



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

**“Efecto del almacenamiento prolongado en la madera de
Pinus radiata D.Don sobre el proceso kraft”.**

Patrocinante: Sra. Silvana Mariani A.

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

JORGE ANSELMO TOLEDO SANTIBAÑEZ

VALDIVIA
2005

CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

| | | Nota |
|---------------|------------------------------|-------------|
| Patrocinante: | Sra. Silvana Mariani Álvarez | 6.7 |
| Informante: | Sr. Alfredo Aguilera León | 5.5 |
| Informante: | Sr. Marco Torres Uribe | 6.0 |

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 Álvarez

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Sra. Silvana Mariani por su gran apoyo, consejos y colaboración en la realización de este trabajo.

Agradezco también el apoyo de Sr. Marcos Torres, por su apoyo en el trabajo de laboratorio, colaboración y consejos recibidos en la realización de este trabajo.

Agradecimientos al Sr. Alfredo Aguilera, por sus valiosos consejos y aportes para realizar este trabajo.

Agradecer también a Sr. Mauricio Keppeller, por su gran amabilidad y buena disposición, de facilitar la madera, ya sin ellas este trabajo no hubiera sido posible.

Un agradecimiento a Don Eduardo Morales, por su importante apoyo en la parte estadística de este trabajo.

Agradecer al personal docente y no docente del Instituto de Tecnología de Productos Forestales por su colaboración en la realización de este trabajo.

Agradecer a todas las personas que de una u otra manera me colaboraron y apoyaron para elaborar este trabajo.

Dedicado a mis abuelos, padres, hermanos y sobrinas, por todo su apoyo y ánimo durante estos años de estudio. Y a Nancy por su gran colaboración y aportes a este trabajo. Gracias a todos.

ÍNDICE DE MATERIAS

| | Página |
|---|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 6 |
| 2. MARCO TEÓRICO | 8 |
| 2.1 Materia prima: <i>Pinus radiata</i> D.Don | 8 |
| 2.2 Preparación de la materia prima | 8 |
| 2.3 Microorganismos presentes en el almacenamiento. | 9 |
| 2.3.1 Bacterias | 9 |
| 2.3.2 Antecedentes generales de los hongos | 9 |
| 2.3.3 Características de los hongos pudrición | 11 |
| 2.3.4 Características de los hongos manchadores | 13 |
| 2.3.5 Efecto de los microorganismos en la madera | 14 |
| 2.4 Composición Química | 14 |
| 2.4.1 Efecto del almacenamiento sobre la composición química | 15 |
| 2.5 Proceso kraft | 15 |
| 2.5.1 Efecto del almacenamiento en el proceso kraft | 11 |
| 3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN | 17 |
| 3.1 Materiales | 17 |
| 3.1.1 Madera | 17 |
| 3.1.2 Normas y Equipos | 18 |
| 3.2 Método | 20 |
| 3.2.1 Determinación de propiedades en la madera | 20 |
| 3.2.2 Obtención de la pulpa | 20 |
| 3.3 Diseño Experimental | 20 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 21 |
| 4.1 Resultados para determinación de densidad básica | 21 |
| 4.2 Resultados para análisis químicos de la madera | 22 |
| 4.2.1 Extraíbles de la madera | 22 |
| 4.2.2 Celulosa en la madera | 24 |
| 4.2.3 Lignina en la madera | 25 |
| 4.3 Resultados para el pulpaje kraft | 26 |
| 4.3.1 Rendimiento clasificado | 26 |
| 4.3.2 Rechazo | 28 |
| 4.3.3 Índice Kappa | 28 |
| 4.3.4 Consumo de reactivos | 29 |
| 4.3.5 Alkali activo residual | 30 |
| 4.4 Resultados para propiedades de resistencia de la pulpa | 30 |
| 4.4.1 Densidad aparente | 30 |
| 4.4.2 Índices de tracción, explosión y rasgado | 31 |
| 5. CONCLUSIONES | 35 |
| 6. BIBLIOGRAFÍA | 37 |

RESUMEN EJECUTIVO

En las zonas de la décima Región de Chile las condiciones ambientales de pluviometría alcanzan en promedio precipitaciones de 2500 mm anuales, entre los meses entre abril y octubre, lo que impide las faenas de cosecha de bosques por problemas de acceso, debiendo realizarse éstas en períodos de primavera-verano y almacenar por tiempos prolongados la madera en canchas de acopio, asegurando el suministro continuo de madera a las plantas de celulosa, provocando esto la degradación de la madera producida en gran parte por hongos de pudrición.

De ahí que surge el interés por estudiar como afecta el almacenamiento de las trozas en canchas de la Décima Región a la madera de *Pinus radiata* D. Don, para esto se utilizan maderas con distintos períodos de almacenamiento con periodos de 5, 10 y 20 meses, y madera fresca como testigo. Se aplicaron ensayos para determinar composición química (solubles en etanol-tolueno, extraíbles totales, contenido de celulosa y lignina), resultados del pulpaje (rendimiento clasificado, rechazo, índice Kappa) y propiedades físico-mecánicas de la pulpa (índices de tracción, rasgado y explosión).

Los resultados obtenidos indican una pérdida significativa de celulosa a los 20 meses de almacenamiento de un 5,3% respecto del testigo. Para la lignina se obtiene un aumento altamente significativo con el incremento del tiempo de almacenamiento (10,9%), los solubles disminuyen significativamente con el aumento del tiempo de almacenamiento y los extraíbles totales no presentan una tendencia clara en este estudio. En el pulpaje la respuesta fue una disminución en los rendimientos clasificados entre 4,6 y 7,4% respecto de la madera fresca, el rechazo no reportó diferencias significativas y el índice Kappa presentó diferencias significativas disminuyendo la deslignificación con el aumento del tiempo de almacenamiento. Los índices de tracción y explosión aumentaron significativamente, y para el índice de rasgado disminuyó significativamente con el tiempo de almacenamiento.

En las composiciones físico-químicas y los pulpajes correspondientes a tiempos de almacenamiento de 5 y 10 meses no se presentan diferencias importantes.

Los resultados indican que no es recomendable almacenar la madera de *Pinus radiata* en la provincia de Valdivia (X Región) en canchas sin protección por más de 10 meses, ya que el ataque de microorganismos es significativo después de este tiempo, afectando la composición química de la madera lo que afecta directamente los rendimientos de los pulpajes y también los resultados en las propiedades físico-mecánicas de las pulpas obtenidas.

Palabras claves: Tiempo de almacenamiento, hongos de pudrición, *Pinus radiata* D.Don.

1. INTRODUCCION

La Industria de la celulosa y papel es de gran importancia en la economía del país, y corresponde a los mayores volúmenes de exportaciones del rubro forestal (20.110,7 miles ton. métricas) correspondiendo a un 34% de los envíos, lo que se traduce en términos monetarios a US\$ FOB 881.9 (millones de dólares) en divisas para el país, según el boletín INFOR 2002-2003, situación que se ha visto favorecida por los tratados de libre comercio (TLC) que nuestro país ha firmado recientemente con otras naciones del mundo, permitiendo por medio de estos acuerdos, la rebaja de aranceles en su comercialización, estimulando la producción de la industria nacional, y por otro lado aumentando su consumo por parte de los países que han suscrito estos acuerdos.

En el país existen dos empresas que están involucradas en la industria de la celulosa química kraft: ARAUCO Y CONSTITUCIÓN S.A. y CMPC S.A., con plantas distribuidas entre la VI y X Región, produciendo en total 25.039 miles de toneladas al año de pulpa química kraft. De las 11 plantas de celulosa existentes en Chile, 10 de ellas utilizan principalmente *Pinus radiata* en sus procesos productivos, y 2 utilizan *Eucalyptus*.

Nuestro país se ve beneficiado por sus ventajas comparativas respecto a otros países productores de pulpa, en lo que respecta a un mayor incremento de la tasa anual del *Pinus radiata* D.Don. lo cual corresponde entre 20-24 m³ / há / año, superior incluso a los que presenta en sitios originarios de la especie, como en México donde es de 15 m³ / há / año . Además nuestro país posee una importante superficie de plantaciones, de *Pinus radiata* y *Eucalyptus* habiendo llegado para el 2003 a 1.513.801 há. Lo anterior beneficia a los productores de pulpa, asegurando el abastecimiento y disponibilidad de materia prima.

El *Pinus radiata* D. Don se distribuye entre la VI y X Regiones principalmente, pero en la zona sur de nuestro país caracterizado por sus marcadas deferencias estacionales, la temporada de lluvias inhabilita caminos forestales y accesos a las plantaciones, por lo que la mayor parte de las faenas de cosecha deben realizarse durante el periodo seco (primavera-verano) y mantener la cosecha almacenada para el abastecimiento continuo a las plantas de pulpa kraft.

Sin embargo, diversos factores externos del árbol pueden causar degradación de la apariencia, estructura física y composición química de la madera, la cual puede comprender desde una simple decoloración hasta convertirla en un producto sin utilidad futura. Entre estos factores esta el ataque causado por microorganismos, fundamentalmente, la presencia de hongos degradadores y manchadores de la madera durante su almacenamiento.

La calidad de la pulpa es fuertemente influenciada por las características de la materia prima en lo que respecta a densidad y características fitosanitarias, un buen control de estas variables asegura obtener un buen producto y altos rendimientos. Tanto la densidad como la calidad fitosanitaria de la madera, se ven afectadas por el

almacenamiento que se le da durante el acopio y de las condiciones ambientales durante el almacenamiento, lo anterior provoca el deterioro biológico por degradación de los compuestos de alto peso molecular que son alterados por hongos tanto manchadores como xilófagos. Producto de lo anterior, las trozas sufren una disminución en la densidad, la que se refleja en el pulpaje kraft por reducción del rendimiento de la pulpa y baja en las propiedades de resistencia.

Hipótesis.

La hipótesis de este trabajo será basada en que: “a mayor tiempo de almacenamiento de *Pinus radiata* D.Don., existirá un mayor daño a la madera, lo que trae como consecuencias manchas y degradación de la madera, provocando alteraciones en las propiedades químicas y físicas de ésta, la generación de pérdidas por bajos rendimientos en el pulpaje kraft y menores resistencias físico-mecánicas de la pulpa”.

OBJETIVOS.

Objetivo general:

- Cuantificar la influencia del almacenamiento prolongado en trozas de *Pinus radiata* D.Don, sobre las propiedades físicas y químicas de la madera, el proceso de obtención de pulpa (rendimientos) y las propiedades físico-mecánicas de la pulpa kraft cruda.

Objetivos específicos:

Estos serán cuantificar y correlacionar el efecto del tiempo de almacenamiento de la madera de *Pinus radiata* D.Don. sobre:

- La densidad básica de ésta.
- Las propiedades químicas, cuantificación de: extraíbles, celulosa y lignina.
- El rendimiento clasificado en la obtención de pulpa por medio del proceso kraft.
- Las propiedades físicas y de resistencia de la pulpa kraft cruda, prestando más atención a los resultados de ensayos de índice de rasgado e índice de tensión.

2. MARCO TEORICO

La calidad y el rendimiento de la pulpa depende en gran medida de las características de materia prima, principalmente, su estado sanitario. El estado sanitario que esta tenga al momento de su utilización va a depender, básicamente, de las condiciones en las que estuvo almacenada para su posterior uso.

2.1 Antecedentes generales materia Prima: *Pinus radiata* D. Don

Una de las especies utilizadas en Chile para la producción de celulosa es *Pinus radiata*, madera de fibra larga, además de los *Eucalyptus globulus* y *nitens*, correspondiendo en plantación a la especie *Pinus radiata* 1.809,3 há de las 2.037,5 há totales de superficies de plantaciones que hay en Chile encontrándose ubicadas entre la VI y X Regiones.

2.2 Preparación de la materia prima

La preparación de la madera consiste en una serie de operaciones que la transforman en una forma adecuada (astillas homogéneas en tamaño, limpias) para las operaciones de pulpaje subsiguientes (Smook, 1998). Entre estas operaciones está el almacenamiento en canchas que cumplen con mantener un nivel de inventario permanente, que permite el funcionamiento continuo de la planta, para lograr esto, existen tres formas de almacenar la materia prima:

- Almacenar en el mismo bosque; en donde la madera no se descorteza, para evitar el ataque agresivo de microorganismos.
- Almacenar en planta; lo que se realiza en un área determinada "patio de madera", llegando a este lugar de varias formas: madera corta (trozos), madera larga (troncos), largo variable, en lo que se refiere a dimensiones, por otro lado también se reciben con o sin corteza. Por lo general, el patio de madera, se mantiene bajo riego para proteger a la madera de ataques por parte microorganismos.
- Almacenar en forma de pila de astillas; es la forma más utilizada por la industria, donde el inconveniente es que un largo periodo de almacenaje lleva a una biodegradación por hongos, bacterias y reacciones exotérmicas producidas por la respiración de los microorganismos, que provocan aumento de temperatura de la pila, lo que llega a destruir la madera por acción pirolítica, lo cual sumado a la degradación, genera pulpas de baja calidad y menores rendimientos*. A lo anterior se suma lo descrito por Smook (1998), quien ha reportado una significativa pérdida de madera a causa de la respiración, reacciones químicas y actividad de los microorganismos. Se reconoce que las pérdidas de madera por esta forma de almacenaje son de 1% al mes.

* Mariani, S. 2002 Instituto de Tecnología de Productos Forestales UACH Apuntes de clase.

Por lo tanto, debido a lo anterior se han realizado numerosas investigaciones para encontrar un tratamiento para preservar las astillas, sin lograr obtener un método que sea efectivo desde un punto de vista económico y ambiental.

Según la forma que se elija para almacenar, el tiempo y el lugar de éste, la materia prima tendrá un daño en menor o mayor grado.

