

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
FACULTAD DE AGRONOMIA

Fabricación de pastas Kraft blanqueadas de plantaciones comerciales de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden y *Eucalyptus globulus* Labillardiere ssp. *maidenii* (F. Mueller) Kirkpatrick.

por

Marcelo CROSA NADAL
Sebastián QUAGLIOTTI ESTRADÉ

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo.

MONTEVIDEO
URUGUAY
2004

Tesis aprobada por:

Director: Dr. Ing. Agr. Luis Soria
Nombre completo y firma

Ing. Agr. Carlos Mantero
Nombre completo y firma

Ing. Quím. Raúl de Castro
Nombre completo y firma

Fecha: 8 de octubre de 2004

Autor: Marcelo Crosa
Nombre completo y firma

Sebastián Quagliotti
Nombre completo y firma

AGRADECIMIENTOS

- Al Dr. Ing. Agr. Luis Soria, director de nuestra tesis por el asesoramiento brindado durante toda la realización del presente trabajo.
- Al Ing. Agr. Carlos Mantero por la idea y apoyo durante la realización del trabajo.
- Al personal del sector de productos forestales del LATU, especialmente al Ing. Quím. Raúl de Castro y al Sr. Javier Doldán .
- Al los Ings. Agrs. José Carlos De Mello, Ismael Fariña y Bernardo Riet, por la ayuda y apoyo recibido durante toda la realización del trabajo.
- Al Ing. Agr. Esteban Fernández, por el suministro de la madera.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PAGINA DE APROBACIÓN.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	III
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISION BIBLIOGRAFICA</u>	3
2.1 <u>PROCESO KRAFT</u>	3
2.1.1 <u>Generalidades del proceso Kraft</u>	3
2.1.2 <u>Descripción del proceso Kraft</u>	4
2.1.3 <u>Variables que afectan la calidad de la pulpa</u>	5
2.1.4 <u>Propiedades y usos de pastas Kraft de Eucalipto</u>	6
2.2 <u>GENERALIDADES DE BLANQUEO</u>	7
2.3 <u>DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES</u>	10
2.3.1 <u><i>Eucalyptus globulus</i> Labillardière ssp. <i>maidenii</i> (F. Muller) Kirkpatrick</u>	10
2.3.2 <u><i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden</u>	11
2.4 <u>ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN</u>	12
3. <u>MATERIALES Y METODOS</u>	27
3.1 <u>MATERIA PRIMA</u>	27
3.2 <u>METODOLOGÍA DE TRABAJO</u>	27
3.2.1 <u>Secuencia analítica</u>	27
3.2.2 <u>Obtención de trozas</u>	29
3.2.3 <u>Densidad aparente básica de la madera</u>	29
3.2.4 <u>Chipeado de la madera</u>	30
3.2.5 <u>Determinación de la humedad de los chips</u>	30
3.2.6 <u>Cocción</u>	31
3.2.7 <u>Lavado de pulpa</u>	34
3.2.8 <u>Desintegrado de la pulpa</u>	34
3.2.9 <u>Tamizado de pulpa</u>	34
3.2.10 <u>Rendimiento Bruto, Rendimiento Clasificado y Consumo Específico</u>	35
3.2.11 <u>Índice Kappa</u>	36
3.2.12 <u>Pre tratamiento con oxígeno</u>	38
3.2.13 <u>Blanqueo</u>	41
3.2.13.1 <u>Blanqueo ECF: D₁EpD₂P</u>	41
3.2.13.2 <u>Blanqueo TCF: AP₁P₂</u>	43
3.2.13.3 <u>Determinación de la viscosidad de la pasta blanqueada</u>	44
3.2.13.4 <u>Propiedades ópticas</u>	45
3.2.14 <u>Refinado de la pasta</u>	46

3.2.15 <u>Drenabilidad de la pasta</u>	48
3.2.16 <u>Formación de hojas manuales</u>	49
3.2.17 <u>Ensayos físico-mecánicos</u>	50
3.2.17.1 Resistencia a la tracción.....	50
3.2.17.2 Resistencia al estallido.....	52
3.2.17.3 Resistencia al desgarro.....	52
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	54
4.1 <u>Densidad básica</u>	54
4.2 <u>Cocciones</u>	55
4.3 <u>Blanqueo</u>	57
4.3.1 Grado de Blanco, Opacidad y Reversión.....	57
4.3.2 Viscosidad.....	61
4.4 <u>Refino</u>	63
4.5 <u>Propiedades físico-mecánicas</u>	64
4.5.1 Índice de Tracción.....	64
4.5.2 Índice de Estallido.....	68
4.5.3 Índice de Desgarro.....	71
4.5.4 Índice = $\sqrt{\text{Índice de desgarro} \times \text{Índice de estallido}}$	75
5. <u>CONCLUSIONES</u>	76
6. <u>RESUMEN</u>	78
7. <u>SUMMARY</u>	79
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	80
9. <u>APÉNDICES</u>	83

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro N°	Página
1. Tratamientos químicos utilizados en el blanqueo.....	10
2. Densidad básica de <i>Eucalyptus grandis</i> y <i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i> a los 4 y 9 años de edad según Backman y García De León.(1, 2).....	14
3. Resultados de la cocción y blanqueo de <i>E. grandis</i> y <i>E. globulus ssp. maidenii</i> a los 4 y 9 años de edad obtenido por Backman y García De León. (1, 2).....	15
4. Condiciones de cocción del trabajo realizado por Gerischer y van Wyk. (17).....	16
5. Resultados de la cocción Kraft realizada por Gerischer y van Wyk(17).....	16
6. Propiedades físico-mecánicas estudiadas en el trabajo realizado por Gerischer y van Wyk. (17).....	17
7. Condiciones de cocción del trabajo realizado por Carriquiry. (6).....	18
8. Propiedades físico-mecánicas de <i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i> estudiadas en el trabajo realizado por Carriquiry. (6).....	18
9. Condiciones de cocción del trabajo realizado por Bustamante, citado por Carrau y Oribe (5), en <i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i>	19
10. Características y propiedades físico-mecánicas de las pasta de <i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i> realizado por Bustamante, citado por Carrau y Oribe. (5).....	19
11. Condiciones de cocción del trabajo realizado por Bustamante, citado por Carrau y Oribe(5), en <i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i> y <i>Eucalyptus globulus ssp. globulus</i>	20
12. Características y propiedades físico-mecánicas de las pasta de <i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i> y <i>Eucalyptus globulus ssp. globulus</i> realizado por Bustamante citado por Carrau y Oribe. (5).....	20

13. Condiciones de cocción del trabajo realizado por Carrau y Oribe. (5).....	21
14. Resultados obtenidos de pasta de <i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i> por Carrau y Oribe. (5).....	21
15. Propiedades físico-mecánicas a diferentes grado refino, obtenidos por Carrau y Oribe. (5).....	22
16. Resultados presentados por Leporini (20), en pruebas de diferentes secuencias de blanqueo de <i>Eucalyptus</i>	24
17. Condiciones de cocción utilizadas por Gomide J.L., et.al. (18).....	24
18. Condiciones de blanqueo utilizadas por Gomide J.L., et.al.(18).....	25
19. Resultados de las cocciones del trabajo presentado por Gomide J.L., et.al.(18).....	25
20. Resistencias de las pulpas para un consumo de 40 W.h de energía de refino, según Gomide J.L., et.al.(18).....	26
21. Condiciones de cocción de <i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i>	32
22. Condiciones de cocción de <i>Eucalyptus grandis</i>	33
23. Reactivos utilizados en el pre-tratamiento con oxígeno para <i>Eucalyptus grandis</i>	40
24. Reactivos utilizados en el pre-tratamiento con oxígeno para <i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i>	40
25. Condiciones de blanqueo para <i>Eucalyptus grandis</i>	42
26. Condiciones de blanqueo para <i>Eucalyptus globulus ssp maidenii</i>	42
27. Kg. de cloro activo equivalente promedio por tonelada de pasta seca utilizados para la secuencia D ₁ EpD ₂ P de <i>Eucalyptus grandis</i> y <i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i>	42
28. Condiciones de blanqueo para <i>Eucalyptus grandis</i> y <i>Eucalyptus globulus ssp maidenii</i>	43

29. Kg. de cloro activo equivalente promedio por tonelada de pasta seca utilizados para la secuencia P ₁ P ₂ de <i>Eucalyptus grandis</i> y <i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i>	43
30. Número de vueltas de refinado según Grados Shopper esperados para ambas especies.....	48
31. Resultados de densidad básica aparente de <i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i> y <i>Eucalyptus grandis</i>	54
32. Resultados promedios de las cocciones de <i>Eucalyptus grandis</i> y <i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i>	55
33. Resultados obtenidos de grado de blanco, opacidad y reversión, de la secuencia de blanqueo OD ₁ EpD ₂ P, para ambas especies.....	58
34. Resultados obtenidos de grado de blanco, opacidad y reversión, de la secuencia de blanqueo OAP ₁ P ₂ , para ambas especies.....	59
35. Resultados obtenidos de viscosidad de las dos especies y secuencias de blanqueo.....	61
36. Resultados obtenidos de grado de refinado en función del número de revoluciones, según especie y secuencia de blanqueo.....	63
37. Resultados obtenidos de Índice de Tracción de <i>Eucalyptus globulus spp. maidenii</i> , según secuencia de blanqueo y grado de refinado.....	64
38. Resultados obtenidos de Índice de Tracción de <i>Eucalyptus grandis</i> , según secuencia de blanqueo y grado de refinado.....	66
39. Resultados obtenidos de Índice de Estallido de <i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i> , según secuencia de blanqueo y grado de refinado.....	68
40. Resultados obtenidos de Índice de Estallido de <i>Eucalyptus grandis</i> , según secuencia de blanqueo y grado de refinado.....	69
41. Resultados obtenidos de Índice de Desgarro de <i>Eucalyptus globulus spp. maidenii</i> , según secuencia de blanqueo y grado de refinado.....	71
42. Resultados obtenidos de Índice de Desgarro de <i>Eucalyptus grandis</i> , según secuencia de blanqueo y grado de refinado.....	73

Figura N°

1. Secuencia analítica de la técnica experimental utilizada.....	28
2. Secuencia analítica realizada para el blanqueo y los ensayos.....	39
3. Grado de blanco y reversión, según especie y secuencia de blanqueo.....	60
4. Opacidad, según especie y secuencia de blanqueo.....	61
5. Viscosidad, según especie y secuencia de blanqueo.....	62
6. Grado de refinó en función del número de revoluciones.....	64
7. Índice de Tracción de <i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i> para las dos secuencias de blanqueo, según grado de refinó.....	65
8. Índice de Tracción de <i>Eucalyptus grandis</i> para las dos secuencias de blanqueo, según grado de refinó.....	66
9. Índice de Tracción de <i>Eucalyptus grandis</i> y <i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i> para las dos secuencias de blanqueo, según grado de refinó.....	67
10. Índice de Estallido de <i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i> para las dos secuencias de blanqueo, según grado de refinó.....	69
11. Índice de Estallido de <i>Eucalyptus grandis</i> para las dos secuencias de blanqueo, según grado de refinó.....	70
12. Índice de Estallido de <i>Eucalyptus grandis</i> y <i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i> para las dos secuencias de blanqueo, según grado de refinó.....	71
13. Índice de Desgarro de <i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i> para las dos secuencias de blanqueo, según grado de refinó.....	72
14. Índice de Desgarro de <i>Eucalyptus grandis</i> para las dos secuencias de blanqueo, según grado de refinó.....	74
15. Índice de Desgarro de <i>Eucalyptus grandis</i> y <i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i> para las dos secuencias de blanqueo, según grado de refinó.....	74
16. Índice óptimo de desarrollo de características del papel, según grado de refinó.....	75

1. INTRODUCCION

Hasta la década del 70 el mercado mundial de celulosa era dominado principalmente por maderas de fibra larga, provenientes de América del Norte y Europa. A partir de este momento se dio inicio a un importante y constante incremento del comercio de pulpa de *Eucalyptus* en detrimento de las provenientes de madera de fibra larga, principalmente debido a: las buenas características morfológicas de la fibra, alto rendimiento pulpable, y las excelentes características de las fibras para la producción de papel de alta calidad (papeles de impresión). A su vez el género presenta una excelente tasa de crecimiento dando árboles con alto rendimiento en fibra a un costo relativamente mas bajo.

