| Vol. Saturado | 102 | 119 | 115 | 74 | 61 | 95 |
| Peso anhidro | 52 | 61 | 47 | 37 | 25 | 38 |

| Árboles | Densidad Básica (g/cm³) |
|----------------|---|
| Apical 1 | 0,5098 |
| Apical 2 | 0,5126 |
| Basal 1 | 0,4087 |
| Basal 2 | 0,5 |
| Suprimido 1 | 0,4098 |
| Suprimido 2 | 0,4 |

| Arboles | Densidad Básica (Kg/m³) |
|------------------|---|
| Normal | |
| Apical | 511 |
| Basal | 454 |
| Suprimido | 405 |

Anexo 3
Análisis de la fibra

Cuadro 2: Análisis de la fibra (Basal)

| Normal Basal | |
|--------------|---------------|
| Ancho Fibra | Espesor pared |
| 7 | 1,5 |
| 11,8 | 2,7 |
| 17,4 | 3,9 |
| 7,2 | 2,4 |
| 20,4 | 5,2 |
| 18,2 | 4,5 |
| 12 | 3,4 |
| 17,6 | 4,1 |
| 16,2 | 3,2 |
| 13,4 | 3,1 |
| 12,4 | 3,6 |
| 18,4 | 4,3 |
| 12 | 2,8 |
| 13 | 3,1 |
| 17,4 | 5,1 |
| 19,8 | 6,1 |
| 15 | 3,6 |
| 14,6 | 4,8 |
| 22 | 6,7 |
| 13,8 | 3 |
| 11,4 | 3,2 |
| 10,8 | 2,3 |
| 11,8 | 2,3 |
| 14,2 | 3,6 |
| 12,6 | 3,2 |
| 15,6 | 3,6 |
| 17 | 2,9 |
| 15,4 | 2,6 |
| 17,6 | 4,5 |
| 19,6 | 5,9 |
| 21,8 | 2,8 |
| 21,8 | 5,6 |
| 16,4 | 4,4 |
| 16,4 | 5 |
| 17,8 | 5,5 |
| 9,4 | 2,4 |
| 13,6 | 3,4 |
| 11 | 2,8 |
| 7,6 | 1,6 |
| 15,4 | 2,6 |
| 10,2 | 2,3 |
| 11,8 | 2,6 |
| 11,4 | 2,9 |
| 14,4 | 3,7 |
| 16,4 | 4,8 |
| 16,2 | 5,1 |
| 16,8 | 4,7 |
| 12,4 | 3 |
| 10 | 2,1 |
| 21 | 4,3 |
| 20,8 | 6,4 |

| Normal Basal | |
|--------------|---------------|
| Ancho Fibra | Espesor pared |
| 18,2 | 5,3 |
| 16,6 | 4,1 |
| 13,6 | 2,3 |
| 15,6 | 4,3 |
| 14,8 | 1,7 |
| 16,6 | 4,5 |
| 16 | 4,3 |
| 15 | 4,2 |
| 25,6 | 4,2 |
| 17,6 | 6,3 |
| 24,6 | 5,9 |
| 10,6 | 1,9 |
| 11,6 | 3,2 |
| 6,8 | 1,3 |
| 22 | 4,3 |
| 12,8 | 3,9 |
| 12,2 | 3 |
| 10,8 | 2,5 |
| 15,6 | 4,1 |
| 16,4 | 5 |
| 15 | 3 |
| 17,4 | 4,1 |
| 13,6 | 1,9 |
| 15,8 | 2,3 |
| 11 | 2,8 |
| 13 | 3,4 |
| 10,6 | 1,5 |
| 11,6 | 1,9 |
| 16,6 | 3,1 |
| 20,6 | 4,4 |
| 16 | 2,3 |
| 13,6 | 4,5 |
| 14,8 | 3,1 |
| 17,6 | 4,8 |
| 13,2 | 4,2 |
| 12,8 | 2,5 |
| 17,2 | 4 |
| 18,2 | 6 |
| 14,2 | 4,3 |
| 15,4 | 3,8 |
| 20,8 | 4,1 |
| 19,6 | 5,7 |
| 20 | 4,2 |
| 18,6 | 4,3 |
| 22,4 | 6,5 |
| 20,2 | 4,9 |
| 12,4 | 3,6 |
| 19,6 | 3,7 |
| 15,2 | 3,7 |