2.3 Microorganismos presentes en el almacenamiento

Los microorganismos que atacan la madera durante su almacenamiento corresponden a bacterias, mohos y hongos que intervienen en la decoloración y pudrición de la madera. (Casey, 1990)

Los microorganismos atacan la madera porque esta constituye su fuente de alimentación ó una vía para conseguir éste; aquello va a depender de factores que les permitan su permanencia (Vaca de Fuentes, 1998), tales como:

- Fuente de alimentación (sustrato)
- Humedad adecuada
- Fuente de oxígeno
- Temperatura
- pH adecuado.

2.3.1 Bacterias

Respecto a las bacterias, se puede decir que son organismos unicelulares, no contienen clorofila, crecen en los mismos ambientes que los hongos y son organismos más simples que estos desde un punto de vista biológico. (Casey, 1990)

No presentan una gran importancia patológica para la madera, frecuentemente aparecen asociadas a la madera húmeda y a hongos de tipo cromógenos. Estas degradan la celulosa y hemicelulosas, presentándose principalmente, en la zona de los radios leñosos de la madera. Además, se cree que su presencia en ésta facilita la posterior propagación de hongos cromógenos (Rodríguez, 1998).

2.3.2 Antecedentes generales de los hongos

Los hongos son vegetales primitivos que pertenecen al grupo de las talofitas, son carentes de clorofila lo que les obliga a vivir en este caso puntual de forma parásita de la madera (Rodríguez 1998). Estos hongos pueden ser: pudridores o manchadores de la madera.

El avance de la degradación de la madera en las distintas estaciones del año, se ve influenciada por las distintas exigencias de temperatura de los hongos. Éstos se desarrollan más durante los meses estivales calidos y húmedos, ya que en el

invierno, su desarrollo se ve impedido ó retrazado, producto de las bajas temperaturas presentes. (Kollman, 1959)

Se reproducen mediante esporas, las que una vez germinadas genera las hifas, formando el micelio, siendo este el elemento que penetra y permanece en la madera. El micelio da lugar posteriormente al cuerpo fructífero de los hongos, cuando el daño es sobre la madera (Vaca de Fuentes, 1998). Además, también puede estar la presencia de las hifas al interior de la madera, dando origen al micelio intramatricial, donde las hifas de este micelio pasan por las células de la madera, a través de las punteaduras areoladas, perforando las paredes celulares por la acción de las enzimas que éstos secretan. (Kollman, 1959)

Se pueden clasificar en los siguientes grupos:

- Hongos mancha y moho (Ascomycetes y Fungi Imperfecti)
- Hongos pudrición (Basidiomycetes)
- Hongos pudrición blanda (Ascomycetes y Fungi Imperfecti)

Los ataques que realizan los hongos sobre el *Pinus radiata* D. Don, son por medio de reacciones de tipo enzimático, estos tienen la capacidad de secretar enzimas especializadas a través de estructuras conocidas como hifas, las cuales degradan la materia orgánica, modificándola químicamente, para así ser utilizadas como fuente de carbono y alimento, ocasionando la degradación de polisacáridos y lignina*.

Antes de que el hongo pueda colonizar la madera, requiere de cuatro condiciones:

1. Suministro de oxígeno.
2. Temperatura adecuada.
3. Suministro de humedad adecuada.
4. Sustrato como fuente de alimento.

La eliminación de algunos de estos requerimientos puede prevenir el ataque a la madera, siendo el más usado el riego por aspersión, mediante el cual se satura la madera, impidiendo la presencia de oxígeno.

La gravedad del daño que provoquen estos hongos degradadores de la madera, va a depender de ciertos factores (Rodríguez, 1998), siendo los de mayor importancia:

- ❖ Especie de madera: la madera de mayor densidad presenta más resistencia al ataque de hongos, mientras que las de mayor permeabilidad a los líquidos suelen ser más susceptibles.
- ❖ Humedad de la madera: condición indispensable para una eficaz realización de los procesos enzimáticos. La humedad mínima es de 18-20%, siendo lo

* Juacida R. 2004 Instituto de Tecnología de Productos Forestales UACH Apuntes de clase.

óptimo entre el 25 y 55%. Sin embargo, un exceso de humedad en la madera les quita el oxígeno necesario para su desarrollo.

- ❖ Albura o duramen: la madera de albura suele ser más susceptible de ser atacada que la del duramen.
- ❖ Temperatura ambiente: esta tiene que estar entre un mínimo de de 3-5° C, considerándose óptimo el intervalo entre 18 y 28° C, mientras que en las temperaturas superiores a los 30-40° C suelen morir los micelios. Distinto es el caso de las esporas, las cuales generalmente, pueden soportar hasta 100° C.

La relación que se da entre, el desarrollo de los hongos, la temperatura y humedad fue graficada por Vignote y Jiménez (2000) , donde se ve que la temperatura de desarrollo son los 37° C y la humedad de la madera 70%, siendo estos valores los óptimos para el desarrollo de esos microorganismos, como se observa en la figura 1.

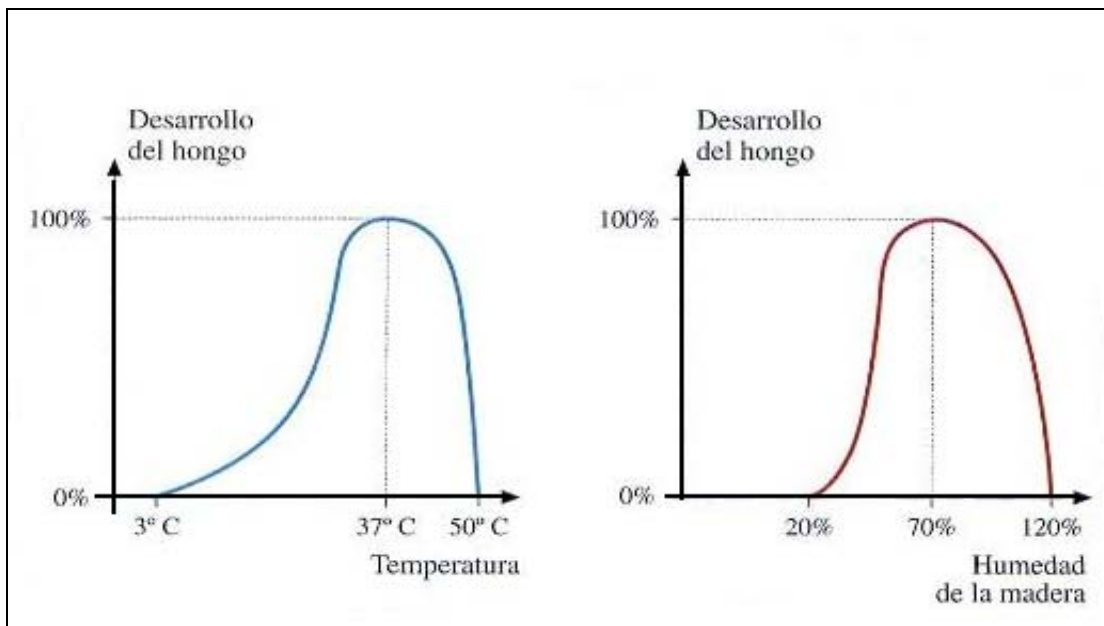


Figura 1: Condiciones para el desarrollo de los hongos

El ataque de microorganismos tiene una sucesión o secuencia que ha sido determinada en estudios hechos con *Pinus radiata* en Nueva Zelanda, esta se caracterizaría por la siguiente forma de ataque, primero actúan los mohos y hongos cromógenos, para posteriormente, actuar los hongos de pudrición, degradando así la madera. (Butcher, 1968)

2.3.3 Características de los hongos pudrición

Los hongos pudridores se pueden dividir en dos grupos: los de pudrición blanca y pudrición café, según la coloración que genere el ataque a la madera. Provocan el deterioro de la madera al alimentarse de los componentes de la pared celular. (Wendt, 1983; Rodríguez, 1998). La pudrición café consume celulosa, sin atacar la lignina, sus enzimas cortan las cadenas de los polisacáridos, haciendo que el grado

de polimerización de la celulosa disminuya, reduciéndolo rápidamente. Al microscopio su ataque se ve caracterizado por la perforación de agujeros, que atraviesan la fibra de lado a lado, sin que se note un adelgazamiento de las paredes de la célula. (Wendt, 1983)

La pudrición blanca ataca tanto a la lignina como a la celulosa, en la misma proporción, y sus enzimas remueven los extremos de las cadenas de los carbohidratos con lo que el grado de polimerización se reduce lentamente. Al mirar la fibra atacada al microscopio, el ataque de esta pudrición se caracteriza por un progresivo adelgazamiento del espesor de la pared de la fibra atacada, desde el lumen hacia afuera. (Wendt, 1983)

Análisis microscópicos de la madera dañada, han encontrado hongos de la clase Basidiomycetes tales como: *Peniphora gigantea*, *Trametes versicolor*, *Panellus mitis*, *Schizophyllum*, *Coniophora puteana*, que son los que producen la “pudrición blanca” en la que degradan la lignina. Estos aparecen, según los estudios efectuados, a partir de las 14 semanas en adelante a través de sucesiones que llegan hasta los 13 meses de almacenamiento de la madera en trozas, ocasionado pérdidas de masa entre 5 a 14% respecto a la madera sana, ésta reducción del material reduce los rendimientos e incrementa la cantidad de finos durante el proceso kraft (Peredo y Alonso *et al.*, 1988; Peredo e Inzunza, 1985; Butcher, 1968).

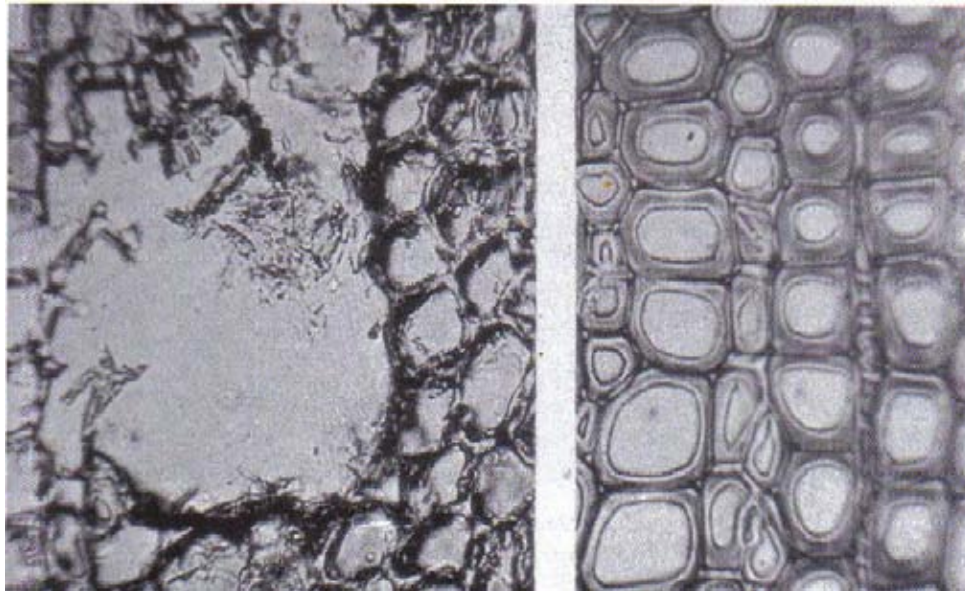


Figura 2: Daños provocados por el hongo de pudrición *Coniophora puteana* Karst. En madera de *Pinus sylvestris*.

Por lo tanto, estos hongos de pudrición blanca y café son los que, eventualmente, pudieran causar el mayor daño o deterioro a la madera, por la degradación que le dan a la celulosa en forma rápida, alterando de este modo las propiedades y características de la madera.

La pudrición blanda producida por hongos de este tipo, es también una importante causa del deterioro de la madera. Estos hongos atacan la madera dejándola blanda y esponjosa comenzando este ataque por la superficie de la madera, siendo invadida hacia el interior. Las hifas crecen en la pared secundaria de las células en forma longitudinal, y formando cavidades romboidales. Atacan primero los constituyentes celulósicos de la pared de la fibra, mientras que la lignina no sufre mayores ataques (Wendt, 1983). Si el ataque es de gran intensidad la pared secundaria puede quedar totalmente destrozada y suelta de la pared terciaria que también puede presentar daños. En casos menos frecuentes se originan erosiones en la pared celular de origen enzimático, desde el lumen a la lámina media. (Rodríguez, 1998).

También esta la posibilidad de que bajo ciertas condiciones, tales como, período de exposición prolongada o condiciones favorables, ciertos tipos de hongos manchadores y mohos pueden producir pudrición blanda. (Rodríguez, 1998).

2.3.4 Características de los hongos manchadores

El otro tipo de ataque biológico es provocado por los hongos manchadores, y como su nombre lo indica, manchan la madera otorgándole un color que puede ir de un color azul a un azul pardo. Su ataque se concentra primero en los rayos y otros tejidos parénquimáticos, en los cuales se alimenta de las reservas alimenticias que tiene el árbol, tales como, almidones y grasas, extendiéndose después al resto de los tejidos (Wendt, 1983).

Por su parte, los mohos causan manchas superficiales en la madera, debido a las esporas y micelios que poseen estos organismos. Los hongos manchadores o cromógenos no afectan a la estructura de la pared celular, ni atacan a polisacáridos, por esto mismo, no alteran las propiedades de la madera. (Rodríguez, 1998).