Actualmente, la participación del género en el mercado mundial de pulpa de madera de latifoliadas se ha estimado en aproximadamente un 40%, registrándose los mayores incrementos a partir de mediados de la década del 80, siendo Brasil el mayor productor de celulosa de *Eucalyptus* en el mundo con aproximadamente 2.200.000 ha plantadas y una producción de 7.405.000 toneladas de pasta celulósica. (16)

En Uruguay, desde la promoción de la forestación por parte del estado, a través de la Ley N° 15.939 del año 1987, la producción de madera se ha visto fuertemente incrementada, de tal forma que las plantaciones al año 2002 ocupan un área de 633.254 hectáreas, de las cuales el 72 % de la misma corresponde al género *Eucalyptus*. Dentro de este género, la especie *Eucalyptus grandis* ocupa un área cercana a 160.000 hectáreas (35 % sobre el total plantado del género) y el *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* un área declarada ante la Dirección General Forestal próxima a las 41.000 hectáreas (9 % sobre el total plantado del género). (31)

Inicialmente la especie *Eucalyptus grandis* fue plantada en el Uruguay con el objetivo principal de obtener madera para aserrío, sin embargo no se descarta su uso pastero papelerero ya que son conocidas sus buenas características para este fin.

Dentro del *Eucalyptus globulus* la subespecie *maidenii*, ha sido plantada en zonas alejadas del mar como en el litoral y norte del país, buscando superar las limitaciones que imponen dichos ecosistemas naturales a la expansión del *Eucalyptus globulus ssp. globulus*. Aún es muy pronto para extraer conclusiones sobre su performance en esos ecosistemas: las primeras observaciones sobre el crecimiento inicial de las plantaciones son alentadoras. Como se sabe, el *Eucalyptus globulus ssp. globulus* es la especie valorada con mejores precios por la demanda de madera pulpable en el mercado internacional. En este sentido, para optimizar las oportunidades comerciales del país, corresponde investigar en relación a cómo se comporta desde el punto de vista pulpable el *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*. (26)

El objetivo general del presente trabajo, es determinar las características de las pulpas blanqueadas de las especies *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*, obtenidas de plantaciones comerciales. Para esto se obtienen las pulpas mediante el procedimiento Kraft y blanqueo libre de cloro elemental (ECF) y totalmente libre de cloro (TCF).

Los objetivos específicos incluyen:

- Producir pulpas Kraft de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* a un índice Kappa de 18 ± 1 .
- Obtener resultados de grado de blanco en el entorno de 88-90 %ISO en ambas secuencias de blanqueo.
- Comparar las secuencias de blanqueo OD₁EpD₂P (ECF) y OAP₁P₂ (TCF), entre y dentro de cada especie a través de las propiedades ópticas del papel (grado de blanco, reversión y opacidad).
- Evaluar y comparar las características físico-mecánicas (Índice de desgarro, Índice de reventamiento, Índice de tracción) de ambas especies y secuencias de blanqueo.

El proceso de pulpeo Kraft o al Sulfato fue elegido por ser él más tradicional y aplicado actualmente en la industria celulósica. Algunas de las ventajas que ofrece este proceso sobre otros son: la gran versatilidad en el uso de materias primas, la capacidad de incrementar la resistencia de las fibras y fundamentalmente permite la recuperación de los reactivos químicos del proceso. (8)

En las dos últimas décadas, se han desarrollado técnicas de blanqueo, buscando no solo mejorar las características y propiedades de las pastas blanqueadas, sino que impulsando el desarrollo de tecnologías menos contaminantes del medio ambiente. Por esto secuencias de blanqueo de pulpas ECF (Elemental Chlorine Free) o libre de cloro elemental y TCF (Totally Chlorine Free) o totalmente libre de cloro se tornaron tecnologías básicas para el blanqueo de celulosa.

Actualmente la combinación de oxígeno, peróxido de hidrógeno y dióxido de cloro es la manera más eficiente de blanquear pulpas ECF y peróxido de hidrógeno con oxígeno y ozono es la manera más eficiente en pulpas TCF. (11, 16)

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 PROCESO KRAFT

2.1.1 Generalidades del proceso Kraft

Según Bermúdez (3), la obtención de pasta de celulosa se basa en la separación de las fibras naturales (compuestas básicamente por celulosa) por medios mecánicos (mediante la acción de molinos y refinadores) y/o químicos (disolviendo a la lignina que mantiene unidas a las fibras).

La obtención de pasta química se produce básicamente a través de dos procesos cuya diferencia principal se encuentra en el agente químico empleado para disolver a la lignina: el proceso al sulfato (o proceso “Kraft”) y el proceso al sulfito.

Los productos de elevada calidad como el papel para impresión, o productos químicos derivados de la celulosa, se obtienen a partir de pastas químicas, siendo las pastas “Kraft” destinadas a la fabricación del papel y las pastas al sulfito a la obtención de derivados químicos de la celulosa y papeles especiales.

Según Smook (28), el proceso Kraft se desarrolló hace 100 años a partir de la cocción a la sosa (que utiliza sólo hidróxido de sodio como especie química activa), cuando Carl S.Dahl introdujo sulfato de sodio en el sistema químico de cocción. La conversión en sulfuro de sodio en el licor de cocción resultante produjo una mejora drástica en la cinética de la cocción y las propiedades de la pulpa cuando se procesan coníferas. El hecho de que se utilice el sulfato de sodio como producto químico de reposición es la razón por la que el proceso Kraft se denomina también “al sulfato”.

El mismo a llegado a ocupar una posición dominante debido a sus ventajas en la recuperación de productos químicos y en el incremento de la resistencia de la pulpa. Esta recuperación de reactivos químicos, gastados en la cocción es una parte esencial del proceso, ya que si los mismos se vertieran al drenaje, el costo del proceso sería prohibitivo y la contaminación de las corrientes de agua sería muy severa. (22)

En el año 2000, según la Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), se produjeron cerca de 166 millones de toneladas de pasta de celulosa a partir de fibras vírgenes procedentes de maderas. De este volumen, el 74 % se obtuvo químicamente. (15)

2.1.2 Descripción del proceso Kraft

El objetivo del pulpeado químico es disolver la lignina, dejando la mayor parte de la celulosa y las hemicelulosas en su forma intacta en las fibras, aunque en la práctica una cierta cantidad de estas también se degradan.

El proceso Kraft involucra la cocción de las astillas de madera en una solución acuosa con hidróxido de sodio (NaOH) y sulfuro de sodio (Na₂S) a temperatura y presión elevadas. El ataque alcalino causa una rotura de la molécula de lignina en fragmentos más pequeños, cuyas sales de sodio son solubles en el licor de cocción. El proceso se asocia con la emisión de gases malolientes, principalmente sulfuros orgánicos, que causan problemas ambientales. (8)

Según Smook (28), el proceso de cocción o digestión puede ser continuo o discontinuo. En la cocción discontinua, el digestor se llena de astillas y se adiciona suficiente licor para cubrirlas. Después, el contenido se calienta de acuerdo a un programa predeterminado, normalmente por circulación forzada del licor de cocción a través de un intercambiador de calor. Por la parte superior del reactor se sacan aire y otros gases no condensables por medio de una válvula de control de presión. La temperatura máxima se suele alcanzar después de 1-1.5 h., que permite al licor de cocción impregnar las astillas. La cocción se mantiene entonces a temperatura máxima (usualmente entorno a 170 °C) durante 1-2 h. para completar las reacciones de cocción. Después de la digestión, el contenido se descarga en un tanque de soplado donde las astillas ablandadas se desintegran en fibras; el vapor de evaporizado se condensa en un intercambiador de calor para proporcionar agua caliente para el lavado de la pulpa. En la cocción continua, las astillas son comúnmente precalentadas en un recipiente de vaporizado antes de entrar en el digestor para eliminar el aire y otros gases no condensables. Una vez dentro del digestor continuo, las astillas y el licor se mantienen durante un período controlado a una temperatura intermedia (115-120 °C) para promover una penetración uniforme del licor de cocción. La mezcla se calienta después, por circulación forzada a través de un intercambiador de calor o por inyección de vapor, a la temperatura máxima y se mantiene durante 1-1.5 h. Una vez completada la cocción, se extrae el licor residual caliente a un tanque de baja presión, donde se genera vapor de revaporizado para utilizar en el recipiente de prevaporizado. La pulpa se enfría normalmente por debajo de 100 °C con licor residual antes de la descarga para prevenir daños mecánicos en las fibras.

La pulpa cocida se separa del licor residual en un proceso cuidadosamente controlado conocido como lavado de pulpa cruda. El método más conocido utiliza una serie de filtros de lavado a vacío en contracorriente para lograr el desplazamiento del licor con una dilución mínima. Algunos digestores continuos incorporan una etapa de lavado por difusión en conjunción con la extracción del licor residual y el enfriamiento de la pulpa. A continuación del lavado la pulpa es depurada y clasificada.