Cuadro 3: Análisis de la fibra (apical)

| Normal Apical | |
|---------------|---------------|
| Ancho Fibra | Espesor pared |
| 24,4 | 5,7 |
| 17,6 | 5 |
| 18,8 | 3,8 |
| 11,4 | 1,9 |
| 10,2 | 1,9 |
| 9,4 | 2,1 |
| 12,2 | 3,1 |
| 16 | 2 |
| 6,8 | 1,3 |
| 9 | 1,9 |
| 11 | 1,8 |
| 15,6 | 2,3 |
| 7,8 | 1,7 |
| 8,2 | 2 |
| 11,4 | 2,6 |
| 6,8 | 1,2 |
| 11,2 | 3 |
| 10,8 | 1,9 |
| 16 | 3,6 |
| 13,8 | 3,1 |
| 10,4 | 3 |
| 19,2 | 6 |
| 17 | 3,8 |
| 23,6 | 4 |
| 20,4 | 5,6 |
| 17,4 | 4,2 |
| 13 | 2,9 |
| 20,4 | 6,2 |
| 13,6 | 3,8 |
| 15,2 | 3,4 |
| 21,8 | 4,8 |
| 16,6 | 4,5 |
| 9,8 | 1,9 |
| 24,6 | 5,7 |
| 19 | 5,5 |
| 19,2 | 3,9 |
| 19,8 | 3,8 |
| 14,8 | 2,8 |
| 18,2 | 4,2 |
| 17,8 | 4,3 |
| 15,6 | 3,9 |
| 18,4 | 4,1 |
| 12,4 | 2,8 |
| 21,4 | 5,8 |
| 16,8 | 3 |
| 15,8 | 3,8 |
| 11,6 | 2,1 |
| 23,6 | 5,4 |
| 20 | 4,9 |
| 17,8 | 5 |
| 13,2 | 3,8 |

| Normal Apical | |
|---------------|---------------|
| Ancho Fibra | Espesor pared |
| 9,8 | 2 |
| 15,6 | 4,6 |
| 13,8 | 4,8 |
| 11,4 | 3,2 |
| 20,6 | 5,4 |
| 10,8 | 3,3 |
| 11,4 | 3,1 |
| 15,2 | 4,3 |
| 16,8 | 6,3 |
| 18 | 6,4 |
| 18,2 | 4 |
| 10 | 2,5 |
| 9,2 | 2,2 |
| 11,8 | 3,2 |
| 17,6 | 6,1 |
| 13,4 | 3,2 |
| 16,4 | 5,2 |
| 17,6 | 6,1 |
| 10,4 | 1,6 |
| 19,8 | 4 |
| 12 | 3,9 |
| 16,4 | 5,2 |
| 14 | 2,9 |
| 21,6 | 4,8 |
| 21,8 | 6,1 |
| 15 | 5,4 |
| 13,2 | 3,3 |
| 17,6 | 6,1 |
| 10,6 | 2,4 |
| 9,6 | 2,6 |
| 9,4 | 2,8 |
| 12 | 3,9 |
| 22,4 | 6,5 |
| 12,2 | 3,2 |
| 13,8 | 3,5 |
| 13,2 | 2,4 |
| 15,4 | 3,5 |
| 13 | 2,6 |
| 16,6 | 5,7 |
| 15,6 | 3,5 |
| 10,2 | 2,8 |
| 15,8 | 3,2 |
| 19,4 | 7,4 |
| 13 | 4,2 |
| 9 | 2,6 |
| 17,4 | 5,5 |
| 18,2 | 5,5 |
| 12 | 2,7 |
| 10,6 | 2,4 |

Cuadro 4: Análisis de la fibra (Suprimido)

| Suprimido | |
|-------------|---------------|
| Ancho Fibra | Espesor pared |
| 19,6 | 4 |
| 19,4 | 6,2 |
| 19,6 | 5,8 |
| 17,2 | 4,7 |
| 21,4 | 6,2 |
| 14 | 4,9 |
| 16,6 | 4,8 |
| 9,6 | 1,6 |
| 15 | 4,3 |
| 10,8 | 3,5 |
| 21 | 5,4 |
| 16,6 | 4,8 |
| 13,4 | 2,5 |
| 21 | 5,7 |
| 15 | 5 |
| 19,4 | 4,9 |
| 19 | 6,3 |
| 21 | 4,8 |
| 8,6 | 2,6 |
| 11,6 | 2,8 |
| 19,2 | 5,6 |
| 18,4 | 4,2 |
| 16,4 | 5,5 |
| 18,2 | 5,6 |
| 18,4 | 4,6 |
| 13,6 | 2,7 |
| 14 | 4 |
| 19 | 4 |
| 19,2 | 4,5 |
| 13,4 | 2,4 |
| 17,4 | 5 |
| 15,2 | 3,3 |
| 14,4 | 5,1 |
| 19 | 4,5 |
| 17,8 | 4,1 |
| 14,8 | 3,3 |
| 15,8 | 3,5 |
| 12,6 | 3,8 |
| 16,2 | 4,4 |
| 20,4 | 4,4 |
| 13,8 | 3,7 |
| 14,6 | 4,5 |
| 7,6 | 2 |
| 17,2 | 5,1 |
| 12,2 | 3,6 |
| 14,2 | 3,9 |
| 14,4 | 3,5 |
| 15,4 | 3,8 |
| 16,6 | 3,9 |