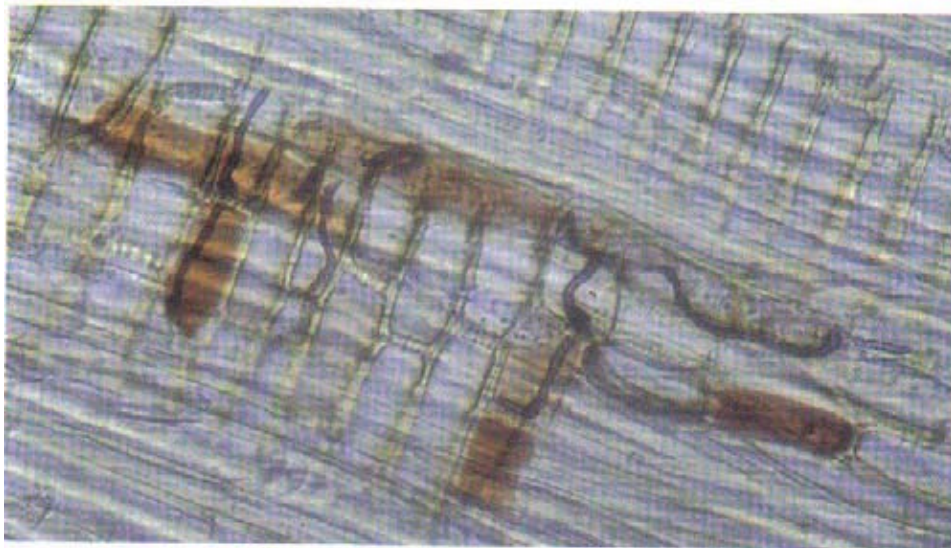


Figura 3: Hifas del hongo cromógeno *Cerastomella piceae* Munich,

Las cepas de estos hongos encontrados para *Pinus radiata* son *Graphium*, *C. pilifera*, *S. sapinea*, *Poma sp.* Algunos de estos hongos desmetilan la lignina formando estructuras catecólicas, que a su vez se oxidan a compuestos coloreados, como son las quinonas, tomando la madera coloraciones que van desde el pardo el azul e incluso rojo, lo que produce que la pulpa kraft obtenida tenga una baja blancura y utilice mayor consumo de reactivos para alcanzar altas blancuras. (Butcher ,1968; Aguilar y Osorio, 1986).

2.3.5 Efecto de los microorganismos en la madera

La magnitud del efecto del deterioro por parte de los hongos que atacan la madera en el almacenamiento, depende mucho del tiempo que la materia prima estuvo almacenada y expuesta al ataque de los hongos. A estas afirmaciones han llegado quienes han realizado estudios sobre este tema en distintos años y lugares geográficos. A mayor el tiempo, más daño se observa en la madera producto de la presencia de hongos, los cuales provocan una pérdida de la densidad como lo comprobaron Peredo e Inzunza (1985) quienes encontraron que para *Pinus radiata* almacenado al aire libre durante 9 meses, se produjo una reducción de un 9% en la densidad y se disminuyo en forma notable las propiedades físico-mecánicas.

Wendt (1983), concluye que la madera deteriorada da una calidad de astillas inferior, es decir, al procesar la madera se obtiene una menor cantidad de astillas aceptadas y una mayor cantidad de sobre tamaño y finos. Esto con la excepción de que la calidad es similar a la sana cuando el ataque es incipiente, lo que se ve reflejado en rendimientos equivalentes.

Además, Casey (1990), señala que se producen pérdidas importantes en los rendimientos de los subproductos valiosos durante la producción de pulpa kraft, tales como el tall oil y la trementina.

Para evitar el deterioro por parte de los hongos contra la madera almacenada en exteriores, se han sugerido tratamientos químicos, sin embargo, tales tratamientos no han sido rentables por lo que no se han adoptado industrialmente. (Schmidt, 1990).

Wendt (1983) trabajando con trozas de *Pinus radiata* almacenados por 6 meses en período de invierno en la zona de la VIII Región comprueba que el efecto del almacenamiento es muy pequeño, si es que existe, en las propiedades de la pulpa. También menciona que el deterioro depende del lugar de almacenamiento en el bosque que tengan las trozas.

2.4 Composición Química

Al mantener la madera almacenada por un tiempo prolongado, se producen cambios químicos en su composición producto de este almacenamiento, lo que se advierte en estudios realizados por Zárate y Torres (1985), que muestran mediante, análisis químicos, que la composición es distinta para la madera sana y dañada, donde se ve

que para está última se registra un aumento para la solubilidad en etanol-tolueno, soda y agua caliente, producto de la degradación que ha tenido la madera durante el almacenamiento. Además, presenta un contenido de lignina ligeramente más alto que la madera sana.

Sin embargo, Wendt (1983) presenta en sus resultados que la comparación de las composiciones químicas entre la madera sana y dañada con poco tiempo almacenada, no presentan variaciones significativas entre éstas, sólo registra variaciones que están dentro de los rangos normales para la holocelulosa, celulosa y pentosanos, lo que no muestra el efecto de los diferentes tiempos de almacenamiento. Estos datos presentan un comportamiento oscilante, lo que se puede explicar por los distintos orígenes de las trozas en lo que se refiere al terreno del que fueron obtenidas y las diferencias naturales entre los árboles.

Resumiendo, Wendt (1983) concluye que en este caso particular, el estudiar la composición química de la madera es un método poco sensible para detectar ataques incipientes y/o moderados de hongos, en relación al tiempo de almacenamiento.

2.4.1 Efecto del almacenamiento sobre la composición química

Se aprecia que a medida que transcurre el tiempo de permanencia de los hongos en la madera se presentan incrementos de solubles en etanol-tolueno (27%), soda 1% (11%), y en agua caliente (21%) lo que muestra un daño sobre la madera, resultados que obtuvieron Zarate y Torres (1985) en su estudio. Se detecta también un ligero aumento en el porcentaje de lignina.

Por su parte Wendt (1983) obtiene datos que muestran un comportamiento oscilante durante la ejecución de su estudio, estando estos dentro de sus respectivos órdenes de magnitud, siendo esto explicado por la diferencia de orígenes que habría tenido sus muestras para realizar estas investigaciones. Los resultados le indican que el contenido de celulosa y lignina, no varió en forma estadísticamente significativa. Por el lado de los solubles éstos muestran un aumento en la solubilidad en soda, agua caliente y etanol benceno, a medida que la madera esta más dañada, situación similar que obtuvieron los autores antes mencionados.

2.5 Proceso kraft

El proceso kraft o al sulfato (método alcalino) es un proceso químico de obtención de pulpa, en los cuales los agentes activos son el hidróxido de sodio (NaOH) y el sulfuro de sodio (Na₂S). Su nombre kraft deriva del idioma alemán y sueco, significa “fuerte”, ya que la pulpa que se obtiene es muy resistente, particularmente cuando la cocción termina manteniendo un alto contenido de lignina en la pulpa, (Casey, 1990; Sanjuán, 1997).

Este proceso presenta varias ventajas, respecto a otros procesos de obtención de pulpa, lo que ha permitido que tenga un rápido crecimiento a nivel mundial a contar

de 1930 en adelante, y que actualmente la producción de pulpa a nivel mundial alcanzara cerca de 208 millones de toneladas en el 2002, de los cuales 68 millones de toneladas fueron comercializadas vía exportaciones y el resto fueron consumidas internamente en las fabricas de papeles de los mismos productores, Casey (1990).

Las astillas obtenidas de las trozas, se someten al tratamiento químico, que consiste en la impregnación de las astillas con el reactivo químico más temperatura (cocción), siguiendo la reacción con el material ligno-celulósico, para producir la individualización de las fibras.

2.5.1 Efecto del almacenamiento en respuestas del proceso kraft.

El efecto de reducción de densidad que producen los hongos producto del prolongado almacenamiento, es también sobre la elaboración de pulpa kraft, donde los rendimientos que se logran con madera sana de *Pinus radiata* promedian los 46%, en comparación con madera dañada por almacenamiento prolongado en canchas de la VIII Región, que presenta un aumento en rendimiento clasificado, de un 48% (Zárate y Torres, 1985). Mientras que Wendt (1983) encontró que para una madera almacenada durante 9 meses se produjo una reducción de del rendimiento clasificado de un 6%. De ahí la importancia del estado fitosanitario de la madera.

Zárate y Torres (1985) observan que la madera dañada presenta mayores rechazos (17%), manteniendo el rendimiento total de pulpa, menores deslignificaciones (11%) y menores viscosidades de pulpa (38%), menor factor de rasgado, mientras que no se aprecian diferencias importantes en el largo de ruptura y explosión, al compararlos con valores de pulpas elaboradas con madera sana, como lo muestra también Wendt (1983).

La madera dañada provoca un aumento en los costos de operación en la producción de pulpa kraft, producto del deterioro de la madera provocado por los hongos, como por ejemplo, el consumo de reactivos químicos (agentes oxidantes) para blanquear. Wendt (1983), la carga de reactivos de blanqueo es consumido por las hifas de los hongos, no blanqueando totalmente todas las hifas, ya que se detectan algunas manchas después de haber aplicado la etapa del blanqueo, generando más gastos en estos reactivos químicos para el blanqueo, por mencionar el costo de un insumo. Asimismo, el tiempo prolongado de almacenamiento deteriora las características de la pulpa y el almacenamiento de la madera a causa de la variabilidad en las propiedades de la pulpa. (Schmidt, 1990).

En las propiedades físico-mecánicas de las pulpas kraft (Zárate y Torres, 1985) han reportado, disminución en la densidad de las hojas y el factor de rasgado en la madera dañada respecto a la sana, para el factor de explosión y longitud de ruptura se encontró un leve aumento para la madera dañada. Wendt (1983) presenta un aumento apreciable para factor de rasgado, explosión y longitud de ruptura en el noveno mes de almacenamiento.

3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1 Materiales

3.1.1 Madera

La madera utilizada para el presente trabajo consiste en trozas de *Pinus radiata* D.Don. mantenidas en canchas de la provincia de Valdivia, ubicadas en los sectores de Collico y Los Lagos, pertenecientes a Forestal Valdivia mantenidas por tiempos de almacenamiento de 5 meses, 10 meses, 20 meses de permanencia en cancha, sin ningún tipo de tratamiento durante este tiempo, provenientes de bosques de la X Región de Chile,

Las condiciones ambientales de temperatura y pluviométrica, bajo las cuales estuvo la madera durante el almacenamiento se presentan en la figura (Figura 7)*, obteniéndose en promedio precipitaciones de 2500 mm anuales.

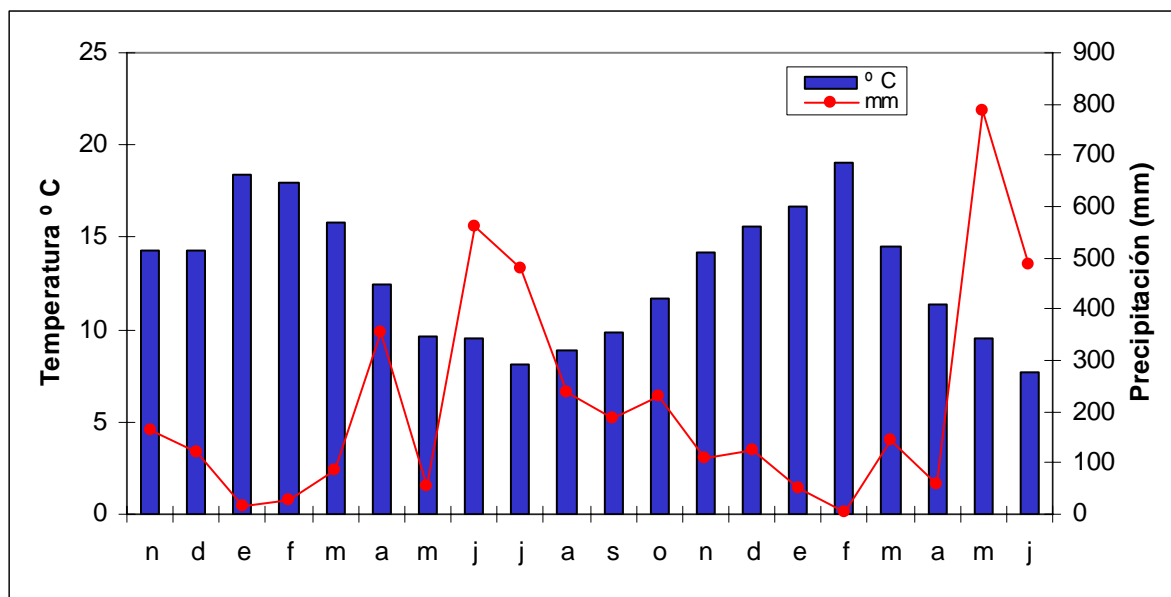


Figura 4: Grafico con las temperaturas y lluvias de los años 2003-2004-2005 de la Provincia de Valdivia

Como testigo se utilizo madera fresca o recién cortada de la misma especie para realizar la confección de este estudio.

La toma de muestras se realiza en terreno, ejecutando la corta de las trozas en rodela como se muestra en la figura 4.

* Datos facilitados por el Instituto de Geociencias, UACH.

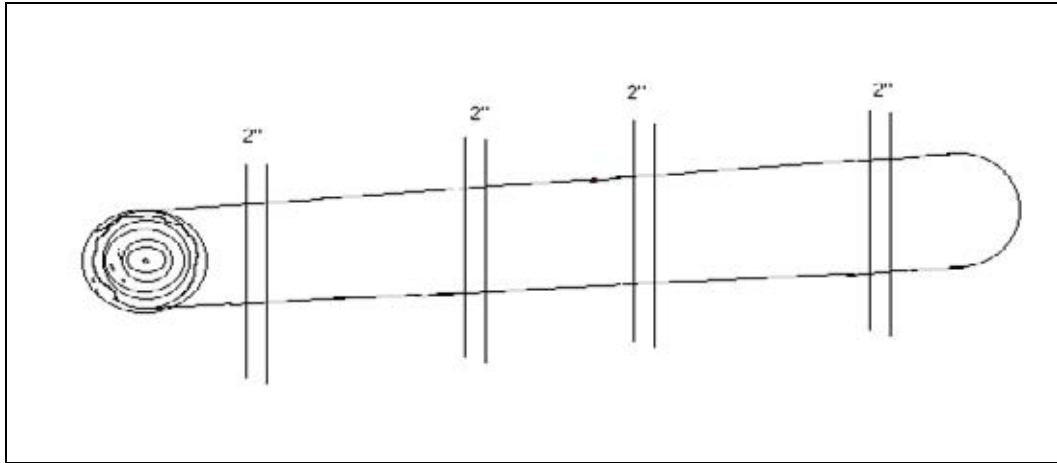


Figura 5: Cortes de las trozas para obtener rodela

Las rodela usadas para este estudio fueron las que se muestran en figura 5, que van de la madera fresca, siguiendo a la madera de 5 meses, 10 meses y finalmente 20 meses de almacenamiento.