2.1.3 Variables que afectan la calidad de la pulpa

Existen diversos factores que determinan la calidad de la pulpa de madera; entre estos se encuentran:

- *Especie y calidad de la madera:* las pulpas de fibra corta (1-1.5 mm) de maderas de latifoliadas tienen propiedades diferentes que las pulpas de fibra larga (3-4 mm) de maderas de coníferas. La densidad de la madera es un factor importante en la operación de la fábrica de pulpa. Las maderas más densas requieren, para el mismo rendimiento, un tiempo más prolongado que las maderas suaves.
- *Tiempo de digestión:* el tiempo de digestión está relacionado con otras variables de la digestión, por ejemplo, temperatura, concentración de álcali efectivo y sulfidez del licor. Un aumento en cualquiera de las últimas tres variables disminuirá, dentro de ciertos límites, el tiempo requerido para cocer una materia prima a un rendimiento y calidad especificados.
- *Temperatura de digestión:* La temperatura usual de cocción en las fábricas de pulpa es de 170 °C. Una ligera variación en esta temperatura afectará el tiempo de cocción. Se ha ideado un procedimiento para expresar el tiempo de cocción y la temperatura como una sola variable: el “*factor H*”. Este factor es el área comprendida bajo la curva de velocidad relativa de reacción *versus* tiempo. El factor H combina la temperatura y el tiempo de cocción en una sola variable.
- *Sulfidez del licor:* Se define como la razón de sulfuro de sodio (Na_2S) a álcali activo expresándose como porcentaje sobre base Na_2O . La velocidad de cocción depende tanto de la alcalinidad del licor como de la cantidad de sulfuro. Los efectos indeseables de una alta alcalinidad (ataque químico de la celulosa), pueden compensarse usando sulfuro adicional, hasta un límite máximo después del cual no se obtiene aumento en la velocidad de cocción o en la calidad de la pulpa.
- *Relación de productos químicos a madera y concentración del reactivo de cocción en el licor:* con las astillas, se deben agregar al digestor suficientes productos químicos para disolver la cantidad deseada de lignina y cocer las astillas al grado conveniente. La velocidad de reacción química está determinada por la concentración y la cantidad de los reactivos en la cocción, que es un factor muy importante en la velocidad de deslignificación. En la cocción al sulfato es práctica ordinaria especificar la relación inicial de reactivos a madera (álcali activo), la relación inicial de licor a madera, y por medio de estas dos variables, la concentración inicial de reactivos. (28)

2.1.4 Propiedades y usos de pastas Kraft de Eucalipto

Según Bermúdez (3), las buenas condiciones de madera de *Eucalyptus* para su aprovechamiento por la industria pastero-papelera vienen dadas por las siguientes características:

- El residuo contenido de lignina, junto con la elevada reactividad que presenta en las condiciones de deslignificación empleadas en el proceso “Kraft”, permite obtener pastas con un elevado rendimiento y grado de blancura, bajo contenido de lignina residual, y reducida degradación de la celulosa y hemicelulosas.
- La baja degradación de las fibras, durante el proceso, permiten mantener sus propiedades mecánicas, permitiendo la obtención de pastas y papeles adecuados para aquellas aplicaciones en las cuales las propiedades mecánicas desempeñan un papel fundamental (por ejemplo, papel de impresión empleado en fotocopiadoras en donde la resistencia al desgarro es determinante de la calidad).
- El reducido contenido de lignina residual contribuye a la estabilidad en la blancura del producto final.
- La dimensión de sus fibras permiten su empleo como aditivo en aquellas pastas obtenidas a partir de fibras largas en las que las exigencias en el grado de lisura sea determinante, sin comprometer sus propiedades mecánicas.
- El elevado contenido de fibras por unidad de masa junto con un reducido tamaño permite producir papeles con reducidos espesores y altos gramajes, caracterizados por una notable opacidad y lisura. Estas características permiten obtener productos de elevada calidad, como los papeles gráficos.
- Su capacidad de absorción permite la mejora en los tratamientos con colorantes y/o resinas para la obtención de determinados productos, sin perjudicar su aplicación para la obtención de papel de imprenta.
- Por último, la elevada flexibilidad de las fibras de *Eucalyptus* (debido a las características físicas de la fibra junto con la presencia de hemicelulosas) y el elevado número de fibras por unidad de masa resultan las características más importantes para su destino a la obtención de papeles absorbentes (por ejemplo, papel higiénico).

Adicionalmente, Reinoso (25), presenta las siguientes ventajas de las pastas de *Eucalyptus*:

- El volumen específico de un papel se mejora claramente con la adición de pastas de eucalipto, lo cual supone, entre otras, una interesante ventaja durante la posterior impresión del papel. Este aumento de volumen se debe a las características intrínsecas de la fibra de eucalipto, especialmente a su menor longitud y flexibilidad, propiedades que hacen que, durante la fabricación del papel se reduzca el número de uniones interfibrilares y se produzca un menor contacto entre fibras, lo cual origina un papel menos denso y por consiguiente de mayor volumen.
- La mayor porosidad de la pasta de *Eucalyptus* mejora el desgote, con lo cual la hoja llega al secador con menor humedad. Además favorece la penetración del vapor a través de la misma, con lo que el secado es más eficaz. El efecto conjunto de ambos factores determina o un menor consumo específico de vapor, o un incremento en la velocidad de la máquina y, por ende, la producción.
- La mayor porosidad, además de la ventaja señalada en el párrafo anterior, favorece, siempre que no sea excesiva, la absorción de tinta en el proceso de impresión y su posterior secado. Además esta mayor porosidad es también una ventaja para la utilización de estas pastas en la fabricación de papeles absorbentes para impregnación posterior con resinas.
- La opacidad, característica de máxima importancia en los papeles de escritura e impresión, aumenta claramente con la adición de porcentajes crecientes de pastas de eucalipto en la composición del papel; la excelente relación resistencia mecánica-opacidad permite que, sin reducción de la primera se puedan fabricar papeles de impresión y escritura con altos niveles de opacidad, empleando habitualmente el 80% de pastas de eucalipto y en algunos casos eucalipto únicamente.

2.2 GENERALIDADES DE BLANQUEO

El principal objetivo del blanqueo de pasta de celulosa, aunque no el único, es hacerlas más blancas, sin perjudicar las características de resistencia de las mismas. Por otra parte, en el blanqueo no solo se desea conseguir más blancura sino que ésta sea estable con el tiempo.

Las sustancias presentes en las pastas que producen una mayor absorción de la luz son los componentes derivados de la lignina y de la resina. Para blanquear es preciso que estas sustancias sean transformadas químicamente en su estado sólido para disminuir su

absorción de luz, o sean oxidadas, reducidas o hidrolizadas para hacerlas solubles en soluciones acuosas y así eliminarlas de la pasta.

El blanqueo con eliminación de lignina puede considerarse como una extensión del proceso de cocción química ya que comparten el mismo objetivo principal, la eliminación de la lignina con una mínima disolución de los carbohidratos. (26)

Por otra parte, Cherubin (11), define al blanqueo de pastas químicas como una continuación de la deslignificación iniciada en la cocción, utilizándose para eso compuestos de cloro. Normalmente el blanqueo comienza con un tratamiento de la pasta con cloro, seguido por una extracción alcalina con soda cáustica, siendo aplicado después de eso una serie de combinaciones o secuencias en que se alternan dióxido de cloro, peróxido de hidrógeno, oxígeno y actualmente ozono.

A su vez Costa, de Oliveira, Santos y Leporini (12), consideran como la principal finalidad del blanqueo de pulpa de celulosa, la obtención de una pulpa de blancura adecuada para las exigencias del mercado, a través de la remoción y modificación de algunos componentes de pulpa no blanqueada, incluyendo, principalmente la lignina y sus productos degradados como ácidos hexenurónicos, extractos y iones metálicos. El blanqueo debe ser realizado, preferentemente con un mínimo de degradación de pulpa por pérdidas en viscosidad y/o rendimiento, de consumo de productos químicos, de formación de grupos carbonilos y carboxilos así como de impacto al medio ambiente.

Según Libby (22), la blancura de las pulpas generalmente se determina midiendo la reflectancia de una luz casi monocromática (457 μm) por medio de un medidor estándar de reflectancia conocida, utilizándose comúnmente una placa de óxido de magnesio. Los valores de blancura se expresan como porcentaje de luz reflejada por la muestra, en comparación con la reflejada por una superficie completamente blanca.

En el blanqueo de las pulpas se utilizan básicamente dos procedimientos. Uno utiliza productos químicos selectivos que destruyen algunos de los grupos cromofóricos pero no atacan materialmente la lignina, siendo utilizados para las pulpas de alto rendimiento con elevado contenido en lignina, tales como pasta mecánica, químico-mecánica, a la sosa en frío, y semiquímicas. El otro, para producir pulpas de alta calidad y estables, utiliza métodos de blanqueo que deslignifican la pulpa, eliminando casi o totalmente la lignina, siendo comúnmente utilizado el mismo en pulpas al sulfito, a la sosa y Kraft. (28)

Según Repetti (26), la eliminación del grueso de la lignina por cocción se realiza con sustancias no oxidantes como álcalis, sulfuros o sulfitos, porque son más baratos, pueden utilizarse a altas temperaturas para acelerar la velocidad de difusión en la madera y pueden recuperarse para su reutilización. Sin embargo, estos procesos de cocción no pueden llegar a la completa eliminación de la lignina sin degradar seriamente los

hidratos de carbono. Se obtienen usualmente pastas crudas, cuyas blancuras oscilan entre 20 y 60 %.

Puesto que la lignina es muy fácilmente oxidada por muchas sustancias, la lignina residual en la pasta puede eliminarse por oxidación y disolución en álcali. No obstante, aún no se ha encontrado una sustancia química única que sea lo suficientemente barata para ser utilizada comercialmente y que tenga la suficiente selectividad para oxidar y disolver la lignina, sin dañar la celulosa, para blanquear la pasta en una sola etapa. Entre las sustancias conocidas es el dióxido de cloro el que más se aproxima a estas condiciones. Aunque puede usarse para blanquear en una sola etapa, resulta mejor y más barato emplearlo como parte de un sistema de blanqueo de múltiples etapas.

El cloro es el agente oxidante disponible más barato, reacciona muy rápidamente con la lignina a baja temperatura y perjudica poco a la fracción de hidratos de carbono, pues se limita a clorar y oxidar la lignina. Frecuentemente la pasta es más oscura después del tratamiento con cloro (suele ser de un color amarillo naranja). El cloro se utiliza para eliminar la mayor parte de la lignina porque es más barato y ahorra los agentes de blanqueo más caros, necesarios para el blanqueo final y, además, porque los productos de su reacción con la lignina son fácilmente solubles en una solución de soda cáustica diluida.

Por esta razón, el siguiente tratamiento en la mayoría de los procesos de blanqueo es una extracción con soda cáustica diluida a temperatura, para disolver la lignina clorada y oxidada y que así no consuma agentes blanqueantes en las siguientes etapas. La etapa de extracción alcalina también disuelve algunos componentes de resina y algunas hemicelulosas, dependiendo la cantidad eliminada del porcentaje de NaOH respecto a pasta y de la consistencia, temperatura, y tiempo de tratamiento.

La ulterior oxidación de la pasta para eliminar la lignina restante puede hacerse con varios reactivos: el hipoclorito de sodio que es muy fácil de preparar a partir de cloro y soda cáustica, el dióxido de cloro que ha desplazado en gran medida al hipoclorito y los peróxidos de sodio e hidrógeno.