| Suprimido | |
|-------------|---------------|
| Ancho Fibra | Espesor pared |
| 17,6 | 5,7 |
| 10,2 | 1,7 |
| 13,4 | 2,7 |
| 7,8 | 1,4 |
| 14 | 3 |
| 14,4 | 3,8 |
| 10,4 | 1,7 |
| 13 | 2,2 |
| 13,8 | 3,3 |
| 12,4 | 3 |
| 10,8 | 2 |
| 14,8 | 3,9 |
| 20,8 | 5,5 |
| 11 | 1,8 |
| 18 | 4,6 |
| 10,6 | 2,1 |
| 10,2 | 1,9 |
| 11,4 | 2,6 |
| 16,2 | 4,6 |
| 13 | 3,9 |
| 11 | 2,6 |
| 8 | 1,6 |
| 12,8 | 2,4 |
| 24,4 | 6,1 |
| 17,6 | 5,7 |
| 9,2 | 1,7 |
| 18,4 | 4,2 |
| 10,2 | 1,5 |
| 17,8 | 2,2 |
| 11,2 | 2,6 |
| 14 | 4 |
| 15,8 | 3,4 |
| 15,6 | 3,3 |
| 15,2 | 4,1 |
| 15,2 | 3,9 |
| 9,8 | 1,5 |
| 11,8 | 2,5 |
| 16 | 5,7 |
| 14,6 | 4,6 |
| 13,6 | 4,2 |
| 14,4 | 4,2 |
| 17,6 | 2,7 |
| 17 | 4,3 |
| 13,6 | 3,4 |
| 18,8 | 4,7 |
| 12 | 2,9 |
| 23,6 | 4,6 |
| 9,6 | 1,9 |
| 15,2 | 3,7 |
| 14,4 | 2,5 |
| 13,6 | 3,2 |

Anexo 4

Díámetro de los vasos

Cuadro 5: Diámetro de los vasos

| | Arbol normal 1 | |
|----|----------------|--------|
| | Temprana | Tardia |
| 1 | 58,2 | 45,7 |
| 2 | 46,9 | 52,5 |
| 3 | 52,1 | 41,2 |
| 4 | 53,2 | 40,5 |
| 5 | 61,9 | 34 |
| 6 | 51,6 | 44,7 |
| 7 | 60,8 | 34,6 |
| 8 | 61 | 46,9 |
| 9 | 57,8 | 40,9 |
| 10 | 54,8 | 35,7 |
| 11 | 62,3 | 48,7 |
| 12 | 59,7 | 27,1 |
| 13 | 52,3 | 46,9 |
| 14 | 71,4 | 39 |
| 15 | 62,8 | 50,3 |
| 16 | 75,7 | 44,9 |
| 17 | 62,1 | 42 |
| 18 | 65,1 | 51,5 |
| 19 | 47,9 | 44,6 |
| 20 | 63 | 40,9 |
| 21 | 65,6 | 36,9 |
| 22 | 63,1 | 48,4 |
| 23 | 58,6 | 53,1 |
| 24 | 58,3 | 37,5 |
| 25 | 55,5 | 25,9 |
| 26 | 63,5 | 50,7 |
| 27 | 56,1 | 37,6 |
| 28 | 53,1 | 43,4 |
| 29 | 59,8 | 43,5 |
| 30 | 59,7 | 49,4 |
| 31 | 38,1 | 38,3 |
| 32 | 42,4 | 40,6 |
| 33 | 63,7 | 38,3 |
| 34 | 68,6 | 44,8 |
| 35 | 47,2 | 37,3 |
| 36 | 51,8 | 51,5 |
| 37 | 56,6 | 47,5 |
| 38 | 59,7 | 55,9 |
| 39 | 50,2 | 50,4 |
| 40 | 66,7 | 39,8 |
| 41 | 51,3 | 48,2 |
| 42 | 49,2 | 52,3 |
| 43 | 42,9 | 54 |
| 44 | 63,5 | 36,6 |
| 45 | 54,6 | 36,1 |
| 46 | 58,2 | 42,9 |
| 47 | 51,8 | 57 |
| 48 | 56 | 44,8 |
| 49 | 52,2 | 38,7 |
| 50 | 66,5 | 46,6 |
| | 57,302 | 43,612 |