Figura 6: Rodelas utilizadas en este estudio.

3.1.2 Normas y Equipos

Las Normas que se utilizarían para la medición de los diferentes análisis considerados para este trabajo, se indican en el cuadro 1.

| Análisis | Norma |
|----------------------------|---------------------------|
| Densidad | Tappi T258 om-94 |
| Solubles Etanol-Tolueno | Tappi T204 om-88 |
| Extraíbles Totales | Tappi T264 om-97 |
| Lignina | Tappi T222 om-88 |
| Celulosa | Metodo Kurschner y Hoffer |
| Consistencia | Tappi T240 om-93 |
| Nº de Kappa | Tappi T236 om-94 |
| % de Sólidos | Tappi T650 om-99 |
| Densidad aparente | Tappi 220 om-88 |
| Resistencia a la Tracción | Tappi T 404-om-87 |
| Resistencia a la Explosión | Tappi 403 om-85 |
| Resistencia al Rasgado | Tappi 414 om-88 |

Cuadro 1: Normas utilizadas para la medición de propiedades.

Las cocciones se realizarán en digestor M/K System con recirculación de lejía cuya capacidad es de 6,7 litros.

Para disgregar las astillas procedentes del pulpaje kraft, se someten a la acción de los desintegradores General Electric y para obtener la pulpa clasificada y rechazo se utilizarán clasificadores vibratorios planos de fibras Allis-Chalmers. Para las mediciones de consistencia se utiliza un agitador de pulpa Lightnin cuya velocidad de giro es de 2.850 r/min.

Formador de hojas Tappi y sala climatizada a 50%HR y 23°C según norma Tappi T402-om-88

3.2 Método

3.2.1 Determinación de propiedades en la madera

A las maderas con distintos tiempos de almacenamiento se les sometió a análisis de densidad básica, contenido de extraíbles, celulosa y lignina, todo lo anterior servirá como base para dar las explicaciones fundadas de las respuestas de pulpaje y propiedades de resistencias de las pulpas.

3.2.2 Obtención de la pulpa

La pulpa kraft se obtendrá en el digestor M/K system, el cual se cargará con 600 g. de astillas de *Pinus radiata*, las cuales serán sometidas a las siguientes condiciones de pulpaje:

| Condición | Parámetro |
|---------------------------------|-----------|
| Razón licor madera | 4/1 |
| Alcali activo %bms (como óxido) | 19 |
| Sulfidez (%) | 30 |
| Peso madera seca (g) | 600 |
| Temperatura (°C) | 170 |
| Factor H | 845 |

Cuadro 2: Condiciones de pulpaje industriales utilizados por celulosa Arauco

Las astillas deslignificadas se sometieron a un proceso de agitación para su individualización en desintegradores, a continuación se procederá al lavado de la pulpa con agua fría en circulación, luego de lo cual se someterá a su clasificación en clasificadores de pulpa Allis-Chalmers de donde se obtiene la pulpa clasificada y el rechazo, los cuales serán cuantificados.

A la pulpa obtenida se le cuantifica rendimientos y grado de deslignificación (n° Kappa), y al licor negro se le determina porcentaje de sólidos. A continuación se confeccionan hojas de pulpa kraft cruda hechas en formador Tappi de 60g/m² a las cuales se medirá densidad, índice de tensión, índice de explosión e índice de rasgado.

3.3 Diseño Experimental.

Los resultados son sometidos a análisis de varianza con programa estadístico SAS (1987) empleando diseño completo al azar. Se comprobaron los supuestos de normalidad, con test de Shapiro-wilks y homogeneidad de varianzas con test de Levene, al 95% de confianza. Las variables en porcentaje fueron transformadas a $\arcsen\sqrt{\%}$. Los datos analizados que presentaron diferencias significativas entre los tratamientos fueron comparados mediante Test rango múltiple de Duncan al 95% (Morales, 2005). Para las pruebas que lo mencione, se utilizó el programa SPSS versión 10.0 en el cual se realizaron análisis estadísticos descriptivos y de varianza.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados para la determinación de densidad básica

La densidad de la madera fue determinada según la norma establecida por medio de ensayos en triplicado (cuadros 28-31, anexo 5) presentándose los promedios, en el cuadro 3.

| Tiempo Almacenamiento <i>(Meses)</i> | Densidad | Variación % |
|--|-----------------|--------------------|
| 0 | 396,5 | 0,0% |
| 5 | 362,2 | - 8,7% |
| 10 | 356,3 | - 10,1% |
| 20 | 311,8 | - 21,4% |

Cuadro 3: Resultados para densidad básica

La densidad básica va reduciéndose con el tiempo de almacenamiento que se tuvo la madera en las canchas, donde ya se puede apreciar el efecto de los microorganismos en cuanto a la pérdida de masa, la cual llega a un 21.4% a los 20 meses, lo que concuerda con lo encontrado por Peredo e Inzunza (1985), los cuales registraron pérdidas de un 9% en 9 meses de almacenamiento, estando éstos valores entre los que se obtuvieron para este estudio.

El efecto de esta reducción respecto de la madera fresca, es significativa según el análisis realizado a las medias según la prueba de Scheffe, mostrando igual comportamiento las densidades entre 5 y 20 meses, y las de 10 y 20 meses, solamente entre las densidades de 5 y 10 meses, esta prueba no arrojó diferencia significativa. Los resultados de esta prueba se aprecian en el cuadro 4.

| (I) MADERA | (J) MADERA | Error típ. | Significación |
|-----------------|-----------------|------------|---------------|
| fresca | 5 meses | 8,3 | 0,022* |
| fresca | 10 meses | 8,3 | 0,009* |
| fresca | 20 meses | 8,3 | 0,000* |
| 5 meses | 10 meses | 8,3 | 0,913 |
| 5 meses | 20 meses | 8,3 | 0,002* |
| 10 meses | 20 meses | 8,3 | 0,005* |

Basado en las medias observadas.
*La diferencia de medias es significativa al nivel .05.

Cuadro 4: Comparación entre medias para prueba de Scheffé

Esta pérdida en la densidad se puede atribuir al ataque de microorganismos, principalmente, hongos xilófagos, pudiendo ser estos manchadores o pudridores, pero por los resultados expuestos se atribuye a la acción de hongos pudridores, sean estos de pudrición blanca o café que atacaron la madera durante el almacenamiento que ésta tuvo en las canchas sin protección.

En la figura 6 se ve la relación que existe entre la pérdida de densidad y el tiempo de almacenamiento, la cual presenta una correlación lineal con el coeficiente de correlación $r^2 = 0.90$.

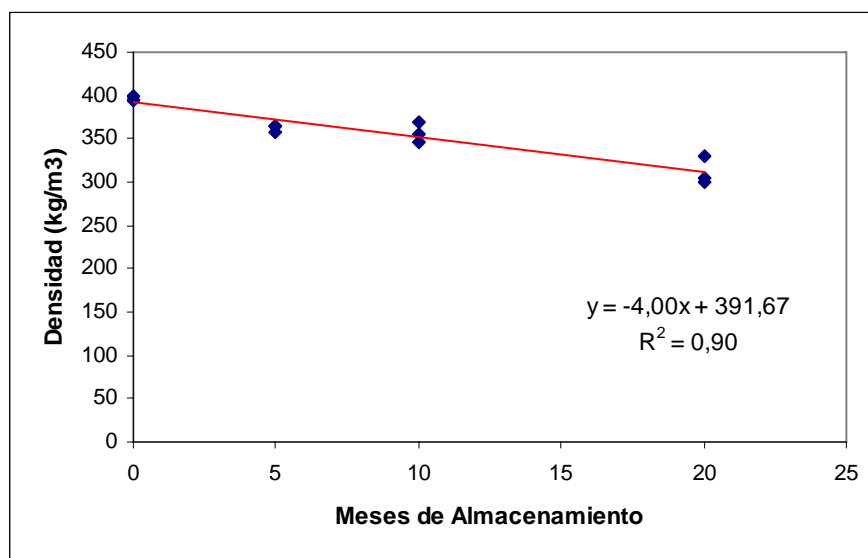


Figura 7: Efecto del almacenamiento en la densidad básica

Se observa que durante los períodos intermedios de tiempo no es muy marcada la pérdida de densidad, siendo esto, más evidente para los períodos entre la madera fresca y los 20 meses de almacenamiento.

4.2 Resultados para análisis químicos de la madera.

Los resultados obtenidos para los análisis químicos de la madera (cuadro 32-35, anexo 6), se presentan como promedios de los ensayos realizados por triplicado para cada parámetro establecido en el cuadro 5:

| Tiempo (meses) | 0 | 5 | 10 | 20 |
|-----------------------------------|------|------|------|------|
| Solubles Etanol-Tolueno (%b.m.s.) | 1,3 | 1,0 | 0,8 | 0,8 |
| Extraíbles Totales (%b.m.s.) | 3,5 | 4,1 | 3,6 | 3,6 |
| Celulosa (%b.m.s.l.e.) | 53,7 | 51,9 | 51,7 | 50,9 |
| Lignina (%b.m.s.l.e.) | 25,1 | 27,3 | 27,3 | 27,9 |

Cuadro 5: Resultados para composición química de madera de *Pinus radiata* D.Don.

4.2.1 Extraíbles de la madera.

Los resultados obtenidos en este estudio, en lo que se refiere a los solubles, difieren con los resultados que han reportado Zarate y Torres (1987), ya que ellos han obtenido para los solubles en etanol-tolueno, un aumento en el índice de solubilidad de un 27% con el incremento del tiempo de almacenamiento para la madera dañada; similar resultado obtuvo Wendt (1983), registrando aumentos significativos en la

determinación de los solubles, donde se encontró que de todas las pruebas efectuadas a los solubles, la determinación de los solubles en agua caliente, mostró mayor sensibilidad al grado de ataque, sin embargo, para este estudio se encontró que los solubles en etanol tolueno se reducen a medida que se incrementa el tiempo de almacenamiento (cuadro 6).

| Muestra | Solubles Etanol-Tolueno (%bms) | Variación % |
|----------|--------------------------------|-------------|
| Fresca | 1,3 | 0% |
| 5 Meses | 1,0 | -23,1% |
| 10 Meses | 0,8 | -38,5% |
| 20 Meses | 0,8 | -38,5% |

Cuadro 6: Resultados para solubles en etanol tolueno en madera de *Pinus radiata* D.Don.

El análisis estadístico para los solubles en etanol-tolueno muestra diferencias altamente significativas al 99% de confianza (P valor < 0.01). (cuadro 19, anexo 3)

En el figura 8 se muestran los resultados obtenidos y su comportamiento con el tiempo de almacenamiento, la cual presenta una correlación de segundo orden con el coeficiente de correlación $r^2 = 0.87$. Lo que indicaría un 93.3% de los datos son explicados por la ecuación cuadrática, y que la relación de entre los solubles en etanol-tolueno y el tiempo de almacenamiento se dan en la misma proporción.

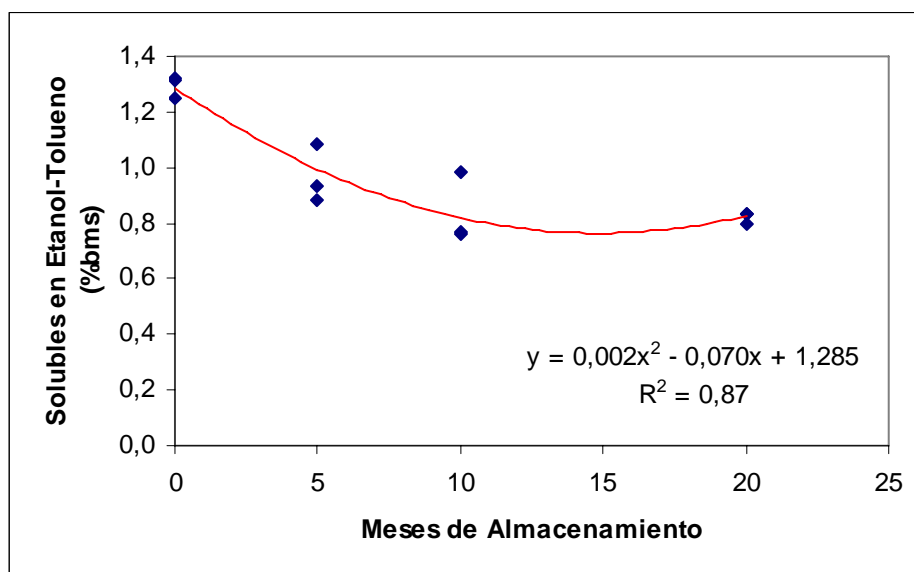


Figura 8: Disminución de los solubles en etanol-tolueno durante el almacenamiento

Sin embargo, para los resultados de los extraíbles totales (cuadro 7) en este estudio, no se muestra una marcada variación porcentual, y al aplicar un análisis estadístico, estos no presentan variaciones significativas entre los meses de estudio (p valor > 0.05), que pueda mostrar el efecto del almacenamiento en la madera (cuadro 18, anexo 3).

| Muestra | Extraíbles Totales (%bms) | Variación % |
|----------|---------------------------|-------------|
| Fresca | 3,5 | 0% |
| 5 Meses | 4,1 | 0,2% |
| 10 Meses | 3,6 | 0% |
| 20 Meses | 3,6 | 0% |

Cuadro 7: Extraíbles totales

Un estudio de extraíbles totales para verificar el efecto del tiempo de almacenamiento prolongado, no sería un índice confiable para cuantificar pudrición o degradación en la madera, como así lo demuestran los análisis estadísticos, siendo más confiable estadísticamente, el análisis de solubles en etanol-tolueno.