En los últimos años se ha dado un gran impulso a la utilización del oxígeno como agente de blanqueo, ya sea en la primera etapa, sustituyendo parcial o totalmente al cloro, o en la extracción alcalina donde se lo utiliza para disminuir el N° Kappa de la pasta extraída. Esto se debe al impacto ambiental que tiene la utilización de cloro.

Los tratamientos químicos comúnmente utilizados y sus designaciones se detallan en el cuadro N° 1.

Cuadro N° 1. Tratamientos químicos utilizados en el blanqueo.

ABREVIATURA	TRATAMIENTO QUÍMICO	CONDICIONES
C	Cloración	Reacción con cloro elemental en medio ácido
E	Extracción alcalina	Disolución de los productos de reacción con NaOH
H	Hipoclorito de sodio	Reacción con hipoclorito en solución alcalina
D	Dióxido de cloro	Reacción con ClO ₂ en un medio ácido
P	Peróxido	Reacción con peróxidos en medio alcalino
O	Oxígeno	Reacción con oxígeno elemental a alta presión y medio alcalino
D _c o C _d	Dióxido de cloro y cloro	Mezclas de cloro y dióxido de cloro
Z	Ozono	
A	Ácido	Tratamiento ácido

Fuente: elaboración propia a partir de Repetti, (26) y Smook, (28).

El blanqueo moderno se realiza normalmente en una secuencia de varios pasos o etapas sucesivas utilizando productos químicos y condiciones diferentes en cada una. Por ejemplo, algunas secuencias usuales en el blanqueo de pastas Kraft son: CEHDED, (DC)EDED, O(DC)EDED, O(DC)ED, (DC)EDPD, CEHD, CEDH, ECHD y CEHP.

2.3 DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES

2.3.1 *Eucalyptus globulus* Labillardière ssp. *maidenii* (F. Muller) Kirkpatrick

Gran árbol de fuste recto con follaje péndulo de textura media gruesa. Corteza caduca en largas fajas, ritidoma gris y pardo rojizo en partes mas viejas, a veces persistente en la base.

Primeras hojas y juveniles opuestas, sobre tallos de sección cuadrangular, sésiles, elípticas, ápice obtuso, base cordada, glaucas, discoloras. Las intermedias alternas, pecioladas, lanceolado-falcadas, ápice agudo, base cuneada, verdes concoloras. Adultas alternas, pecioladas, falcadas, ápice agudo acuminado, base cuneada amplia, verdes, concoloras.

Duramen amarillento, duro, moderadamente durable; densidad seco al aire de 930-960 Kg/m³.

Naturalmente se localiza en las regiones central-este y sur de Australia (34°45'-37°30' S), en áreas costeras escarpadas, entre los 200-900 m. de altitud con clima templado-frío de un promedio de temperaturas máximas de 23-27 °C y mínimas de -4 – 2 °C con 20- 80 heladas al año; húmedo con precipitaciones uniformes del orden de los 800 a 1200 mm. anuales.

Presenta preferencia por suelos húmedos, pesados, siendo sumamente plástico en este sentido, aunque se ha demostrado alta exigencia en el buen drenaje en el suelo.

Ha sido cultivado principalmente por su mayor resistencia al frío que la especie tipo.
(4)

2.3.2 *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden

Gran árbol, de tronco recto y muy buen desrame natural; follaje de textura media a gruesa. Corteza caduca en largas fajas, ritidoma gris verdoso a gris blanquecino, la porción basal persistente escamosa.

Primeras hojas opuestas, ovales; juveniles alternas, pecioladas, ovales, ápice agudo, base redondeada, verde oscura en el haz, muy discoloras. Las intermedias alternas, pecioladas, oval-lanceoladas, ápice acuminado, base cuneada, verdes oscuras muy discoloras. Adultas alternas, pecioladas, lanceoladas, ápice agudo, acuminado, base cuneada, verde oscuras, discoloras.

Duramen rosado, moderadamente duro y durable; densidad seco al aire de 640-690 Kg/m³.

Naturalmente se localiza en el este del continente australiano, en áreas disjuntas de la región norte y centro, costero (sur) y continental (norte), con diferentes registros altitudinales (0-600 m entre 25° y 33° sur, 500 m a los 21° sur y alrededor de 1100 m entre 16° y 19° sur); clima templado (sur) hasta tropical (norte) con un promedio de temperaturas máximas de 24-30 °C (sur) y 29-32 °C (norte), mínimas de 3 a 8 °C (sur) a 10-17 °C (norte), con heladas escasas en localizaciones alejadas de la costa; húmedo, con precipitaciones estivales con una media anual de 1.000 a 3.500 mm.

Prefiere suelos con buena capacidad de retención de agua, profundos, de texturas limosas, bien drenados.

Actualmente se trata de uno de los cultivos mas empleados en forestaciones comerciales por su conformación y su velocidad de crecimiento, las que pueden verse sensiblemente disminuidos en los suelos poco desarrollados y en aquellos con drenaje imperfecto. Las plantas y plántulas jóvenes no toleran excesivas heladas. (4)

2.4 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION

Resultados presentados por Résquin (27), en evaluaciones realizadas por el INIA, con especies de *Eucalyptus*, incluidos el *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*, a partir de siete años de edad, muestran que no se detectaron diferencias significativas entre las especies con relación a las propiedades mecánicas del papel sin blanquear. En cuanto a rendimiento bruto en pasta, existe una tendencia para *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* de presentar el mayor valor de esta variable.

El autor en dicha evaluación afirma que, de acuerdo a los resultados obtenidos en laboratorio, desde el punto de vista de la producción de pulpa, tanto *Eucalyptus grandis* como *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* muestran valores interesantes de densidad de la madera y rendimiento en pulpa. Esto se traduce en bajos valores de consumo de madera por tonelada de celulosa producida. Con relación a las propiedades mecánicas del papel sin blanquear, de todas las especies evaluadas, el autor concluye que, en la mayoría de los casos, los valores obtenidos son adecuados para la producción de papeles de embalaje. A pesar de que estos valores pueden considerarse como no limitantes para la fabricación de papel de escritura e impresión, donde el papel es sometido a fuerzas de tracción a alta velocidad, sería conveniente observar su comportamiento en el blanqueo.

Según Villena (34), la densidad depende del tamaño de los vasos y de la cantidad de los mismos, del espesor de la pared celular, del diámetro de las fibras y de la composición química de la madera, de tal forma que dos maderas con densidades similares pueden ser muy distintas en cuanto a las características anteriores.

Una mayor densidad básica significa para la industria pastera mejorar la productividad de los digestores, ya que para un mismo rendimiento bruto en cocción la cantidad de pasta producida por unidad de tiempo es mayor, lo que supone una mayor capacidad de producción o un ahorro en la inversión para la misma capacidad de diseño.

Desde el punto de vista de la calidad, la pasta fabricada con madera de alta densidad, generalmente tiene más volumen, una estructura más abierta y por tanto es más porosa y compresible, suministrando a los papeles una mejor imprimabilidad y opacidad, mientras que una madera de densidad baja produce, en general, una pasta más densa, más lisa y de mayor resistencia a la tracción y al estallido.

El mismo autor presenta resultados promedios de densidad básica de distintos orígenes, incluyendo muestras de España, Ecuador, Chile y Uruguay de madera de diferentes especies de *Eucalyptus* utilizadas en la industria pastero-papelera, donde se pueden distinguir tres grupos que difieren significativamente entre sí, por un lado, un grupo formado por las subespecies de *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus*, *Eucalyptus globulus* ssp. *maidenii* y *Eucalyptus globulus* ssp. *bicostata* con una densidad media global de 0.553 g/cm^3 , un segundo grupo formado por *Eucalyptus camaldulensis* y *Eucalyptus dunnii* con una densidad media global de 0.477 g/cm^3 y en tercer lugar *Eucalyptus grandis* con 0.453 g/cm^3 .

A su vez define el rendimiento bruto como la cantidad remanente de los componentes de la pared celular después de ser sometida la madera al proceso de cocción y se expresa como porcentaje sobre la madera seca introducida al digestor.

Los beneficios asociados al mayor rendimiento bruto en cocción son: la reducción de los requerimientos de madera, la reducción de productos químicos, la mejora de la eficiencia de los digestores, un menor contenido en sólido de las leñas negras, mayor eficiencia del circuito de recuperación – caustificación y el incremento global de la capacidad de producción.

Para un índice Kappa de 20, utilizando 18.7 % de álcali activo en *Eucalyptus globulus* ssp. *maidenii* y 17.7 % de álcali activo en *Eucalyptus grandis* obtuvo un rendimiento bruto de 47.3 y 50.6 % respectivamente.

Finalmente, una forma de ver el efecto conjunto de los valores de densidad básica y rendimiento bruto en cocción es el consumo específico de madera (C.E.M), que expresa la cantidad de metros cúbicos de madera necesarios para obtener una tonelada de pasta seca al aire. Esta característica sirve para calificar las diferentes maderas de forma global ya que condicionan el diseño de las fábricas y por tanto la inversión inicial, así como el funcionamiento de las mismas en términos de eficiencia y eficacia, puesto que afectan tanto al proceso de producción, en costos y calidad del producto, como al circuito de recuperación y a la generación de energía. El *Eucalyptus globulus* ssp. *maidenii* presentó un consumo de 3.47 m^3 y el *Eucalyptus grandis* un consumo de 4.05 m^3 para producir una tonelada de pasta seca al aire.

Según Mantero (23), el valor promedio de densidad básica aparente a nivel nacional, para *Eucalyptus grandis* es de 0.43 g/cm^3 , con un desvío estándar de 0.04 y un C.V de 9.59 %.

Backman y García De León (1, 2), realizaron un estudio donde se buscaban correlaciones de las características pulpables y las propiedades técnicas del papel, obtenido mediante el proceso Kraft y blanqueo ECF, entre la mitad y el final de edad de rotación (4 y 9 años respectivamente), en cinco especies de *Eucalyptus*.

Las mismas fueron: *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* y *Eucalyptus benthamii*.

Para cada una de las especies se seleccionaron seis árboles codominantes, para representar al árbol tipo, a la mitad de la edad de rotación y al final de la misma. Se obtuvieron trozas de 1.20 m. de longitud, tomadas a la altura del pecho, como muestra representativa del total del árbol.

En cuanto a las condiciones de cocción en que fue realizado el estudio; la temperatura de la misma fue de 155 °C, siendo de 90 minutos el tiempo necesario para alcanzar la máxima temperatura, el álcali efectivo fue de 22 % como NaOH y la relación licor / madera fue de 4:1, siendo las muestras probadas de acuerdo a la norma SCAN-standard methods.

Los resultados obtenidos de densidad básica obtenidos para las dos especies a los 4 y 9 años de edad se presentan en el cuadro N° 2.