| | Arbol normal 2 | |
|----|----------------|--------|
| | Temprana | Tardia |
| 1 | 49,4 | 32 |
| 2 | 51,7 | 19,2 |
| 3 | 59,8 | 32,5 |
| 4 | 57,1 | 47 |
| 5 | 57,2 | 46 |
| 6 | 63,1 | 35 |
| 7 | 39,9 | 37,7 |
| 8 | 57,1 | 21,3 |
| 9 | 58,9 | 16,3 |
| 10 | 57,9 | 31,8 |
| 11 | 56 | 39,6 |
| 12 | 53,4 | 43,1 |
| 13 | 60 | 35,9 |
| 14 | 58,2 | 38,2 |
| 15 | 70,1 | 34,6 |
| 16 | 59,5 | 39,6 |
| 17 | 53,4 | 28,8 |
| 18 | 57,8 | 35 |
| 19 | 69 | 37,8 |
| 20 | 62,8 | 19,5 |
| 21 | 47,4 | 24,3 |
| 22 | 65,3 | 32,5 |
| 23 | 57,2 | 31 |
| 24 | 56,6 | 23,1 |
| 25 | 55,6 | 32,2 |
| 26 | 54,5 | 36 |
| 27 | 63,3 | 26,6 |
| 28 | 55,1 | 37,7 |
| 29 | 70,5 | 34,3 |
| 30 | 55,4 | 40,5 |
| 31 | 52,6 | 39,2 |
| 32 | 53,6 | 40,6 |
| 33 | 56,7 | 34,6 |
| 34 | 52,3 | 23,9 |
| 35 | 65,7 | 20,5 |
| 36 | 67,5 | 35,8 |
| 37 | 64 | 26,8 |
| 38 | 73,2 | 25,3 |
| 39 | 64,2 | 38,9 |
| 40 | 62,8 | 20,2 |
| 41 | 68,1 | 36,9 |
| 42 | 53,4 | 14,7 |
| 43 | 54 | 37 |
| 44 | 51,1 | 25,3 |
| 45 | 51,5 | 34 |
| 46 | 63,6 | 38,7 |
| 47 | 64,1 | 44,7 |
| 48 | 60,3 | 40 |
| 49 | 59,1 | 44 |
| 50 | 56,7 | 42,7 |
| | 58,554 | 33,058 |

Cuadro 6: Diámetro de los vasos

| | Arbol normal 5 | |
|----|----------------|--------|
| | Temprana | Tardia |
| 1 | 46,8 | 35,2 |
| 2 | 45,6 | 33,3 |
| 3 | 43,9 | 34,6 |
| 4 | 44,5 | 34,2 |
| 5 | 38,7 | 31,5 |
| 6 | 42,3 | 38,4 |
| 7 | 44,7 | 35,8 |
| 8 | 39,1 | 39,5 |
| 9 | 57 | 36,1 |
| 10 | 28,8 | 38,1 |
| 11 | 38 | 37 |
| 12 | 37,8 | 35,9 |
| 13 | 44,9 | 29,6 |
| 14 | 44,2 | 28,6 |
| 15 | 38,2 | 29,2 |
| 16 | 38,2 | 34,2 |
| 17 | 41,1 | 32,5 |
| 18 | 28,6 | 32,2 |
| 19 | 30,3 | 28,1 |
| 20 | 33 | 32,1 |
| 21 | 44 | 32,7 |
| 22 | 36,2 | 33,4 |
| 23 | 41,4 | 33,1 |
| 24 | 37,3 | 29 |
| 25 | 42,3 | 35,7 |
| 26 | 49,6 | 37,7 |
| 27 | 50,4 | 36,2 |
| 28 | 41,6 | 37 |
| 29 | 48 | 29 |
| 30 | 37,1 | 24,1 |
| 31 | 54,8 | 27,6 |
| 32 | 37 | 34,4 |
| 33 | 46,2 | 29,4 |
| 34 | 42 | 35,9 |
| 35 | 38,9 | 41,5 |
| 36 | 46,8 | 35,2 |
| 37 | 37,7 | 24,3 |
| 38 | 39 | 37,8 |
| 39 | 40 | 21,9 |
| 40 | 32,9 | 32,9 |
| 41 | 42,1 | 29,8 |
| 42 | 38,7 | 38,6 |
| 43 | 23,9 | 35,1 |
| 44 | 47,2 | 28,9 |
| 45 | 36,8 | 37,9 |
| 46 | 44,1 | 42,1 |
| 47 | 40,9 | 33,8 |
| 48 | 41,7 | 35,4 |
| 49 | 52,5 | 28,2 |
| 50 | 49 | 28,3 |
| | 41,316 | 33,26 |