4.2.2 Celulosa en la madera.

El contenido de celulosa se reduce a medida que se incrementa el tiempo de almacenamiento (Cuadro 8).

| Muestra | Celulosa (%bmsle) | Variación % |
|----------|-------------------|-------------|
| Fresca | 53,7 | 0,0% |
| 5 Meses | 51,9 | -3,4% |
| 10 Meses | 51,7 | -3,7% |
| 20 Meses | 50,9 | -5,3% |

Cuadro 8: Contenido de celulosa

El contenido de celulosa muestra diferencias significativas (p valor < 0.05) con el tiempo de almacenamiento (cuadro 20, anexo 3), donde la reducción de 3.4% y 3.7% para los 5 y 10 meses es similar, no siendo así para los 20 meses donde se reporta una pérdida de 5.3%, producto del ataque de microorganismos. Según la bibliografía consultada (Rodríguez, 1998) y (Wendt, 1983), corresponderían, principalmente, a hongos de pudrición café, que son los que degradan la celulosa en la madera.

La degradación que la celulosa sufre por parte de estos microorganismos durante el tiempo de almacenamiento, explicaría también, la pérdida en densidad de la madera sometida a los distintos períodos de almacenamiento, relacionándose directamente con el tiempo que estuvo en las canchas la madera de *Pinus radiata* D. Don.

En la figura 9 se muestra que la reducción del contenido de celulosa con el tiempo de almacenamiento, sigue una correlación de tipo cuadrática, con coeficiente de correlación $r^2 = 0.63$, lo que indica que el 79.4% de los datos son explicados por la ecuación cuadrática, y la relación existente entre el contenido de celulosa en la madera y el tiempo de almacenamiento se da en esa proporción.

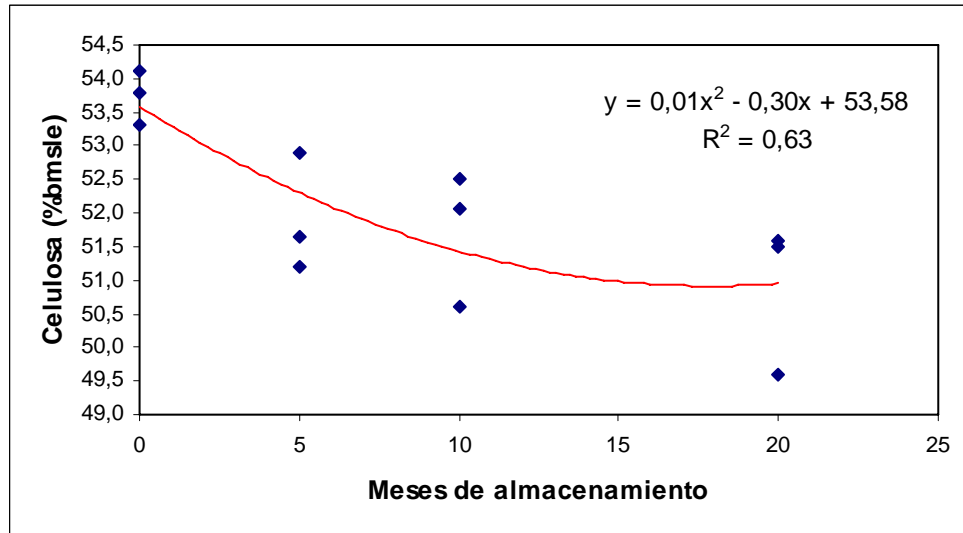


Figura 9: Reducción del contenido de celulosa en Pinus radiata D. Don con el tiempo de almacenamiento.

4.2.3 Lignina en la madera.

Un incremento en el tiempo de almacenamiento ocasiona un aumento del porcentaje de lignina en la madera (cuadro 9).

| Muestra | Lignina (%bmsle) | Variacion % |
|----------|------------------|-------------|
| Fresca | 25,1 | 0% |
| 5 Meses | 27,3 | + 8,5% |
| 10 Meses | 27,3 | + 8,4% |
| 20 Meses | 27,9 | + 10,9% |

Cuadro 9: Contenidos de lignina

Así, como se describe anteriormente, la reducción en el porcentaje de celulosa implica necesariamente que se registre un incremento en el porcentaje de lignina, esto no quiere decir que se aumente en el sentido de contenido de masa sólo porcentualmente, debido a la degradación de la celulosa, es decir, para los 5 y 10 meses la variación porcentual es de valores 8.5 y 8.4% en esos períodos de tiempo, teniendo un mayor aumento de 10.9% a los 20 meses.

Estadísticamente, la lignina presenta (cuadro 21, anexo 3) diferencias altamente significativas al 99% de confianza (P valor < 0.01), lo que reafirma que el ataque de los microorganismos fueron más selectivos hacia la degradación de celulosa, siendo este un ataque de tipo pudrición café, por lo expuesto anteriormente.

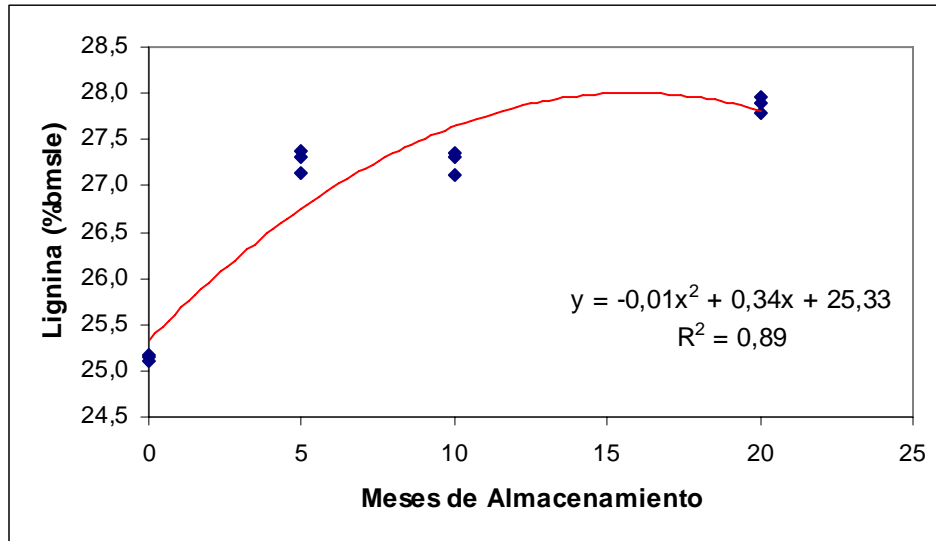


Figura 10: Contenido de lignina en el tiempo de almacenamiento

En el figura 10 se muestran los resultados para la lignina con el tiempo de almacenamiento, en el cual se obtuvo una correlación de segundo orden con el coeficiente de correlación $r^2 = 0.89$, lo que indica que el 94.3% de los datos son explicados por la ecuación cuadrática, y la relación que existe entre el contenido de lignina en la madera y el tiempo de almacenamiento se da en esa forma.

4.3 Resultados para el pulpage kraft.

En los puntos siguientes se presentan los resultados evaluados para los distintos parámetros del proceso kraft. (cuadros 36-39, anexo 7).

4.3.1 Rendimiento clasificado.

Al incrementarse el tiempo de almacenamiento, se aprecia una reducción en el rendimiento clasificado en aproximadamente 4% para los períodos de 5 y 10 meses, mientras que para el período correspondiente para los 20 meses se ve una baja en el rendimiento de un 7.4% respecto de la madera fresca, como se aprecia en el cuadro 10. Esto concuerda con lo presentado por Wendt (1983), que para madera almacenada por 9 meses se produce una reducción de 6% en el rendimiento clasificado y difiere de lo presentado por Zárate y Torres (1985), donde se registró un aumento en el rendimiento clasificado.

| Muestra | Rendimiento clasificado (%b.m.s.) | Variación % |
|----------|-----------------------------------|-------------|
| Fresca | 49,8 | 0% |
| 5 meses | 47,5 | - 4,6% |
| 10 meses | 47,7 | - 4,2% |
| 20 meses | 46,1 | - 7,4% |

Cuadro 10: Resultado para rendimiento clasificado

El rendimiento clasificado presenta diferencias significativas (p valor < 0.05) entre estas muestras, ésta pérdida se produce por la reducción de celulosa, producto del ataque en el tiempo de almacenamiento. (cuadro 22, anexo 4).

En la figura 11 se muestran los resultados para el rendimiento clasificado en los distintos períodos de almacenamiento, encontrando una correlación de tipo cuadrática con coeficiente de correlación de $r^2 = 0.73$, lo que muestra que el 85.4% de los datos son explicados por la ecuación cuadrática, y la relación entre el rendimiento clasificado y el tiempo de almacenamiento se en esa forma.

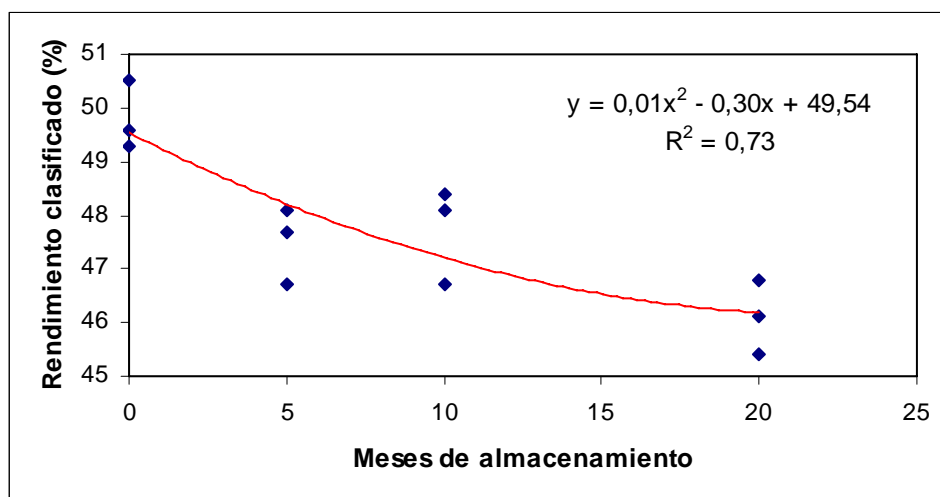


Figura 11: Rendimiento clasificado.

El contenido de celulosa presente en la madera, afecta directamente al rendimiento clasificado, lo que se observa en figura 11, ahí se correlaciona el contenido de celulosa en la madera y el rendimiento clasificado, por una ecuación lineal con coeficiente de correlación $r^2 = 0.90$, lo que indica que 94.9% de los datos son explicados por la ecuación lineal, y que la relación entre rendimiento clasificado y contenido de celulosa en la madera se da en esa proporción lineal.

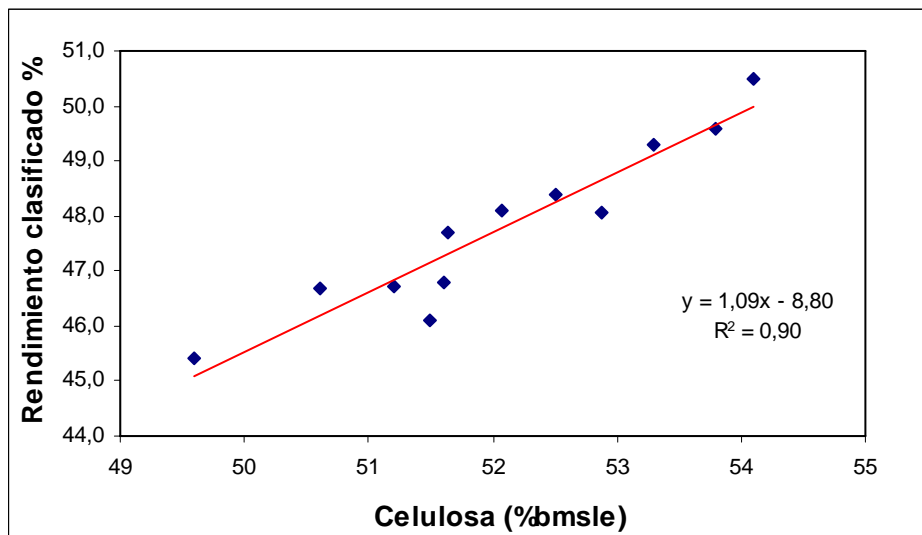


Figura 12: Relación entre contenido de celulosa y rendimiento clasificado

4.3.2 Rechazo

Para el rechazo se obtuvieron los siguientes valores:

| Muestra | Rechazo % | Variación % |
|----------|-----------|-------------|
| fresca | 0,1 | 0% |
| 5 meses | 1,5 | + 10,3% |
| 10 meses | 0,3 | + 1,5% |
| 20 meses | 0,8 | + 5,0% |

Cuadro 11: Rendimiento rechazo

El rechazo presenta un incremento irregular a largo de los meses de almacenamiento lo se puede explicar nuevamente con la composición química de cada madera, puntualmente los resultados obtenidos para la lignina, la cual presenta un aumento aproximadamente de un 8.5% en los períodos de 5 y 10 meses de almacenamiento llegando a un 10.9% para los 20 meses de almacenamiento.