Cuadro N° 2. Densidad básica de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* a los 4 y 9 años de edad según Backman y García De León (1, 2).

	Densidad básica (Kg./m ³)	
	4 años de edad	9 años de edad
<i>Eucalyptus grandis</i>	449	498
<i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i>	555	593

Fuente: elaboración propia a partir de Backman y García De León.(1, 2)

Para ambas especies la densidad básica aumentó con la edad, en el caso de *Eucalyptus grandis* el aumento fue de 10 % y en *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* de aproximadamente 6.5 %.

A su vez los autores evaluaron el rendimiento de pulpa antes y después del blanqueo entre las especies, y entre las edades. En la cocción de las especies llevadas a Kappa 20, se observó un rendimiento mayor antes y después del blanqueo del *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* frente al *Eucalyptus grandis*, lo que esta explicado por la mayor densidad del primero. Por otra parte el rendimiento disminuyó, para ambas especies y en las dos edades evaluadas al blanquear la pulpa.

Por otra parte, utilizando la densidad y el rendimiento bruto, los autores obtuvieron para el *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* un consumo específico de madera a los 4 años de 3.6 m³ y de 3.2 m³ a los 9 años y para *Eucalyptus grandis* un consumo específico de madera para producir una tonelada de pasta seca de 4.3 m³ y 3.9 m³ para 4 y 9 años respectivamente.

Cuadro N° 3. Resultados de la cocción y blanqueo de *E. grandis* y *E. globulus ssp. maidenii* a los 4 y 9 años de edad obtenido por Backman y García de León. (1, 2)

Especie	<i>Eucalyptus grandis</i>		<i>Eucalyptus. globulus ssp. maidenii</i>	
	4	9	4	9
Edad	4	9	4	9
N° Kappa	19.7	17.2	19.2	19.1
Rendimiento en pulpa (%)	48.5	47.9	48.5	49.4
Rechazos (%)	0.1	0.9	0.2	1.0
Grado de Blanco (% ISO)	89.3	89.8	89.5	90.5
Rendimiento de pulpa blanqueada (%)	46.4	46.6	44.6	47.7
Viscosidad (dm ³ /Kg.)	898	1029	964	1095
Consumo de ClO ₂ /Δkappa (kg de ClO ₂ /Δkappa)	3.2	3.1	3.6	3.2

Fuente: elaboración propia a partir de Backman y García De León. (1, 2)

En cuanto a las propiedades físico-mecánicas estudiadas, los autores indican que el *Eucalyptus grandis* presenta valores de índice de tensión y de índice de rasgado mayores que el *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*, además de aumentar los mismos al aumentar el grado de refino (°SR).

Finalmente, los autores concluyen que el *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* presentó muy buenas propiedades físico-mecánicas y ópticas en los ensayos realizados, siendo una buena opción para la utilización en la industria de la pulpa, aunque no descartan que la misma puede presentar inconvenientes en las propiedades técnicas del papel, como en el corrimiento, procesamiento e impresión.

En otro trabajo realizado por Gerischer y van Wyk (17), se evaluaron las características pulpables de ocho especies de *Eucalyptus* de 12 años de edad, entre ellas el *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*, siendo comparados los resultados obtenidos con pulpa de *Eucalyptus grandis* realizada bajo similares condiciones de cocción, debido a las conocidas excelentes propiedades que presenta desde el punto de vista papelerero.

En el cuadro N° 4 se presentan las condiciones de cocción en que fue realizado el trabajo por Gerischer y van Wyk. (17)

Cuadro N° 4. Condiciones de cocción del trabajo realizado por Gerischer y van Wyk. (17)

Álcali efectivo	Sulfidez	Relación licor / madera	Temperatura máxima	Tiempo de digestión a 170 °C.	Tiempo total de cocción
18 % como Na ₂ O	22 % como Na ₂ O	4.5:1	170 ° C	20 min.	135 m.

Fuente: elaboración propia a partir de Gerischer y van Wyk. (17)

En el cuadro N° 5 se presentan los resultados de la cocción obtenidos por Gerischer y van Wyk. (17)

Cuadro N° 5. Resultados de la cocción realizada por Gerischer y van Wyk. (17)

Especie	Índice Kappa	Rendimiento (%)	Rechazo (%)	Aa. residual (g/l) como Na ₂ O
<i>Eucalyptus grandis</i>	23.1	50.3	1.63	8.93
<i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i>	24.2	44.0	1.77	4.56

Fuente: elaboración propia a partir de Gerischer y van Wyk. (17)

El cuadro N° 5 indica que el *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* presentó un rendimiento considerablemente menor que el *Eucalyptus grandis*, además de un descarte o rechazo después del pulpeo mayor. Los autores aclaran que este resultado podría atribuirse en alguna medida a una alta cantidad de nudos en la madera de *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*.

Sumado a estas desventajas, se comprobó que la demanda de reactivos químicos del *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* fue aproximadamente el doble que lo utilizado en el proceso con *Eucalyptus grandis*.

En el cuadro N° 6 se presentan los resultados obtenidos por los autores para las dos especies estudiadas, a diferentes grados de refinado de las propiedades físico-mecánicas.

Cuadro N° 6. Propiedades físico-mecánicas estudiadas en el trabajo realizado por Gerischer y van Wyk. (17)

	Tiempo de batido (min.)	° SR	Gramaje (g/m ²)	Índice de rasgado (mN.m ² /g)	Índice de reventamiento (kPa.m ² /g)	Largo de ruptura (Km)
<i>Eucalyptus grandis</i>	0	22	68.04	2.11	0.22	0.78
	1	29	70.93	6.64	1.45	4.92
	2	36	72.85	7.90	1.96	5.37
	3	48	73.31	9.63	2.79	7.26
	4	54	72.16	13.23	3.34	8.66
<i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i>	0	22	73.34	2.49	0.83	2.24
	1	28	77.59	3.03	1.11	2.68
	3	40	74.14	3.1	1.54	4.27
	5	54	75.29	4.17	2.45	6.02

Fuente: elaboración propia a partir de Gerischer y van Wyk. (17)

En cuanto a las propiedades físico mecánicas, los autores, además de confirmar el aumento de las mismas al incrementar el grado de refino (°SR) o de batido de la pulpa, encontraron diferencias sustanciales entre las especies, resultando el *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* no recomendable para la producción de fibra debido a los bajos valores de índice de rasgado, índice de reventamiento y largo de ruptura que presentó entre 1 y 3 minutos de batido.

Según Repetti (26), a medida que el grado de refino aumenta, el % de finos en la pasta se incrementa a causa del corte de las fibras, provocando la disminución de la resistencia al rasgado o desgarro.

Carriquiry (6), en su trabajo de tesis, evaluó la aptitud papelera de tres especies de *Eucalyptus*, entre ellas el *globulus ssp. maidenii*. A partir de muestras de madera obtenidas en bosques de Juan Lacaze en el Departamento de Colonia procedió a la elaboración de pasta Kraft, siendo las condiciones de cocción descritas en el cuadro N° 7.

Cuadro N° 7. Condiciones de cocción del trabajo realizado por Carriquiry. (6)

Álcali efectivo	Sulfidez	Relación licor / madera	Temperatura máxima	Tiempo de digestión a 170 °C.	Tiempo total de cocción
16 % como Na ₂ O	20 % como Na ₂ O	4:1	160-165 ° C	60 min.	120 m.

Fuente: elaboración propia a partir de Carriquiry. (6)

En cuanto a las características de la pasta en estado natural, el autor obtuvo un Índice Kappa de 42.8 y 24 g/l. de álcali activo residual en equivalentes Na₂O. A partir de dicha pasta, procedió a la caracterización físico-mecánica de la misma obteniendo los resultados que se presentan a continuación en el cuadro N° 8.

Cuadro N° 8. Propiedades físico-mecánicas de *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* estudiadas en el trabajo realizado por Carriquiry. (6)

Refino (r.p.m.)	° SR	Resistencia al rasgado (mN.m ² /g)	Índice de Rasgado (%)	Resistencia al Estallido (kPa.m ² /g)	Índice de Estallido (%)	Largo de ruptura (Km)
10.000	29.0	48.0	98.0	39.0	71.0	6.34
20.000	49.0	52.0	93.0	36.0	64.0	6.43

Fuente: elaboración propia a partir de Carriquiry. (6)

El autor concluye que al establecer el tratamiento de refino, las características físico-mecánicas de la pasta tienden a homogeneizarse, aunque para el caso del *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* el aumento de las revoluciones (de 10.000 a 20.000 vueltas) no mejoró sustancialmente tales características. Por otra parte, afirma que dicha especie no presenta diferencias frente a la especie tipo (*Eucalyptus globulus ssp. globulus*) con relación a las propiedades estudiadas, mostrando excelentes condiciones para la producción de pasta de celulosa y fabricación de papel.

Bustamante, citado por Carrau y Oribe (5), trabajó sobre *Eucalyptus globulus ssp. globulus*, de 8-9 años de edad, y *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* (n.d. años), evaluando la calidad de la pasta y analizando las propiedades físico-mecánicas del papel a partir de la pulpa de celulosa de estas subespecies. Las cocciones se llevaron a cabo en las condiciones que se describen en el cuadro N° 9.

Cuadro N° 9. Condiciones de cocción del trabajo realizado por Bustamante, citado por Carrau y Oribe(5), en *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*.

Álcali efectivo	Sulfidez	Relación licor / madera	Temperatura máxima	Tiempo de digestión a 170 °C.	Tiempo a temperatura máxima
16 % como Na ₂ O	25 % como Na ₂ O	4:1	170° C	60 min.	Llegar a N° Kappa 20

Fuente: Carrau y Oribe (5), a partir de Bustamante.

Para poder trabajar a un mismo grado de deslignificación, la variable del proceso fue el tiempo a temperatura máxima empleado para cada cocción, con el objetivo de lograr un número Kappa de 20. Las demás condiciones se mantuvieron fijas para cada cocción.

Cuadro N° 10. Características y propiedades físico-mecánicas de las pastas de *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* realizado por Bustamante, citado por Carrau y Oribe. (5)

Tiempo cocción a Temp. máxima	Consumo de reactivos % como Na ₂ O	Rmto. Total (%)	Índice Kappa	Grado de refino (°SR)	Longitud de Ruptura (Km)		Índice de Estallido (%)		Índice de Rasgado (%)	
					30 °SR	45 °SR	30 °SR	45 °SR	30 °SR	45 °SR
15 min.	9.84	50.0	21.0	20	7.7	9.2	40	49	37	40
20 min.	11.17	48.1	19.0	20	8.2	9.6	45	56	41	45
30 min.	12.26	47.1	17.3	21	7.3	8.7	42	55	48	44
60 min.	13.07	46.2	16.8	21	8.1	9.6	46	56	38	37

Fuente: Carrau y Oribe (5), a partir de Bustamante.