| | Arbol normal 6 | |
|----|----------------|--------|
| | Temprana | Tardia |
| 1 | 26,1 | 45,6 |
| 2 | 54,9 | 23,5 |
| 3 | 55,5 | 24,3 |
| 4 | 52,3 | 35 |
| 5 | 54,9 | 39,5 |
| 6 | 41,7 | 42,3 |
| 7 | 60 | 30,2 |
| 8 | 64,8 | 50,5 |
| 9 | 56,9 | 41,7 |
| 10 | 18,3 | 26 |
| 11 | 28 | 15,2 |
| 12 | 47,9 | 43,2 |
| 13 | 53,9 | 40,9 |
| 14 | 56,3 | 41,6 |
| 15 | 52,9 | 32,7 |
| 16 | 53,1 | 28,9 |
| 17 | 47,4 | 28,6 |
| 18 | 49,6 | 19,2 |
| 19 | 56,1 | 55,6 |
| 20 | 50,3 | 33,9 |
| 21 | 59,6 | 35,6 |
| 22 | 59,6 | 38,4 |
| 23 | 45,6 | 40,4 |
| 24 | 56,9 | 39,1 |
| 25 | 51,1 | 45,9 |
| 26 | 53,5 | 41,8 |
| 27 | 49,9 | 48 |
| 28 | 52,3 | 28,3 |
| 29 | 67 | 50,4 |
| 30 | 56,2 | 29,9 |
| 31 | 46,4 | 29,7 |
| 32 | 50,1 | 47,4 |
| 33 | 45 | 40,4 |
| 34 | 51,8 | 32,7 |
| 35 | 54,2 | 24,7 |
| 36 | 56 | 39,8 |
| 37 | 58,4 | 43,6 |
| 38 | 47,8 | 26,2 |
| 39 | 55 | 28,5 |
| 40 | 53,8 | 33,7 |
| 41 | 45,4 | 47,1 |
| 42 | 42 | 44,2 |
| 43 | 54,6 | 29,3 |
| 44 | 29,3 | 27,2 |
| 45 | 50,3 | 42 |
| 46 | 54,3 | 32,8 |
| 47 | 57,7 | 29,5 |
| 48 | 43,7 | 28,2 |
| 49 | 49,6 | 33,2 |
| 50 | 67,3 | 26,9 |
| | 50,906 | 35,666 |

Cuadro 7: Diámetro de los vasos

| | Arbol normal 7 | |
|----|----------------|--------|
| | Temprana | Tardia |
| 1 | 45,7 | 29 |
| 2 | 55,6 | 38,2 |
| 3 | 55,7 | 30,9 |
| 4 | 52,2 | 26,6 |
| 5 | 50,9 | 32,5 |
| 6 | 48,7 | 40,2 |
| 7 | 44,8 | 33,7 |
| 8 | 43,1 | 27,2 |
| 9 | 58 | 42,6 |
| 10 | 39,9 | 32,5 |
| 11 | 43,1 | 22,9 |
| 12 | 51,9 | 30,8 |
| 13 | 45,1 | 33,7 |
| 14 | 46,4 | 40,1 |
| 15 | 45,6 | 31 |
| 16 | 57,8 | 16,9 |
| 17 | 56,7 | 22 |
| 18 | 57,4 | 35,5 |
| 19 | 55,9 | 23,6 |
| 20 | 60 | 41,2 |
| 21 | 42,4 | 29,8 |
| 22 | 52,2 | 22,6 |
| 23 | 48,5 | 35,2 |
| 24 | 51,9 | 24,8 |
| 25 | 44,5 | 32,2 |
| 26 | 42,9 | 23,1 |
| 27 | 38,5 | 22,5 |
| 28 | 50,2 | 46,4 |
| 29 | 36,6 | 37,7 |
| 30 | 63,6 | 43,6 |
| 31 | 57 | 45,9 |
| 32 | 49,5 | 37,2 |
| 33 | 44,6 | 42 |
| 34 | 59,3 | 34,4 |
| 35 | 54,6 | 27,9 |
| 36 | 50,2 | 36,7 |
| 37 | 49,1 | 27 |
| 38 | 52,2 | 37,4 |
| 39 | 56,6 | 37,2 |
| 40 | 53,9 | 33 |
| 41 | 59,8 | 34,2 |
| 42 | 49,9 | 33,9 |
| 43 | 42,6 | 32,2 |
| 44 | 53,7 | 36,5 |
| 45 | 46,6 | 34 |
| 46 | 40 | 16,8 |
| 47 | 41,2 | 20,5 |
| 48 | 43,7 | 26,9 |
| 49 | 55,3 | 22,2 |
| 50 | 50,1 | 18,8 |
| | 49,914 | 31,674 |