A pesar de que las variaciones registradas no son significativas para el rechazo (p valor > 0.05), se aprecia claramente un incremento de éste con el tiempo de almacenamiento, coincidiendo con lo expuesto por Wendt (1983). (cuadro 23, anexo 4)

4.3.3 N° Kappa

Los resultados obtenidos para el N° Kappa presentaron diferencias significativas con el tiempo de almacenamiento (p valor < 0.05). (cuadro 25, anexo 4)

| Muestra | Nº Kappa | Variación % |
|----------|----------|-------------|
| Fresca | 27,0 | 0% |
| 5 meses | 34,0 | + 25,9% |
| 10 meses | 29,7 | + 9,9% |
| 20 meses | 31,0 | + 14,8% |

Cuadro 12: Nº Kappa

Incrementándose el Nº Kappa (cuadro 12) con el aumento del tiempo de almacenamiento, es decir mientras mayor es el tiempo que pasan las trozas en cancha, más dificultosa es su deslignificación.

Este incremento descrito anteriormente, también se relaciona con el rendimiento rechazo obtenido en esta parte del estudio.

El efecto de la madera con un mayor contenido de lignina que presentaron las que estuvieron almacenadas, como fue indicado en el punto 4.2.3, también se refleja en una menor tasa de deslignificación.

4.3.4 Consumo de reactivos

La madera que se mantuvo almacenada en los distintos periodos mencionados produjo un relativo aumento de su contenido de lignina, lo que se traduce en un incremento del consumo de reactivo durante la deslignificación como se observa en el cuadro 13, al comparar con la madera fresca.

Este incremento es más evidente entre la madera fresca y la de 5 meses de almacenamiento, que las otras utilizadas, lo que se produce que el valor del Nº Kappa para ese período de tiempo, lo que lleva a un mayor consumo de reactivo, incrementándose este en un 14%. Para los tiempos de almacenamiento mayores a 5 meses el consumo de reactivo se mantiene constante, con un aumento en el consumo de 11% para los periodos de 10 y 20 meses, respecto al testigo, ó sea la madera fresca.

| Muestra | %B. Reactivo | Variación % |
|----------|--------------|-------------|
| fresca | 61,1 | 0% |
| 5 meses | 70,2 | -14,8% |
| 10 meses | 68,1 | -11,3% |
| 20 meses | 68,3 | -11,8% |

Cuadro 13: Consumo reactivo base reactivo.

Estadísticamente para el consumo de reactivos (cuadro 13), no se encontraron diferencias significativas (p valor < 0.05) a lo largo del tiempo de almacenamiento, al comparar las variaciones obtenidas, se advierte solamente una marcada diferencia entre el testigo y las demás muestras, mientras que para éstas (5, 10 y 20 meses), solo la muestra de 5 meses es la que registra una mayor variación (14.8%), las otras de 10 y 20 meses varían 0.5% entres ellas (cuadro 26, anexo 4).

4.3.5 Álcali activo residual

Para los estudios mencionados anteriormente (Wendt 1983), (Zárate y Torres 1985), el álcali activo residual no mostró variaciones significativas entre la madera sana y la dañada o almacenada. Para este trabajo se encontraron variaciones con el tiempo de almacenamiento (cuadro 14):

| Muestra | A.A. Residual (g/l) | Variación % |
|----------|---------------------|-------------|
| fresca | 18,5 | 0% |
| 5 meses | 14,2 | - 23,2% |
| 10 meses | 15,2 | - 17,8% |
| 20 meses | 15,1 | - 18,4% |

Cuadro 14: Álcali activo residual.

Estas variaciones resultaron significativas (p valor < 0.05), registrándose una disminución del álcali activo residual con el tiempo de almacenamiento, donde la muestra de 5 meses presenta la mayor variación. (cuadro 27, anexo 4)

4.4 Resultados para propiedades de resistencia de la pulpa.

4.4.1 Densidad aparente

La densidad del papel se mantiene prácticamente constante, hasta el tiempo de almacenamiento de 10 meses, sin embargo, para los 20 meses de almacenamiento la densidad aparente presenta un importante aumento (cuadro 15), a pesar de ser fibras menos deslignificadas, logran una mayor compactación debido a que, al observar la fibras al microscopio, la estructura fibrilar esta dañada producto del ataque por parte de los hongos degradadores de la madera, presentando ruptura en la pared celular e incluso de la fibra completa en su eje longitudinal, lo que le permite un mejor acomodamiento del enlazado, permitiendo así, la reducción del espacio entre fibras, teniendo como resultado una mejor compactación.

| MUESTRA | MADERA FRESCA | 5 MESES | 10 MESES | 20 MESES |
|--|---------------|---------|----------|----------|
| DENSIDAD APARENTE (g/cm ³) | 0,531 | 0,518 | 0,527 | 0,671 |

Cuadro 15: Densidad aparente de la pulpa kraft.

Al analizar los datos por medio de una correlación, ésta entrega una ecuación cuadrática con coeficiente de correlación $r^2=0.97$ lo que indica que el 98.5% de los datos son explicados por la ecuación lineal, y la relación entre la densidad aparente y el tiempo de almacenamiento se da en esa forma descrita. (Figura 12).

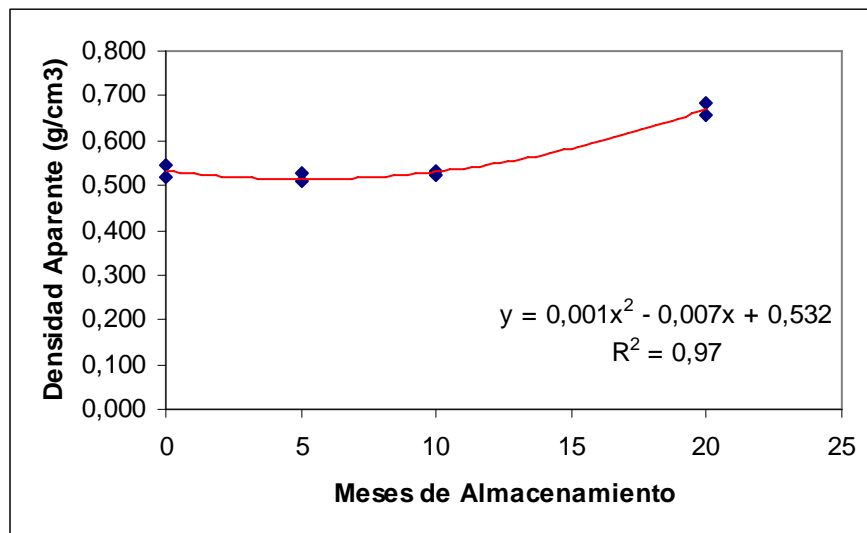


Figura 13: Densidad aparente en el tiempo de almacenamiento.

4.4.2 Índices de Tracción, Explosión y Rasgado

Los resultados obtenidos en trabajos anteriores, presentaron aumentos en estos índices con el tiempo de almacenamiento, en el factor de rasgado y explosión, longitud de ruptura (Wendt, 1983); sin embargo, Zárate y Torres (1985), presentaron disminuciones en la densidad de la pulpa y el factor de rasgado, al utilizar madera dañada, y un leve aumento para el factor de explosión y la longitud de ruptura, coincidiendo en este trabajo solamente para el aumento para los índices de tracción y explosión, mientras que para el índice de rasgado se encontró una disminución a lo largo de los meses de almacenamiento, coincidiendo con lo encontrado con Zárate y Torres (1985).

Para el detalle de los resultados obtenidos en estos índices (cuadro 40-43, anexo 8).

Los promedios de los resultados obtenidos para los índices de resistencia mecánica de las pulpas se presentan en el cuadro 16:

| MUESTRA | MADERA FRESCA | 5 MESES | 10 MESES | 20 MESES |
|--|---------------|---------|----------|----------|
| INDICE DE TRACCIÓN (Nm/g) | 44,9 | 53,8 | 53,9 | 72,9 |
| INDICE DE EXPLOSION (kPam ² /g) | 3,0 | 3,3 | 3,3 | 4,1 |
| INDICE DE RASGADO (Nm ² /g) | 23,6 | 20,9 | 18,0 | 11,3 |

Cuadro 16: Índices de tracción, explosión y rasgado.

Al someter estos datos a la prueba de Scheffé, se obtienen las siguientes diferencias significativas entre las medias de las pruebas realizadas a las pulpas elaboradas con maderas de distintos tiempos de almacenamiento, en el Cuadro 17:

| Variable dependiente | (I) MADERA | (J) MADERA | Diferencia entre medias (I-J) | Error típ. | Significación |
|--|-----------------|-----------------|-------------------------------|--------------|---------------|
| TRACCION | fresca | 5 meses | -8,900 | 2,844 | 0,141 |
| | fresca | 10 meses | -8,950 | 2,844 | 0,139 |
| | fresca | 20 meses | -27,950 | 2,844 | 0,003* |
| | 5 meses | 10 meses | -0,050 | 2,844 | 1,000 |
| | 5 meses | 20 meses | -19,050 | 2,844 | 0,012* |
| | 10 meses | 20 meses | -19,000 | 2,844 | 0,012* |
| RASGADO | fresca | 5 meses | 2,800 | 0,716 | 0,075 |
| | fresca | 10 meses | 5,650 | 0,716 | 0,007* |
| | fresca | 20 meses | 12,350 | 0,716 | 0,000* |
| | 5 meses | 10 meses | 2,850 | 0,716 | 0,071 |
| | 5 meses | 20 meses | 9,550 | 0,716 | 0,001* |
| | 10 meses | 20 meses | 6,700 | 0,716 | 0,004* |
| EXPLOSION | fresca | 5 meses | -0,250 | 0,278 | 0,845 |
| | fresca | 10 meses | -0,300 | 0,278 | 0,769 |
| | fresca | 20 meses | -1,050 | 0,278 | 0,083 |
| | 5 meses | 10 meses | -0,050 | 0,278 | 0,998 |
| | 5 meses | 20 meses | -0,800 | 0,278 | 0,176 |
| | 10 meses | 20 meses | -0,750 | 0,278 | 0,206 |
| Basado en las medias observadas. | | | | | |
| *La diferencia de medias es significativa al nivel ,05 | | | | | |

Cuadro 17: Prueba de Scheffé para las propiedades de la pulpa

Para estos resultados se encontró diferencia significativa (p valor < 0.05) en el índice de tracción, entre las muestras de casi todos los períodos de almacenamiento, excepto para las muestras de 5 y 10 meses, donde no se registró diferencia significativa.

En el índice de rasgado también se encontraron diferencias significativas (p valor < 0.05) para estos resultados, únicamente, en las muestras de 5 y 10 meses no se reconocieron diferencias significativas, apreciándose que con el tiempo de almacenamiento, se encuentra una disminución de este índice, atribuido a que la fibra posee su pared celular muy dañada producto de la degradación de los microorganismo presentes en la madera, durante su almacenaje.

A diferencia de lo que menciona Wendt (1983), en este estudio del *Pinus radiata* en canchas de almacenamiento de la X Región se encuentra un incremento significativo de los índices de tracción y explosión en el tiempo de almacenamiento.

Para el índice de explosión no se encontraron diferencias significativas (p valor < 0.05), a pesar de que se aprecia una respuesta similar al índice de tracción, esto dado que la densidad aparente de la pulpa aumenta a medida que se incrementa el

tiempo de almacenamiento, esto por una mayor compactación de fibras y, también producto de la degradación que provoca daños, rompiendo la fibra e incrementando su área superficial de enlace, por lo tanto el enlace fibra-fibra se hace mas resistente, generando como resultado el aumento en el índice de explosión.

En la figura 13 se muestra los valores obtenidos para estos índices con el tiempo de almacenamiento de la madera:

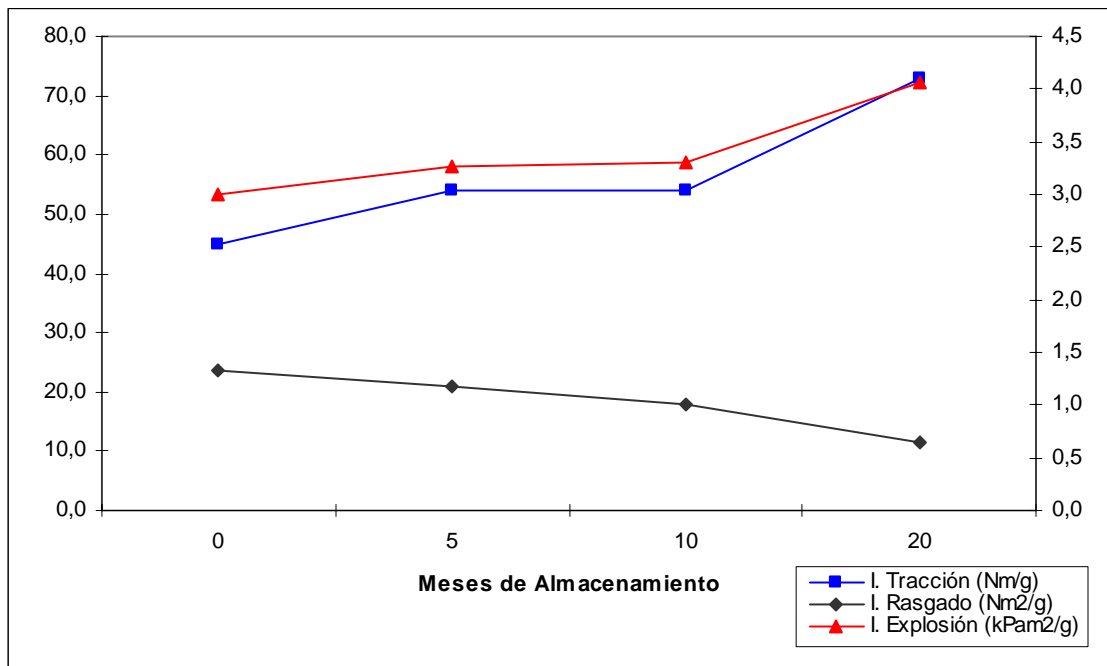


Figura 14: Índices de resistencia mecánica

Al relacionar el contenido de celulosa con índice de rasgado se observa como ésta influye, en este índice en particular.