En el cuadro anterior se observa que en la pasta de *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*, a medida que el grado de deslignificación aumenta, el rendimiento total obtenido es menor. Por otra parte, ocurre un aumento de la resistencia de las pastas tanto para la longitud de ruptura como el índice de estallido a medida que el refino se incrementa de 30 °SR a 45 °SR, sin importar el grado de deslignificación que presentan las pastas. A su vez se observa que para un rango de número Kappa de 19-21 el índice de rasgado aumenta.

El mismo autor, su vez estudió las dos subespecies modificando las condiciones de cocción, siendo las mismas las que se detallan en el cuadro N° 11.

Cuadro N° 11. Condiciones de cocción del trabajo realizado por Bustamante, citado por Carrau y Oribe (5), en *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* y *Eucalyptus globulus ssp. globulus*.

Álcali efectivo	Sulfidez	Relación licor / madera	Temperatura máxima	Tiempo de subida de temperatura	Tiempo a temperatura máxima
15 % como Na ₂ O	20 % como Na ₂ O	3.5:1	170° C	120 min.	120 min.

Fuente: Carrau y Oribe (5) a partir de Bustamante.

Los resultados de la misma se presentan a continuación en el cuadro N°12.

Cuadro N° 12. Características y propiedades físico-mecánicas de las pastas de *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* y *Eucalyptus globulus ssp. globulus* realizado por Bustamante citado por Carrau y Oribe. (5)

Especie	Aa (%)	Rmto. bruto (%)	N° Kappa	°SR	45 °SR			
					Tiempo de Refino (min.)	Largo de Ruptura (Km)	Estallido (%)	Rasgado (%)
<i>Eucalyptus globulus ssp. globulus</i>	12.08	51.1	29	18.5	36	8.3	51	72
<i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i>	12.86	45.7	-	18	37	8.7	45	73

Fuente: Carrau (5) a partir de Bustamante.

A partir de los cuadros N° 8, N° 10 y N° 12, se observa que a medida que aumenta el grado de refinado aumentan el índice de estallido y la longitud de ruptura, en contraposición a lo que ocurre con el índice de rasgado el cual disminuye, ya que esta variable depende principalmente de la longitud media de las fibras y a medida que ésta se reduce por efecto del refinado, la resistencia al rasgado también disminuye.

Finalmente, Bustamante, citado por Carrau y Oribe (5), desarrolló una clasificación de todas las especies con las cuales trabajó, siendo el criterio de selección el costo de producción de las pastas, el cual está determinado por la densidad básica y el rendimiento de la pasta, estableciendo que el *Eucalyptus globulus ssp. globulus* se

encuentra en primera categoría, por presentar rendimientos superiores al 50%, mientras que el *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* se encuentra en segundo lugar.

También, el mismo autor propone un trabajo realizado por Melo, el cual estudió varias especies del género *Eucalyptus* en función de las propiedades físicas y químicas de la madera, y la calidad de las pastas obtenidas de éstas llegando a la conclusión, que todas ellas son aptas para la fabricación de pastas para papel, considerando según el grado de aptitud tres categorías:

- i) Aptitud alta: *Eucalyptus globulus ssp. globulus*, *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*
- ii) Aptitud media: *Eucalyptus bicostata*, *Eucalyptus regnans*, *Eucalyptus grandis*
- iii) Aptitud baja: *Eucalyptus oblicua*

Carrau y Oribe (5) en su tesis evaluaron comparativamente la aptitud para la producción de papel a partir de pastas Kraft de tres subespecies de *Eucalyptus*: *Eucalyptus globulus ssp. globulus*, *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* y *Eucalyptus globulus ssp. bicostata* de 7 años de edad. Las condiciones de cocción en las que se llevó a cabo la evaluación se resumen en el cuadro N° 13.

Cuadro N° 13. Condiciones de cocción del trabajo realizado por Carrau y Oribe. (5)

Álcali efectivo	Sulfidez	Relación licor / madera	Temperatura máxima	Tiempo de subida de temperatura	Tiempo a temperatura máxima
18 % como Na ₂ O	25 % como Na ₂ O	4:1	165-170° C	60min.	60min.

Fuente: Carrau y Oribe. (5)

Cuadro N° 14. Resultados obtenidos de pasta de *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* por Carrau y Oribe. (5)

PEA básico medio (g/cm ³)	Rendimiento bruto medio (%)	Índice Kappa	Alcalinidad residual (g/l NaOH)
0.58	56	22.9	11.1

Fuente: elaboración propia a partir de Carrau y Oribe. (5)

En el cuadro N° 15 se detallan los resultados obtenidos de los ensayos realizados por Carrau y Oribe. (5)

Cuadro N° 15. Propiedades físico-mecánicas a diferentes grado refino, obtenidos por Carrau y Oribe. (5)

°SR		Resistencia al rasgado (mN.m ² /g)		Resistencia al Reventamiento (kPa.m ² /g)		Largo de ruptura (Km)	
10.000	20.000	10.000	20.000	10.000	20.000	10.000	20.000
25	34	10.24	10.79	4.13	5.35	6.065	6.765

Fuente: elaboración propia a partir de Carrau y Oribe. (5)

Nuevamente se observa en el trabajo, que al aumentar el grado de refino, mejoran las propiedades de resistencia de las pastas, aumentando los valores de índice de estallido y largo de ruptura, no observando efecto sobre la resistencia al rasgado.

Finalmente los autores concluyeron que, existe una tendencia del *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* de presentar valores mayores de rendimiento bruto en pasta por presentar madera de mayor peso específico aparente básico frente al *Eucalyptus globulus ssp. globulus* y *Eucalyptus globulus ssp. bicostata*.

Dutra Siqueria y da Silva Filho (13), evaluaron el papel del peróxido de hidrógeno en el blanqueo de pulpa Kraft de eucalipto, indicando como principales ventajas del uso de dicho reactivo:

- el aumento de la blancura de la pasta,
- mejora en la resistencia mecánica,
- disminuye la reversión y
- mantiene el rendimiento.

La aplicación de peróxido de hidrógeno como refuerzo en la extracción alcalina de la lignina es bien conocida y utilizada. Esa aplicación es llevada a cabo también cuando hay necesidad de reducción de carga de cloro activo y disminución de la generación de AOX (Adsorbable Organic Halides).

En secuencias modernas de blanqueo de pulpas de eucalipto donde se realiza un lavado ácido para la remoción de ácidos hexenurónicos, el estado final con peróxido de hidrógeno es extremadamente favorecido, sobretodo si la secuencia cuenta con un sistema de lavado de pulpa eficiente. Este estado típico de blanqueo con peróxido de hidrógeno al final de la secuencia, se puede realizar a una temperatura de 90 °C, durante 120 minutos, a una consistencia de 10 % y un pH final de 10.5; estando la cantidad de peróxido determinada por la blancura final deseada y un pequeño residual para que sea evitada la reversión alcalina.

Los autores evaluaron el comportamiento del peróxido de hidrógeno en diferentes etapas de secuencias de blanqueo. En etapas iniciales de secuencias con una pre-deslignificación con oxígeno, la cual es recomendada para obtener una disminución de 37% de la lignina de la pulpa sin blanqueo, llevada a cabo a 4 a 7 atmósferas de presión, a una temperatura de 85 a 115 °C, durante 60 minutos; o con una pre-deslignificación en dos etapas de oxígeno la cual logra aumentar la disminución del contenido de lignina hasta en un 40 %, se observó que la inclusión de 1% de peróxido de hidrógeno en una segunda etapa de la secuencia O-(OP) resulta en una deslignificación de 45% y blancuras mayores que las correspondientes a etapas de secuencias sin la utilización de dicho reactivo.

Finalmente, concluyeron lo siguiente:

- La clave para un blanqueo eficiente con peróxido de hidrógeno es un adecuado control de metales en la pulpa de celulosa. Entre estos, los más importantes son el hierro y el magnesio
- Se deben utilizar quelatantes o secuestrantes para evitar descomposiciones causadas por metales como el magnesio en procesos TCF cuando son llevados a cabo a temperatura y presión elevadas. Entre los quelatantes mas recomendados se encuentra el EDTA.
- El mejor punto para la disminución de AOX, debido a la sustitución de compuestos clorados por el peróxido de hidrógeno, es la ultima etapa de blanqueo, donde la pulpa se encuentra mas libre de impurezas.
- Para un adecuado balance de productos químicos usados en blanqueo, es necesario una extracción alcalina eficiente. La mejora de ese estado es realizada a través de la adición de oxígeno y peróxido.

Polezi (24), luego de haber estudiado el tratamiento de pre-blanqueo o deslignificación con oxígeno, fundamental en procesos ECF y TCF, enumera las siguientes ventajas:

- disminución en la carga de polución hídrica y gaseosa,
- reducción del costo de agentes químicos,
- permite el uso de secuencias cortas de blanqueo,
- disminución del uso de cloro y los efectos ambientales que esto implica.

A su vez indica como principales desventajas:

- elevados costos de instalación de infraestructura,
- presenta una limitada capacidad de deslignificación.

Leporini, C. (20), durante el 2° Encuentro de Operadores de Lavagem e Branqueamento, presentó los resultados obtenidos de pruebas de diferentes secuencias de blanqueo en *Eucalyptus*. Los mismos se detallan a continuación en el cuadro N° 16.

Cuadro N° 16. Resultados presentados por Leporini (20), en pruebas de diferentes secuencias de blanqueo de *Eucalyptus*.

Secuencia	N° Kappa de pulpa con Pre-Oxigeno	Kg de Cl ₂ activo total	FC, Kg de Cl ₂ activo/ N° Kappa *	Blancura final (% ISO)	Opacidad (% ISO)
DoEoD ₁ D ₂	8.8	55	6.25	89.6	79.5
DoEopD ₁ D ₂	9.8	51	5.20	89.6	79.0
DoEoD ₁ P	9.5	46	4.84	89.6	80.0
DoEoD ₁ (QP)	9.3	41	4.41	89.6	79.3
DoEopD ₁ P	10.0	39	3.90	90.5	79.2

* Factor de consumo de ClO₂ como Cl₂ activo por unidad de N° Kappa de pulpa con Pre-Oxigeno.

Fuente: elaboración propia a partir de Leporini. (20)

En el trabajo presentado en el Congreso Internacional de Celulosa y Papel (ABTCP-TAPPI 2000) por Gomide J.L., et.al. (18), estudiaron los factores que afectan a la blanqueabilidad de las pulpas Kraft de *Eucalyptus grandis* y la influencia de los parámetros de pulpeo. Las condiciones de cocción y de blanqueo utilizadas en dicho trabajo se muestran en los cuadros N° 17 y 18.