| | Arbol Suprimido 3 | |
|----|-------------------|--------|
| | Temprana | Tardia |
| 1 | 59,4 | 34,8 |
| 2 | 46,9 | 39,6 |
| 3 | 49 | 41 |
| 4 | 54 | 37,9 |
| 5 | 51,3 | 27,4 |
| 6 | 45,7 | 34,5 |
| 7 | 45,6 | 31,2 |
| 8 | 52,8 | 38,8 |
| 9 | 63,7 | 41,2 |
| 10 | 55,6 | 22,1 |
| 11 | 56,2 | 28,3 |
| 12 | 49,1 | 40,6 |
| 13 | 53,3 | 28,7 |
| 14 | 56,4 | 27,7 |
| 15 | 39,4 | 38,9 |
| 16 | 53 | 33,2 |
| 17 | 53,9 | 18,6 |
| 18 | 55,3 | 28 |
| 19 | 59,7 | 45,7 |
| 20 | 54,3 | 40,8 |
| 21 | 48,6 | 31,9 |
| 22 | 51,5 | 41,1 |
| 23 | 40,8 | 32,1 |
| 24 | 44,2 | 34,7 |
| 25 | 50,2 | 45,2 |
| 26 | 35,9 | 49,8 |
| 27 | 60,3 | 43,9 |
| 28 | 31,5 | 46,9 |
| 29 | 46,5 | 40,6 |
| 30 | 53,7 | 37,7 |
| 31 | 54,6 | 42,6 |
| 32 | 65,4 | 41,3 |
| 33 | 39,5 | 36,4 |
| 34 | 40,6 | 31,7 |
| 35 | 41,4 | 47,6 |
| 36 | 46,3 | 31,3 |
| 37 | 50 | 27,2 |
| 38 | 55,3 | 48,7 |
| 39 | 50,9 | 38,6 |
| 40 | 60 | 57,1 |
| 41 | 59,8 | 48,8 |
| 42 | 46,3 | 37,9 |
| 43 | 53,6 | 44,5 |
| 44 | 50,3 | 44,8 |
| 45 | 32,7 | 38,5 |
| 46 | 54,1 | 35,4 |
| 47 | 51,8 | 45,3 |
| 48 | 50,2 | 44,3 |
| 49 | 56,3 | 42,1 |
| 50 | 49,2 | 49,4 |
| | 50,522 | 38,328 |

Cuadro 8: Diámetro de los vasos

| | Arbol Suprimido 8 | |
|----|--------------------------|---------------|
| | Temprana | Tardia |
| 1 | 46,5 | 25,2 |
| 2 | 39,4 | 33,7 |
| 3 | 53,3 | 17,1 |
| 4 | 48,7 | 28,4 |
| 5 | 54,3 | 32,8 |
| 6 | 49,1 | 35,6 |
| 7 | 53,6 | 35,5 |
| 8 | 46,7 | 25,5 |
| 9 | 47,5 | 30,8 |
| 10 | 51 | 31,1 |
| 11 | 48,1 | 30 |
| 12 | 51,5 | 33,2 |
| 13 | 52,7 | 23,7 |
| 14 | 47,9 | 20,5 |
| 15 | 50,2 | 11,6 |
| 16 | 47,1 | 23,9 |
| 17 | 31,9 | 21,3 |
| 18 | 45 | 23,2 |
| 19 | 54,8 | 36,3 |
| 20 | 46,6 | 27,8 |
| 21 | 50,4 | 36,3 |
| 22 | 46,7 | 22,7 |
| 23 | 45,7 | 27,4 |
| 24 | 61,9 | 34,1 |
| 25 | 47,1 | 24,8 |
| 26 | 49,3 | 17,2 |
| 27 | 50,8 | 24,6 |
| 28 | 47,3 | 33,9 |
| 29 | 41,4 | 36,1 |
| 30 | 49,3 | 20,6 |
| 31 | 64 | 30 |
| 32 | 55,2 | 35,8 |
| 33 | 55,6 | 23,7 |
| 34 | 46,5 | 26,8 |
| 35 | 53,6 | 23,7 |
| 36 | 48,5 | 34,5 |
| 37 | 48,2 | 40,8 |
| 38 | 38,3 | 26,7 |
| 39 | 48,8 | 34,5 |
| 40 | 45,4 | 35,4 |
| 41 | 45,1 | 33,9 |
| 42 | 49,8 | 34,4 |
| 43 | 58,9 | 36,6 |
| 44 | 51,8 | 29,6 |
| 45 | 54,7 | 30,2 |
| 46 | 49 | 39,1 |
| 47 | 44,3 | 32,9 |
| 48 | 51,8 | 36,4 |
| 49 | 38,3 | 30 |
| 50 | 46,1 | 38,9 |
| | 48,994 | 29,576 |