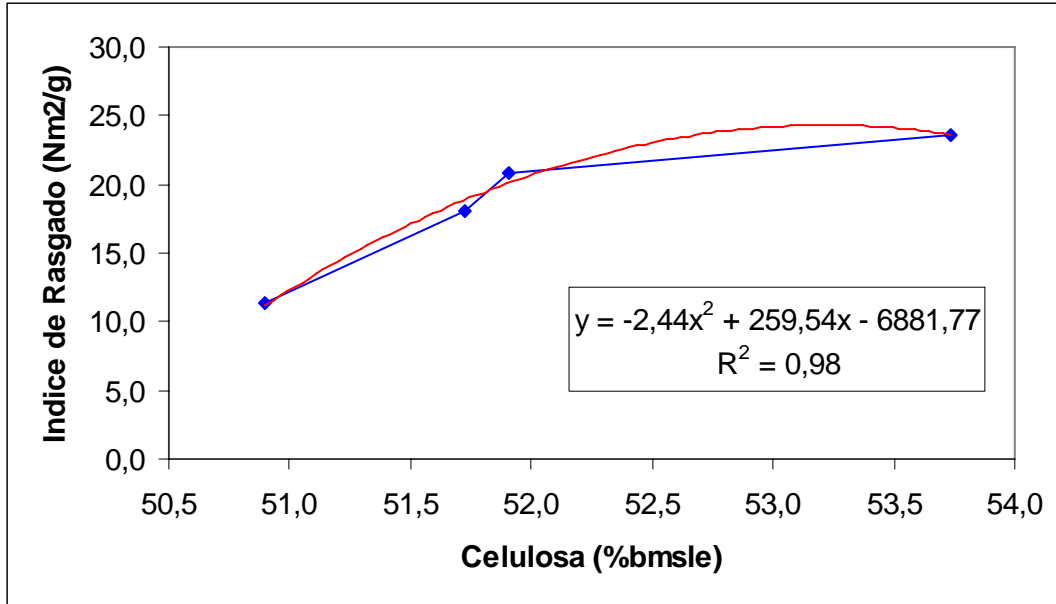


Figura 15: Celulosa v/s índice de rasgado

La relación del Índice de Rasgado y el contenido de celulosa en la madera, nos muestra en este trabajo, como la cantidad de celulosa presente en la madera influye en el índice de rasgado, en una relación proporcional donde, a menor contenido de celulosa, menor Índice de rasgado. Al efectuar la correlación, se obtiene una de tipo cuadrática, con coeficiente de correlación $r^2 = 0,98$, lo que indica que el 99% de los datos son explicados por la ecuación cuadrática lo que además muestra que no hay relación lineal, entre estos.

5. CONCLUSIONES

- El efecto del tiempo de almacenamiento sobre la densidad básica de la madera, es estadísticamente significativo en las distintas maderas de *Pinus radiata* almacenado en canchas de la X Región (Valdivia), registrándose una disminución de la densidad básica, lo que es producto de la pérdida, principalmente de celulosa, lo que es atribuible a la degradación por parte microorganismos, principalmente hongos xilófagos (pudrición café), provocando así entonces la pérdida de masa madera.
- La pérdida de densidad por efecto de degradación de celulosa se refleja en un descenso significativo de rendimiento clasificado (-7.4%) en el pulpaje kraft.
- Producto de lo anterior se hace poco viable el uso a nivel industrial de madera con más de 20 meses de almacenamiento, por su baja densidad registrada respecto a las otras muestras usadas en este estudio, mientras que los 5 y 10 meses no presentan una pérdida muy significativa, lo cual es un periodo óptimo en el caso de los 5 meses y para los 10 meses aun es recomendable su uso para la obtención de pulpa kraft, por su poca pérdida de densidad.
- El efecto del tiempo de almacenamiento sobre las propiedades químicas de la madera, es notorio para la celulosa, la cual se reduce de manera significativa con el tiempo de almacenamiento, mientras que para la lignina, hay un cambio de las relaciones porcentuales, lo cual produce un aumento porcentual de esta, generado de la pérdida de celulosa.
- Para los extraíbles totales no se encontró variaciones porcentuales entre las muestras que se utilizaron en este estudio, solamente vario la muestra de 5 meses de almacenamiento con respecto a las otras, no indicando el efecto del almacenamiento sobre la madera.
- Para los solubles en etanol-tolueno se encontraron diferencias altamente significativas en las maderas estudiadas, obteniendo disminución de estos con el tiempo de almacenamiento, contrastando estos resultados con otros trabajos similares, en los cuales se encontró un aumento de estos.
- Los análisis químicos aplicados en este trabajo, son el método más sensible que manifestaron el efecto del tiempo de almacenamiento prolongado sobre la madera de *Pinus radiata* D.Don serian la cuantificación de celulosa y solubles en etanol-tolueno, en canchas de la provincia de Valdivia.
- El efecto que ejerce el almacenamiento sobre el rendimiento clasificado de pulpa kraft de *Pinus radiata* D.Don es estadísticamente significativa para la madera de 20 meses, provocando una pérdida de un 7.6% respecto del testigo, contrastando con las pérdidas que se obtuvieron para la madera con 5 y 10 meses de almacenamiento, lo cual muestra que la influencia del

almacenamiento es significativo a partir de los 20 meses, lo que se refleja en la caída del rendimiento respecto a las otras muestras.

- Los resultados que se obtuvieron para el rechazo no son significativos, por lo tanto no muestran una tendencia definida en cuanto al efecto que pudo tener el tiempo de almacenamiento.
- El N° Kappa presenta un incremento con el tiempo de almacenamiento, mostrando diferencias significativas, producto del mayor contenido de lignina presente en la madera, con el tiempo de almacenamiento de la madera.
- La densidad aparente del papel se mantiene constante hasta los 10 meses, para los 20 meses de almacenamiento la densidad aparente aumenta lo que se atribuye a un daño provocado a la estructura fibrilar, producto de los microorganismos.
- Para el índice de tracción y explosión se ve un incremento con el tiempo de almacenamiento lo que causa un aumento en estos índices, producto de la mayor compactación de las fibras, incrementando el área de enlace fibra-fibra.
- Para el índice de rasgado se produce una disminución respecto al tiempo de almacenamiento, siendo consecuencia del daño que la fibra sufre producto almacenamiento que la madera tuvo.
- La reducción de la densidad de la madera del *Pinus radiata* almacenados por períodos prolongados en canchas de la Décima región, se correlacionaría por la expresión lineal ($y = -4.00x + 391.67$), con coeficiente de correlación de 0.90.
- La pérdida de celulosa se correlacionaría por una expresión de tipo cuadrática ($y = 0.01x^2 - 0.30x + 53.58$) con el tiempo de almacenamiento, teniendo una coeficiente de correlación de 0.63, mientras que este contenido de celulosa se relacionaría en forma lineal con el rendimiento clasificado ($y = 1.09x - 8.80$) con un coeficiente de correlación de 0.90.
- Para madera de *Pinus radiata* almacenado en la provincia de Valdivia, no existe efecto marcado en: pérdida de densidad de la madera, contenido de celulosa, contenido de lignina, rendimiento clasificado, y en los índices de tracción e índice de rasgado, entre los 5 y 10 meses , sobre ese tiempo de almacenamiento el efecto es significativo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, Osorio. 1986. Descripción e identificación de organismos manchadores asociados a la madera aserrada de pino insigne. (*Pinus radiata* D.Don.). Informe de convenio N° 97. UACH. 40 p.
- Butcher J. 1968. The ecology of fungi infecting untreated sapwood of *Pinus radiata*. Canadian Journal of Botany. 46(7): 1577-1589.
- Casey J., 1990. Pulpa y papel, química y tecnología química, Ed. Limusa. México. Vol. 1:456-751.
- INFOR, El sector forestal chileno 2000-2003. 6p. (boletín anual, 2003)
- Internet: <http://www.papelnet.cl> (septiembre, 2004).
- Peredo H., Alonso O. 1988. Myc flora of *Pinus radiata* pulpwood and outdoor storing in central Chile. Material and organismenn: 11-19.
- Peredo M., Inzunza L., 1985. Influencia del almacenamiento prolongado en las propiedades Físico-Mecánicas de la madera. En: OLIVARES B, MORALES E. *Pinus Radiata*, Investigación en Chile, UACH. Tomo II: 189-202.
- Kollman F. 1959. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Parte I, Springer Verlag. pp. 45- 49.
- Morales, E. 2005. Diseño experimental a través del análisis de varianza y modelo de regresión lineal, Editorial: Consultora Carolina, Valdivia, 252 p.
- Sanjuán R., 1997 Obtención de pulpas y propiedades de las fibras para el papel: pp. 143-145.
- SAS (1987). SAS/STAT Guide. Version 6 Edition. SAS Institute Inc. 1028 p.
- Schmidt R., 1990. The effect of wood chip inventory rotation policies on storage cots, chip quality and chip variability. Tappi Journal 73(1): pp. 211-216.
- Smook, G. 1998 Manual para técnicos de pulpa y papel 1ª ed. EE.UU. Tappi Press 27 p.
- Rodríguez J., 1998 Patología de la madera. Ediciones Mundi-Prensa. España: pp. 37-94
- Vaca de F., Rosa, 1998. Técnicas para la preservación de maderas. Documento técnico 65. Sección IV: pp. 1-2.

Vignote, S; Jiménez, F. 2000 Tecnología de la madera. 2ª ed. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. España. 192 p.

Wendt S. B.E. 1983. Efectos del almacenamiento de madera en rollizos en el rendimiento y resistencia de pulpa Kraft de pino insigne. Tesis Ing. Qui. Concepción, Universidad de Concepción, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química. 134 p.

Zárate M., Torres M. 1985. Influencia del estado sanitario de la madera en el pulpaje Kraft. II Jornadas Técnicas de la Celulosa y el Papel. Concepción. 5 p

ANEXOS

ANEXOS 1

Abstract

ABSTRACT

In the areas of tenth Region of Chile the environmental conditions of pluviometría reach annual precipitations of 2500 mm on the average, distributed mainly among the months April and October, this impedes the harvest of forests mainly for problems of access, with the result that these should be carried out in periods of spring-summer and to store for lingering times the wood in storing courts (assuring the wooden supply to the cellulose plants during the year), this storage inevitably causes a degradation of the wood largely taken place by putrefy mushrooms.

With the result that the interest arises to study like it affects the storage of the log in courts from the Tenth Region to the wood of *Pinus radiata* D. Don in its density, chemical composition and its effect about the process of obtaining of pulp kraft and physical-mechanical properties of pulps resistance, for this wood are used with different periods of storage with periods of 5, 10 and 20 months in storing courts in the areas of Valdivia, and fresh wood as witness. The testing were applied to determine chemical composition (soluble in ethanol-toluene, total extractives, cellulose and lignin content), results of the pulping (classified yield, reject, index Kappa) and physical-mechanical properties of the pulp (traction indexes, ripped and explosion).

The obtained results indicate a significant loss of cellulose to the 20 months of storage of 5,3% regarding the witness. For the lignin a highly significant increase is obtained with the increment of the time of storage (10,9%), the soluble diminish significantly with the increase of the time of storage and the total extractives they not present a clear tendency in this study. In the pulping the answer was a decrease in the yields classified between 4,6 and 7,4% regarding the fresh wood, the rejection didn't report significant differences and the index Kappa presented significant differences diminishing the deslignification with the increase of the time of storage. The traction indexes and explosion increased significantly, and for the index of ripped diminished significantly with the time of storage.

In the chemical compositions and the pulping corresponding to times of storage of 5 and 10 months it is not presented important differences by that is possible consider that among this time of storage range the wood degradation maintained a low profile.

Of the above-mentioned is concludes that is not advisable to store the wood of *Pinus radiata* in the area of Valdivia (X Region) in courts without protection for more than 10 months, because the attack of microorganisms is significant after this time, affecting the chemical composition of wood affecting directly the yields of the pulping and also the results the physical-mechanical properties of the obtained pulps.

Keywords: Times of storage putrefy mushrooms, *Pinus radiata* D.Don., kraft pulping.

ANEXOS 2

Fotos de las pulpas confeccionadas con maderas de distintos tiempos de almacenamiento.

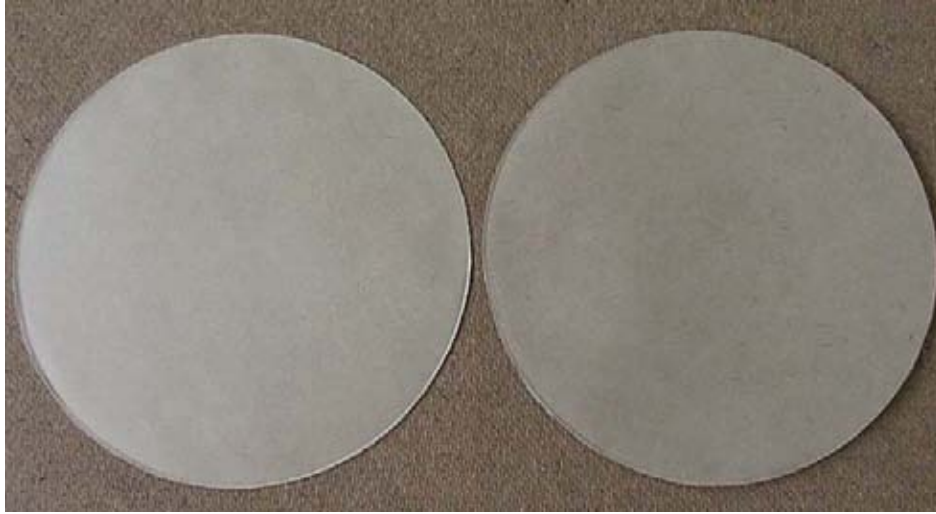


Figura 16: Hojas confeccionadas con madera fresca y 5 meses de almacenamiento.