Cuadro N° 17. Condiciones de cocción utilizadas por Gomide J.L., et.al. (18)

Cocción	Temperatura	Álcali activo (%NaOH)	Tiempo para llegar a Temp. máx.	Factor H
E1	170	24	30	584
E2	170	16	150	2460
E3	160	22.5	80	584
E4	160	15.5	360	2460
Factores constantes	Tiempo a temperatura máxima: 90 min.		Relación licor / madera: 4/1	Sulfidez: 25%

Fuente: elaboración propia a partir de datos presentados por Gomide J.L., et.al. (18)

Cuadro N° 18. Condiciones de blanqueo utilizadas por Gomide J.L., et.al.(18)

Etapa de blanqueo	Condiciones de blanqueo				
	Tiempo (min.)	Temperatura (°C)	Consistencia (%)	Presión (kPa.)	pH final
O	60	100	10	500	11.5
Do	45	65	10	-	3
(EOP)	60	90	10	200	11.5
D1	180	70	10	-	3.5
D2	180	70	10	-	4.5
Z	1-2	30	10	-	2.5
E	30	60	10	-	9

Fuente: factores que afectan la blanqueabilidad de pulpas Kraft de eucalipto. ABTCP-TAPPI 2000.

Previo al blanqueo se realizó una etapa de deslignificación con oxígeno.

Las secuencias de blanqueo que se llevaron a cabo para llegar a un blanco de 90 % ISO fueron: DEoDD y DEo(ZE)D.

Los resultados obtenidos de las cocciones y las propiedades físico-mecánicas se observan en los cuadros N° 19 y 20.

Cuadro N° 19. Resultados de las cocciones del trabajo presentado por Gomide J.L., et.al.(18)

Cocción	Número Kappa	Viscosidad (mPa.s)	Rendimiento (%)			
			Total	Depurado	Restos	Blancura (%ISO)
E1	16.5	40.9	51.6	51.3	0.3	33.9
E2	16.5	53.5	53.5	53.4	0.1	25.7
E3	16.8	51.8	52.7	52.6	0.1	32.1
E4	16.3	67.3	54.3	54.3	0	26.5

Fuente: elaboración propia a partir de datos obtenidos del trabajo presentado por Gomide J.L., et.al.(18)

Cuadro N° 20. Resistencias de las pulpas para un consumo de 40 W.h de energía de refino, según Gomide J.L., et.al.(18)

	E1	E2	E3	E4
Índice tracción (N.m/g)	95.6	108.8	106.4	112.1
Índice estallido (kPa. m ² /g)	6.1	7.9	6.9	7.9
Índice rasgado (mN. m ² /g)	11.2	9.8	10.9	9.2
Energía deformación (J/ m ²)	128.8	173.8	158.5	189.2

Fuente: elaboración propia a partir de datos obtenidos del trabajo presentado por Gomide J.L., et.al.(18)

Como conclusiones de dicho trabajo los autores mencionan:

- Para un determinado nivel de álcali residual, la cocción de la madera de eucalipto a 170°C resultan en pulpas con rendimientos y viscosidades más bajas que la cocción de eucalipto a 160°C, y a su vez para determinada temperatura, las cocciones con altos nivel de álcali residual, proporcionan también menores rendimientos y viscosidades.
- Pulpas producidas con bajos niveles de álcali residual responden ligeramente mejor (3%) a la deslignificación con oxígeno y presentan blanqueabilidad ECF inferior (15-20%). Las pulpas con alto álcali residual presentan blancura inicial más elevada (6-8% ISO), para el mismo número Kappa, el cual permanece a lo largo de la deslignificación con oxígeno y en el blanqueo ECF.
- Las pulpas producidas a temperatura y/o álcali residual más bajos presentaron viscosidad final, energía de deformación, índice de tracción e índice de reventamiento más elevados que las pulpas que provienen de condiciones más severas. Lo opuesto ocurre para la resistencia al rasgado.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 MATERIA PRIMA

La madera utilizada para el presente trabajo fue suministrada por la empresa PASO ALTO S.A., proveniente de plantaciones comerciales ubicadas en el Departamento de Durazno a aproximadamente 242 Km. de la ciudad de Montevideo. La plantación se encuentra en la intersección de las rutas N° 14 y N° 19, en la localidad de Villa del Carmen.

La zona posee un clima subtropical húmedo, con temperaturas promedio a los 17.5 °C y precipitaciones variables entre 1000 y 1200 mm anuales. Importante amplitud térmica diaria y estacional con fuertes heladas invernales.

El área plantada posee los siguientes grupos de suelos CONEAT: Suelo 8.02 a, suelo 8.7.

Las muestras obtenidas, provienen de árboles de 10 años de edad, plantados a una densidad de 1111 árboles por hectárea, en un marco de plantación de 3 x 3 m de distancia entre filas y entre árboles.

El origen de la semilla de *Eucalyptus grandis* es de la Caja de Jubilaciones y Pensiones Bancaria mientras que la de *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* es de Bolaro Mountain.

En el área forestada con *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* no se han llevado a cabo tratamientos silviculturales, mientras que en el rodal de *Eucalyptus grandis* se realizó un raleo sistemático en el año 2003 dejando aproximadamente 800 árboles por ha.

3.2 METODOLOGÍA DE TRABAJO

3.2.1 Secuencia analítica

Los trabajos fueron realizados en el Módulo 9 del LATU ubicado en la ciudad de Montevideo. Se presenta en la figura N° 1 la secuencia analítica del trabajo realizado.

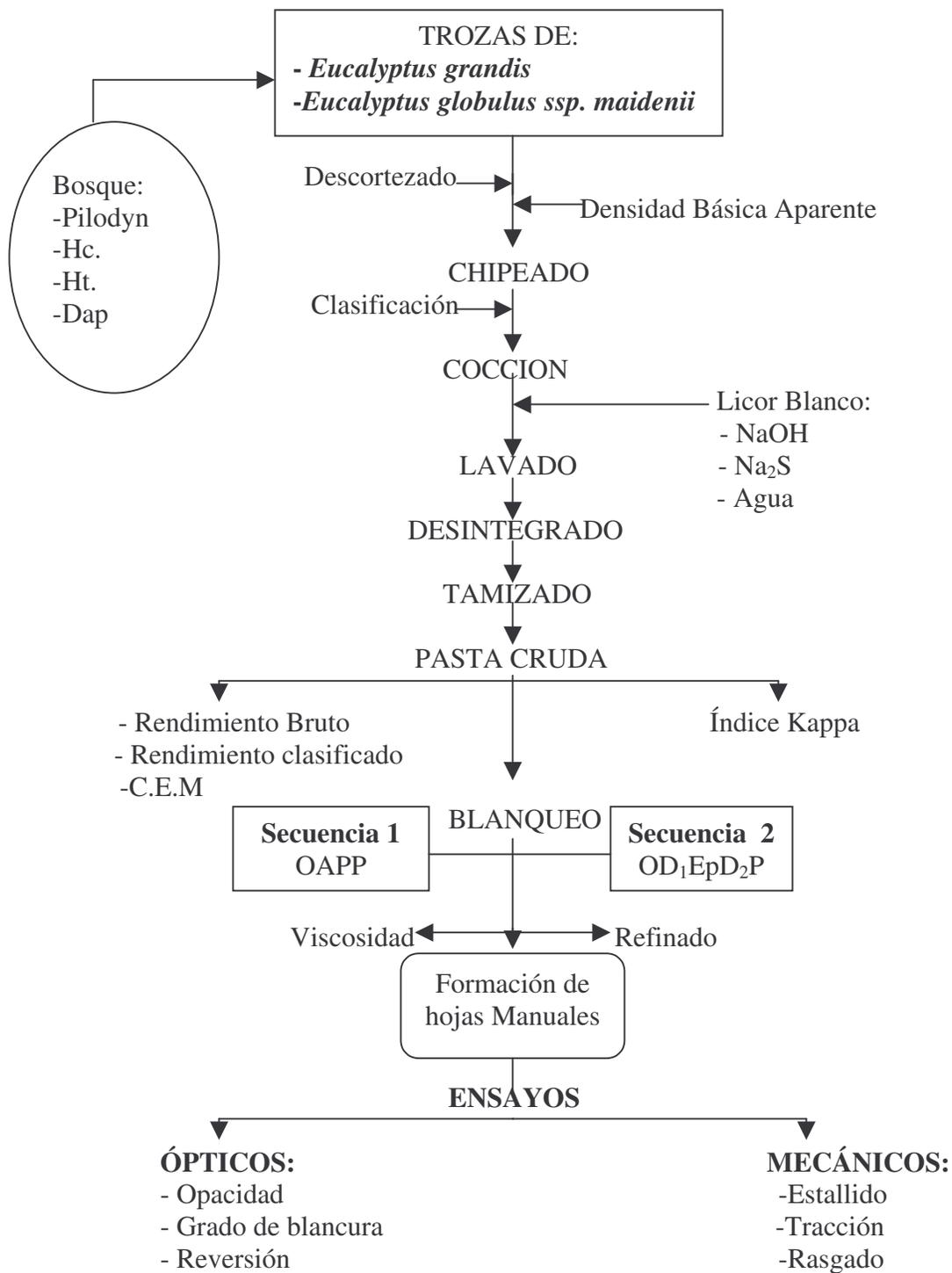


Figura N° 1. Secuencia analítica de la técnica experimental utilizada.

3.2.2 Obtención de trozas

En el campo se procedió a la selección de una parcela de 100 árboles de cada especie de una plantación fustal. En cada uno de los mismos se midió la penetración con Pilodyn a 1.3 m. de altura para estimar la densidad de la madera mediante el procedimiento de ensayo LATU PEC.FOR.PFF07.

El Pilodyn es un equipo suizo que realiza sobre la madera la penetración de un émbolo metálico (en el caso del muestreo realizado a campo se utilizó un émbolo de 2 mm de diámetro) mediante un impacto constante de 6 Joules. Dicho instrumento permite realizar un ranking de los árboles seleccionados.

A partir de esta información se calculó el valor medio de penetración del Pilodyn de los 100 árboles de cada especie.

Para la obtención de las muestras de madera fueron seleccionados 15 árboles (de cada especie) del rodal, cuya penetración del Pilodyn se encontraba próxima al valor medio hallado. Los mismos debían estar en buenas condiciones sanitarias y sin defectos visibles.

Posteriormente, se midió el diámetro a la altura del pecho (Dap), y se procedió al apeo de los árboles. Luego, se midió altura total y altura comercial (altura hasta un diámetro 10 cm con corteza). De cada árbol, a 1.3 m. de altura se cortó una rodaja de 3 cm de espesor para la determinación en laboratorio de la densidad básica, y una troza de 1 m. de largo, (desde 1.3 m. a 2.3 m.) para realizar todas las pruebas del ensayo. Se descortezó e identificó la troza con el número del árbol. Luego, las mismas fueron enviadas de forma inmediata al laboratorio para realizar el chipeado.

3.2.3 Densidad aparente básica de la madera

La densidad aparente básica se define como la relación entre el peso anhidro de la probeta y el volumen de la probeta en estado verde, expresa la cantidad de materia seca disponible en un determinado volumen de madera. La misma es hallada a partir del método de determinación del volumen por inmersión, según la técnica de ensayo del LATU PEC.FOR.PFF02. (con referencia a norma TAPPI T 238om-94). Esta se basa en el “Principio de Arquímedes”, el cual establece que: “el empuje sufrido por un cuerpo que se sumerge es igual al peso del líquido desalojado y por lo tanto en este caso, es igual al volumen del cuerpo sumergido”.