Anexo 5
Resumen pulpajes

Cuadro 9: Resumen pulpajes

| Madera | Tratamiento | Rendimiento total (%bms) | Rendimiento clasificado (%bms) | Rendimiento rechazo (%bms) | Indice Kappa | alcali consumido (% base reactivo) |
|-----------|-------------|--------------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------|------------------------------------|
| Basal | N.B 1 | 49,9 | 45,9 | 4,0 | 19,8 | 82,9 |
| Basal | N.B 2 | 53,5 | 48,3 | 5,3 | 19,2 | 82,9 |
| Basal | N.B 3 | 54,6 | 51,4 | 3,3 | 21,0 | 82,7 |
| Apical | N.A 1 | 53,4 | 45,6 | 7,9 | 21,7 | 83,5 |
| Apical | N.A 2 | 53,0 | 43,2 | 9,8 | 21,9 | 81,9 |
| Apical | N.A 3 | 53,9 | 47,9 | 6,0 | 21,5 | 85,1 |
| Suprimido | S1 | 55,7 | 47,7 | 8,0 | 20,2 | 81,6 |
| Suprimido | S2 | 55,1 | 47,1 | 8,0 | 20,0 | 87,1 |

Anexo 6
Análisis estadístico

Cuadro 10: Análisis de varianza para el índice de tracción.

| Fuente de Variación | Grados Libertad | Suma Cuadrados | Cuadrados medios | Valor F | P-Valor |
|---------------------|-----------------|----------------|------------------|---------|---------|
| Tratamiento | 2 | 5906,77 | 2953,39 | 16,69 | 0.000** |
| Error | 109 | 19283,9 | 176,92 | | |
| Total Corregido | 111 | 25190,7 | | | |

** : altamente significativo al 99% de confianza (P-Valor <0,01)

Cuadro 10: Comparaciones múltiples de Duncan y ranking de tratamientos

| Lugar | Tratamiento | Nº Obs. | Índice de tracción Promedio | Grupos* |
|-------|-------------|---------|-----------------------------|---------|
| 1 | Suprimido | 32 | 84,0 | a |
| 2 | Basal | 48 | 78,1 | a |
| 3 | Apical | 32 | 65,4 | b |

*Letras distintas significativo al 95% de confianza (P-valor<0,05)

Cuadro 12: Análisis de varianza para el índice de rasgado.

| Fuente de Variación | Grados Libertad | Suma Cuadrados | Cuadrados medios | Valor F | P-Valor |
|---------------------|-----------------|----------------|------------------|---------|---------|
| Tratamiento | 2 | 75,77 | 37,89 | 28,17 | 0.000** |
| Error | 109 | 146,61 | 1,35 | | |
| Total Corregido | 111 | 222,38 | | | |

** : altamente significativo al 99% de confianza (P-Valor <0,01)

Cuadro 13: Comparaciones múltiples de Duncan y ranking de tratamientos

| Lugar | Tratamiento | Nº Obs. | Índice de rasgado Promedio | Grupos* |
|-------|-------------|---------|----------------------------|---------|
| 1 | Basal | 48 | 16,5 | a |
| 2 | Suprimido | 32 | 15,8 | b |
| 3 | Apical | 32 | 14,5 | c |

*Letras distintas significativo al 95% de confianza (P-valor<0,05)

Cuadro 14: Análisis de varianza para el índice de explosión

| Fuente de Variación | Grados Libertad | Suma Cuadrados | Cuadrados medios | Valor F | P-Valor |
|---------------------|-----------------|----------------|------------------|---------|---------|
| Tratamiento | 2 | 38,06 | 19,03 | 39,17 | 0.000** |
| Error | 53 | 25,75 | 0,49 | | |
| Total Corregido | 55 | 63,81 | | | |

** : altamente significativo al 99% de confianza (P-Valor <0,01)

Cuadro 15: Comparaciones múltiples de Duncan y ranking de tratamientos

| Lugar | Tratamiento | Nº Obs. | Índice de explosión Promedio | Grupos* |
|-------|-------------|---------|------------------------------|---------|
| 1 | Suprimido | 16 | 6,4 | a |
| 2 | Basal | 24 | 6,2 | a |
| 3 | Apical | 16 | 4,5 | b |