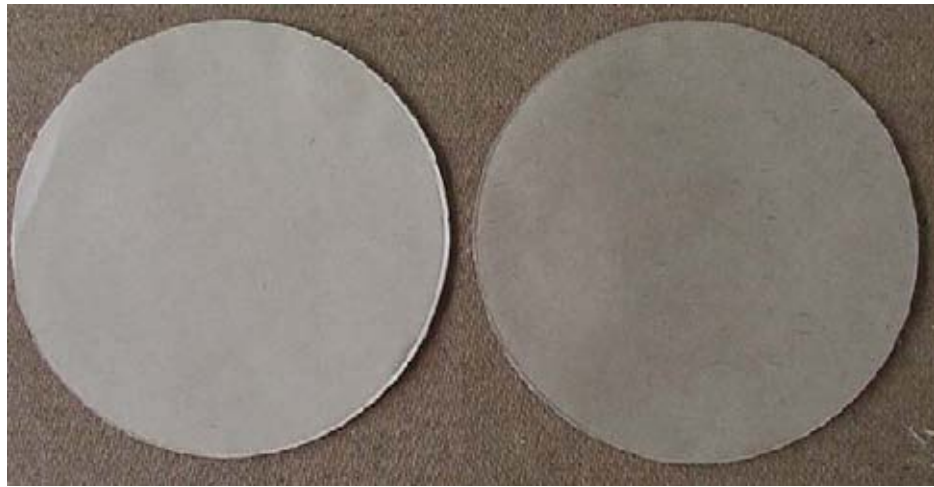


Figura 17: Hojas confeccionadas con madera 10 y 20 meses de almacenamiento.

ANEXOS 3

Tablas ANOVA para la composición química de la madera.

| Fuente | Sumas de cuad. | GI | Cuadrado Medio | Cociente-F | P-Valor |
|---------------|----------------|----|----------------|------------|---------|
| Tratamiento | 0.000372197 | 3 | 0.000124066 | 4.86 | 0.0328* |
| Error | 0.000204172 | 8 | 0.0000255215 | | |
| Total (Corr.) | 0.000576369 | 11 | | | |

Cuadro 18: Tabla ANOVA para Extraíbles Totales.

| Fuente | Sumas de cuad. | GI | Cuadrado Medio | Cociente-F | P-Valor |
|---------------|----------------|----|----------------|------------|----------|
| Tratamiento | 0.000937751 | 3 | 0.000312584 | 16.03 | 0.0010** |
| Error | 0.000155993 | 8 | 0.0000194991 | | |
| Total (Corr.) | 0.00109374 | 11 | | | |

Cuadro 19: Tabla ANOVA para Solubles en Etanol-Tolueno.

| Fuente | Sumas de cuad. | GI | Cuadrado Medio | Cociente-F | P-Valor |
|---------------|----------------|----|----------------|------------|---------|
| Tratamiento | 0.0012866 | 3 | 0.000428867 | 5.31 | 0.0263* |
| Error | 0.000646074 | 8 | 0.0000807593 | | |
| Total (Corr.) | 0.00193267 | 11 | | | |

Cuadro 20: Tabla ANOVA para Celulosa.

| Fuente | Sumas de cuad. | GI | Cuadrado Medio | Cociente-F | P-Valor |
|---------------|----------------|----|----------------|------------|----------|
| Tratamiento | 0.00169523 | 3 | 0.000565077 | 298.53 | 0.0000** |
| Error | 0.000015143 | 8 | 0.00000189287 | | |
| Total (Corr.) | 0.00171037 | 11 | | | |

Cuadro 21: Tabla ANOVA para Lignina.

ANEXOS 4

Tablas ANOVA para pulpaje kraft.

| Fuente | Sumas de cuad. | Gl | Cuadrado Medio | Cociente-F | P-Valor |
|---------------|----------------|----|----------------|------------|---------|
| Tratamiento | 0.00397416 | 3 | 0.00132472 | 6.46 | 0.0157* |
| Error | 0.00163971 | 8 | 0.000204964 | | |
| Total (Corr.) | 0.00561387 | 11 | | | |

Cuadro 22: Tabla ANOVA para Rendimiento Clasificado.

| Fuente | Sumas de cuad. | Gl | Cuadrado Medio | Cociente-F | P-Valor |
|---------------|----------------|----|----------------|------------|----------|
| Tratamiento | 0.0296837 | 3 | 0.00989456 | 3.25 | 0.0809ns |
| Error | 0.0243322 | 8 | 0.00304153 | | |
| Total (Corr.) | 0.0540159 | 11 | | | |

Cuadro 23: Tabla ANOVA para Rechazo.

| Fuente | Sumas de cuad. | Gl | Cuadrado Medio | Cociente-F | P-Valor |
|---------------|----------------|----|----------------|------------|----------|
| Tratamiento | 0.00152775 | 3 | 0.000509251 | 10.48 | 0.0038** |
| Error | 0.000388601 | 8 | 0.0000485752 | | |
| Total (Corr.) | 0.00191636 | 11 | | | |

Cuadro 24: Tabla ANOVA para Rendimiento Total.

| Fuente | Sumas de cuad. | Gl | Cuadrado Medio | Cociente-F | P-Valor |
|---------------|----------------|----|----------------|------------|---------|
| Tratamiento | 106.667 | 3 | 355.556 | 5.33 | 0.0260* |
| Error | 533.333 | 8 | 666.667 | | |
| Total (Corr.) | 160.0 | 11 | | | |

Cuadro 25: Tabla ANOVA para Kappa.

| Fuente | Sumas de cuad. | Gl | Cuadrado Medio | Cociente-F | P-Valor |
|---------------|----------------|----|----------------|------------|----------|
| Tratamiento | 0.0161409 | 3 | 0.0053803 | 3.85 | 0.0567ns |
| Error | 0.0111923 | 8 | 0.00139903 | | |
| Total (Corr.) | 0.0273331 | 11 | | | |

Cuadro 26: Tabla ANOVA para Consumo de reactivos.

| Fuente | Sumas de cuad. | Gl | Cuadrado Medio | Cociente-F | P-Valor |
|---------------|----------------|----|----------------|------------|---------|
| Tratamiento | 32.07 | 3 | 10.69 | 4.19 | 0.0467* |
| Error | 204.067 | 8 | 255.083 | | |
| Total (Corr.) | 524.767 | 11 | | | |

Cuadro 27: Tabla ANOVA para Álcali residual activo.

ANEXOS 5

Resultados para la densidad básica de las maderas con distinto tiempo de almacenamiento.

| peso bandeja (gr) | volumen desplazado (ml) | peso seco astillas(gr) | densidad astillas (kg/m3) |
|-------------------|-------------------------|------------------------|---------------------------|
| 45 | 210 | 129 | 400,0 |
| 45 | 225 | 131 | 382,2 |
| 53 | 231 | 144 | 393,9 |

Cuadro 28: Resultados para la densidad básica con madera fresca.

| peso bandeja (gr) | volumen desplazado (ml) | peso seco astillas(gr) | densidad astillas (kg/m3) |
|-------------------|-------------------------|------------------------|---------------------------|
| 45 | 137 | 94 | 357,7 |
| 44 | 244 | 133 | 364,8 |
| 51 | 173 | 114 | 364,2 |

Cuadro 29: Resultados para la densidad básica con madera de 5 meses.

| peso bandeja (gr) | volumen desplazado (ml) | peso seco astillas(gr) | densidad astillas (kg/m3) |
|-------------------|-------------------------|------------------------|---------------------------|
| 44,0 | 194 | 111 | 345,4 |
| 53,0 | 206 | 126 | 354,4 |
| 44,0 | 149 | 99 | 369,1 |

Cuadro 30: Resultados para la densidad básica con madera de 10 meses.

| peso bandeja (gr) | volumen desplazado (ml) | peso seco astillas(gr) | densidad astillas (kg/m3) |
|-------------------|-------------------------|------------------------|---------------------------|
| 44,0 | 105 | 76 | 304,8 |
| 44,0 | 91 | 74 | 329,7 |
| 45,0 | 103 | 76 | 301,0 |

Cuadro 31: Resultados para la densidad básica con madera de 20 meses.

ANEXOS 6

Resultados para los análisis químicos de las maderas con distinto tiempo de almacenamiento.

| | M. fresca | 5 meses | 10 meses | 20 meses |
|-----------|------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| muestra 1 | 1,3 | 1,1 | 1,0 | 0,8 |
| muestra 2 | 1,3 | 0,9 | 0,8 | 0,8 |
| muestra 3 | 1,2 | 0,9 | 0,8 | 0,8 |

Cuadro 32: Determinación de solubles en Etanol-Tolueno.

| | M. fresca | 5 meses | 10 meses | 20 meses |
|------------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| muestra 1 | 3,5 | 3,9 | 3,7 | 3,6 |
| muestra 2 | 3,6 | 4,3 | 3,5 | 3,9 |
| muestra 3 | 3,5 | 4,0 | 3,6 | 3,3 |

Cuadro 33: Determinación de Extraíbles Totales.

| | M. fresca | 5 meses | 10 meses | 20 meses |
|------------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| muestra 1 | 53,8 | 52,9 | 52,5 | 51,6 |
| muestra 2 | 53,3 | 51,6 | 50,6 | 49,6 |
| muestra 3 | 54,1 | 51,2 | 52,1 | 51,5 |

Cuadro 34: Determinación de Celulosa.

| | M. fresca | 5 meses | 10 meses | 20 meses |
|------------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| muestra 1 | 25,1 | 27,1 | 27,3 | 27,1 |
| muestra 2 | 25,2 | 27,4 | 27,1 | 27,4 |
| muestra 3 | 25,1 | 27,3 | 27,4 | 27,3 |

Cuadro 35: Determinación de Lignina.

ANEXOS 7

Resultados para los pulpajes de las maderas con distintos tiempos de almacenamientos.

| RENDIMIENTO | | | |
|----------------------|--------------|---------|--------------|
| CLASIFICADO | RECHAZO | TOTAL | KAPPA |
| 49,3 | 0,2 | 49,5 | 26 |
| 50,5 | 0,2 | 50,7 | 30 |
| 49,6 | 0,0 | 49,6 | 25,0 |
| AA. CONSUMIDO | | | |
| S. TOTALES | %B. REACTIVO | %B.M.S. | AA. RESIDUAL |
| 17,3 | 62,3 | 11,8 | 17,9 |
| 17,9 | 60 | 11,4 | 19 |
| 17,4 | 61,1 | 11,6 | 18,5 |

Cuadro 36: Resultados pulpajes madera fresca

| RENDIMIENTO | | | |
|----------------------|--------------|---------|--------------|
| CLASIFICADO | RECHAZO | TOTAL | KAPPA |
| 48,1 | 1,2 | 49,3 | 35 |
| 46,7 | 3,5 | 50,2 | 34 |
| 47,7 | 1,7 | 49,4 | 32 |
| AA. CONSUMIDO | | | |
| S. TOTALES | %B. REACTIVO | %B.M.S. | AA. RESIDUAL |
| 16,1 | 77,5 | 14,7 | 10,7 |
| 15,9 | 68,3 | 13 | 15,1 |
| 18,7 | 64,8 | 12,3 | 16,7 |

Cuadro 37: Resultados pulpajes madera 5 meses

| RENDIMIENTO | | | |
|----------------------|--------------|---------|--------------|
| CLASIFICADO | RECHAZO | TOTAL | KAPPA |
| 46,7 | 0,3 | 47,0 | 29 |
| 48,4 | 0,3 | 48,7 | 31 |
| 48,1 | 0,3 | 48,4 | 29 |
| AA. CONSUMIDO | | | |
| S. TOTALES | %B. REACTIVO | %B.M.S. | AA. RESIDUAL |
| 17,4 | 68,1 | 13 | 15,2 |
| 16,4 | 67,1 | 12,8 | 15,6 |
| 18,4 | 69 | 13,1 | 14,7 |

Cuadro 38: Resultados pulpajes madera 10 meses.

| RENDIMIENTO | | | |
|----------------------|--------------|---------|--------------|
| CLASIFICADO | RECHAZO | TOTAL | KAPPA |
| 46,1 | 0,8 | 47,9 | 31 |
| 46,8 | 0,3 | 47,1 | 33 |
| 45,4 | 1,2 | 46,6 | 29 |
| AA. CONSUMIDO | | | |
| S. TOTALES | %B. REACTIVO | %B.M.S. | AA. RESIDUAL |
| 17,8 | 68,5 | 13,0 | 15 |
| 17,1 | 67,9 | 12,9 | 15,3 |
| 19,5 | 68,6 | 13,0 | 14,9 |

Cuadro 39: Resultados pulpajes madera 20 meses

ANEXOS 8

Resultados para las propiedades de resistencia de la pulpa.

| | M. fresca | 5 meses | 10 meses | 20 meses |
|-----------|-----------|---------|----------|----------|
| muestra 1 | 0,545 | 0,525 | 0,524 | 0,683 |
| muestra 2 | 0,516 | 0,510 | 0,530 | 0,659 |

Cuadro 40: Densidad aparente de las pulpas.

| | M. fresca | 5 meses | 10 meses | 20 meses |
|-----------|-----------|---------|----------|----------|
| muestra 1 | 45,4 | 53,9 | 50,5 | 75,0 |
| muestra 2 | 44,5 | 53,8 | 57,3 | 70,8 |

Cuadro 41: Índice de tracción.

| | M. fresca | 5 meses | 10 meses | 20 meses |
|-----------|-----------|---------|----------|----------|
| muestra 1 | 24,1 | 20,3 | 18,6 | 10,9 |
| muestra 2 | 23,2 | 21,4 | 17,4 | 11,7 |

Cuadro 42: índice de rasgado

| | M. fresca | 5 meses | 10 meses | 20 meses |
|-----------|-----------|---------|----------|----------|
| muestra 1 | 3,0 | 3,4 | 3,2 | 4,4 |
| muestra 2 | 3,0 | 3,1 | 3,4 | 3,7 |

Cuadro 43: Índice de explosión