*Letras distintas significativo al 95% de confianza (P-valor<0,05)

Cuadro 16: Análisis de varianza para el Arcoseno√RT% (rendimiento total)

| Fuente de Variación | Grados Libertad | Suma Cuadrados | Cuadrados medios | Valor F | P-Valor |
|---------------------|-----------------|----------------|------------------|---------|---------|
| Tratamiento | 2 | 0,00091 | 0,00046 | 1,75 | 0,265ns |
| Error | 5 | 0,00130 | 0,00026 | | |
| Total Corregido | 7 | 0,00221 | | | |

ns: no significativo al 95% de confianza (P-Valor >0,05)

Cuadro 17: Ranking de tratamientos

| Lugar | Tratamiento | Nº Obs. | Rendimiento total (%bms) Promedio |
|-------|-------------|---------|-----------------------------------|
| 1 | Suprimido | 2 | 55,41 |
| 2 | Apical | 3 | 53,43 |
| 3 | Basal | 3 | 52,69 |

Cuadro 18: Análisis de varianza para el Arcoseno√RT% (rendimiento clasificado)

| Fuente de Variación | Grados Libertad | Suma Cuadrados | Cuadrados medios | Valor F | P-Valor |
|---------------------|-----------------|----------------|------------------|---------|---------|
| Tratamiento | 2 | 0,00091 | 0,00046 | 1,75 | 0,265ns |
| Error | 5 | 0,00130 | 0,00026 | | |
| Total Corregido | 7 | 0,00221 | | | |

ns: no significativo al 95% de confianza (P-Valor >0,05)

Cuadro 19: Ranking de tratamientos

| Lugar | Tratamiento | Nº Obs. | Rendimiento total (%bms) Promedio |
|-------|-------------|---------|-----------------------------------|
| 1 | Suprimido | 2 | 55,41 |
| 2 | Apical | 3 | 53,43 |
| 3 | Basal | 3 | 52,69 |

Cuadro 20: Análisis de varianza para el Arcoseno√RT% (rechazo)

| Fuente de Variación | Grados Libertad | Suma Cuadrados | Cuadrados medios | Valor F | P-Valor |
|---------------------|-----------------|----------------|------------------|---------|---------|
| Tratamiento | 2 | 0,01201 | 0,00601 | 8,07 | 0,027* |
| Error | 5 | 0,00372 | 0,00074 | | |
| Total Corregido | 7 | 0,01573 | | | |

*: significativo al 95% de confianza (P-Valor <0,05)

Cuadro 21: Ranking de tratamientos

| Lugar | Tratamiento | Nº Obs. | Rendimiento rechazo (%bms) Promedio | Grupos* |
|-------|-------------|---------|-------------------------------------|---------|
| 1 | Suprimido | 2 | 8,00 | a |
| 2 | Apical | 3 | 7,88 | a |
| 3 | Basal | 3 | 4,17 | b |

*Letras distintas significativo al 95% de confianza (P-valor<0,05)

Cuadro 22: Análisis de varianza para el número Kappa

| Fuente de Variación | Grados Libertad | Suma Cuadrados | Cuadrados medios | Valor F | P-Valor |
|---------------------|-----------------|----------------|------------------|---------|---------|
| Tratamiento | 2 | 5,10 | 2,55 | 7,51 | 0,031* |
| Error | 5 | 1,70 | 0,34 | | |
| Total Corregido | 7 | 6,80 | | | |

*: significativo al 95% de confianza (P-Valor <0,05)

Cuadro 23: Ranking de tratamientos

| Lugar | Tratamiento | Nº Obs. | Indice Kappa Promedio | Grupos* |
|-------|-------------|---------|-----------------------|---------|
| 1 | Apical | 3 | 21,69 | a |
| 2 | Suprimido | 2 | 20,09 | b |
| 3 | Basal | 3 | 20,01 | b |

*Letras distintas significativo al 95% de confianza (P-valor<0,05)

Cuadro 24: Análisis de varianza para el Arcoseno√RT% (álcali consumido % (base reactivo))

| Fuente de Variación | Grados Libertad | Suma Cuadrados | Cuadrados medios | Valor F | P-Valor |
|---------------------|-----------------|----------------|------------------|---------|---------|
| Tratamiento | 2 | 0,00060 | 0,00030 | 0,38 | 0,70ns |
| Error | 5 | 0,00387 | 0,00078 | | |
| Total Corregido | 7 | 0,00447 | | | |

ns: no significativo al 95% de confianza (P-Valor >0,05)