Este método permite determinar la densidad aparente de probetas con formas irregulares, como es el caso de las que se obtienen desde la médula a la corteza siguiendo la forma de los anillos de crecimiento.

El equipo de laboratorio utilizado para determinar la densidad es el siguiente:

- Estufa con aire forzado
- Balanza de precisión
- Elementos de corte de madera: cuchilla para corte anular
- Aparato para peso sumergido de discos: balanza con pesada inferior, estanque con agua, mordazas para sujetar discos.

3.2.4 Chipeado de la madera

El objetivo del chipeado es transformar o picar la madera rolliza en chips o astillas.

El equipo utilizado en el laboratorio es una chipera Kumagai Kogyo modelo CKS 803 y esta compuesta de las siguientes partes:

- Chipera:
 - Diámetro del disco: 762 mm
 - Boca de entrada: 140 mm x 75 mm
 - Número de cuchillas: 4
 - Dimensiones de la cuchilla de corte: 165 x 153 x 19 mm.
 - Velocidad: 650 r.p.m
 - Ángulo de corte: 45°
- Tamiz:
 - Tamaño: 700 mm x 2000 mm
 - Abertura de mallas: superior 40 x 40 mm e inferior 6 x 6 mm
- Cinta transportadora de retorno:
 - Tamaño: 150 mm x 1400 mm

Previo al ingreso de la madera a la chipera, los rolos son trozados mediante cortes longitudinales, de manera de favorecer el ingreso a la máquina; ya que el diámetro de la boca de entrada es inferior al diámetro promedio de la madera bajo estudio. Los chips obtenidos de las 15 trozas de cada especie son mezclados, por separado, de forma de homogeneizar la muestra. Esta homogenización se realiza por el método de cuarteos. La muestra obtenida de cada especie se deja orear por 15 días para evitar el desarrollo de patógenos que puedan afectar la calidad de los chips. Finalmente son guardadas en bolsas de nylon, hasta que sean realizadas las cocciones.

3.2.5 Determinación de la humedad de los chips

Tomar una muestra de 200 g. de chips, agitar sobre una malla de abertura aproximada de 6 mm para eliminar el aserrín. Separar en dos fracciones iguales para efectuar el ensayo por duplicado. En un vaso de bohemia de 500 ml colocar

aproximadamente 100 g. de chips y pesar al centígramo (Peso húmedo: Ph). Secar en estufa (con circulación forzada) a $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas. Pesar la muestra inmediatamente después de retirada de la estufa y registrar el peso al centígramo (Peso anhidro1: Pa₁). Colocar en estufa por 6 horas más. Pesar la muestra inmediatamente después de retirada de la estufa y registrar el peso (Peso anhidro 2: Pa₂). Promediar ambas muestras. Si el peso no es constante continuar el secado hasta peso constante (Peso anhidro: Pa). Vaciar el contenido del vaso de bohemia y pesar el vaso vacío (Peso vacío del vaso: Pv). Finalmente se efectúa el cálculo correspondiente de la siguiente manera:

- Contenido de humedad % (base húmeda) = $\frac{(Ph - Pa)}{(Ph - Pv)} \times 100$

3.2.6 Cocción

El objetivo de la cocción es disolver la lignina y otras porciones no celulósicas de la madera que cementan las fibras entre sí. (5)

Para la cocción o digestión de los chips el equipo utilizado es un digestor marca KUMAGAI RIKI KOGYO con las siguientes características técnicas:

- Capacidad: 4 litros
- Presión máxima de trabajo: 5-6 Kg /cm²
- Sistema de calentamiento: eléctrico (3 niveles de regulación de temperatura)
- Manómetro con escala de 0 a 20 Kg /cm² (apreciación: 1 Kg /cm²)
- Válvula de seguridad
- Válvula de ventilación
- Termómetro de mercurio con escala de 0 a 300 °C (apreciación: 1 °C)

Previo al ingreso de los chips al digestor, se descartan los de un largo y espesor mayor a 4 cm y 8 mm respectivamente (mediante agitación sobre malla de abertura aproximada de 6 mm). Se pesa la cantidad de chips necesaria para la realización de la cocción, 700 gr od. (P₁). Posteriormente pretratar los chips por inmersión en agua caliente (80 °C) por 30 minutos. Dejar escurrir por aproximadamente un minuto. Pesar nuevamente para determinar el agua aportada por los chips (P₂). Sobre la misma se calcula, sabiendo el volumen de licor y fijando el valor de hidromódulo, el volumen de agua a agregar al digestor.

Luego se carga el digestor con los chips y los reactivos químicos (licor blanco) conjuntamente con el agua necesaria para obtener la relación licor / madera especificada. Finalmente se cierra el digestor, se coloca el termómetro, y se inicia el proceso de digestión, el cual se lleva a cabo mediante un programa de cocción predeterminado.

Para el presente trabajo, se efectuaron 4 cocciones por especie, ajustando el Índice Kappa a 18 ± 1 . Las condiciones de dichas cocciones se muestran en los cuadros N° 21 y 22:

Cuadro N° 21. Condiciones de cocción de *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*.

Número de Cocción	Cocción 1	Cocción 2	Cocción 3	Cocción 4
Álcali activo (% en equivalentes Na ₂ O)	16.9	17.2	17	16.9
Concentración de Na ₂ S (g/l)	74.63	74.63	74.63	74.63
Concentración de NaOH (g/l)	96.63	132.3	132.3	132.3
Sulfidez (% en equivalentes Na ₂ O)	25	25	25	25
Relación licor / madera	3.5:1	3.5:1	3.5:1	3.5:1
Temperatura máxima (°C)	165	165	165	165
Tiempo de subida de temperatura (min.)	90	90	90	90
Tiempo a temperatura máxima (min.)	50	50	50	50
Tiempo total de cocción (min.)	140	140	140	140
Presión (Kg/cm ²)	6.5-8	6.5-8	6.5-8	6.5-8
Peso seco de la madera (g)	700	700	700	700
% madera seca	90.05	90.01	89.77	89.77
Peso húmedo de la madera (g)	777	778	780	780
Volumen de NaOH (ml)	915	683	675	671
Volumen de Na ₂ S (ml)	396	403	399	396
Volumen de agua (ml)	628	779	827	788

Fuente: elaboración propia.

Cuadro N° 22. Condiciones de cocción de *Eucalyptus grandis*.

Número de Cocción	Cocción 1	Cocción 2	Cocción 3	Cocción 4
Álcali activo (% en equivalentes Na ₂ O)	17.7	17.9	18.1	17.4
Concentración de Na ₂ S (g/l)	73.16	74.63	74.63	74.63
Concentración de NaOH (g/l)	96.93	132.3	132.3	117.39
Sulfidez (% en equivalentes Na ₂ O)	25	25	25	25
Relación licor / madera	3.5:1	3.5:1	3.5:1	3.5:1
Temperatura máxima (°C)	165	165	165	165
Tiempo de subida de temperatura (min.)	90	90	90	90
Tiempo a temperatura máxima (min.)	50	50	50	50
Tiempo total de cocción (min.)	140	140	140	140
Presión (Kg /cm ²)	6.5-8	6.5-8	6.5-8	6.5-8
Peso seco de la madera (g)	700	1100	950	700
% madera seca	90.64	90.13	90.28	90.82
Peso húmedo de la madera (g)	772	1220	1052	771
Volumen de NaOH (ml)	959	1116	975	778
Volumen de Na ₂ S (ml)	423	660	576	408
Volumen de agua (ml)	397	1049	871	598

Fuente: elaboración propia.

Durante el proceso, el digestor se debe mover hacia delante y hacia atrás manualmente, con el fin de mezclar los chips con los productos químicos. Se deben realizar mediciones correspondientes a temperatura y presión cada cinco minutos de modo de poder ir controlando el proceso, además de regular la temperatura.

Una vez finalizada la digestión se debe abrir las válvulas para disminuir la presión, temperatura y para extraer el licor negro.

3.2.7 Lavado de pulpa

Tiene por objetivo detener la reacción de los agentes químicos sobre los chips.

Una vez finalizada la cocción, los chips son extraídos del digestor, colocándolos en el desintegrador de pulpa. El mismo se hace girar unas 7500 vueltas aproximadamente, donde los chips se desintegran casi en su totalidad para facilitar su lavado.

Luego de esta operación el contenido del desintegrador es volcado a una bolsa de algodón para realizar el lavado de la pulpa. El mismo se efectúa introduciendo agua en el interior de la bolsa, posteriormente se centrifuga y así en sucesivas etapas hasta que el agua que sale a través de la centrifugadora presenta un color claro y sin espuma.

3.2.8 Desintegrado de la pulpa

Se dice que la pulpa se desintegra cuando se la somete a una acción mecánica en agua para separar las fibras entre sí, sin cambios apreciables en su estructura. Para esto se utiliza un *Pulper* (desintegrador) que presenta las siguientes características técnicas:

- Capacidad: 20 litros
- Concentración de la pulpa (Bs.): 1.2%
- Frecuencia de rotación: 3000 r.p.m.
- Motor: monofásico, 100 V, 200 W.

Una vez finalizado el lavado de la pulpa, el contenido de la bolsa de algodón se introduce en el desintegrador y el mismo se hace girar 3800 vueltas (75000 revoluciones). De esta forma la pulpa es desintegrada totalmente.

3.2.9 Clasificación de la pulpa

Tiene por objeto separar los materiales fibrosos no desintegrados de dimensiones mayores a ciertos valores arbitrarios prefijados. Los rechazos de pasta químicas pueden ser blandos o duros, pero invariablemente reciben un refinado posterior que reducen su tamaño.(8)

Estos rechazos permiten estimar la cantidad de aglomerados fibrosos sin digerir al término del proceso de digestión. Se denomina rechazo al material que no pasa por una ranura de 200 micrones (ranura de la placa para pasta química de fibra corta).

El equipo de laboratorio utilizado para tamizar la pasta consta de un tamiz vibratorio con placas ranuradas (200 micrones), una bolsa de algodón, estufa de laboratorio y manguera de agua.

Antes de que el desintegrado finalice se coloca agua en el depósito encima del tamiz hasta una altura de 10 cm y la bolsa de algodón a la salida del mismo. Luego se vierte el contenido del desintegrador dentro del tamiz.

Se enciende el equipo, conectando la manguera alimentando 8 litros / minuto al depósito. Luego de 20 minutos cerrar el suministro de agua de la manguera, apagar el equipo y recoger cuidadosamente los rechazos que quedan sobre la placa, colocándolos en un pesa filtro (s). Los mismos son secados a estufa a $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ por un mínimo de 4 horas. Finalmente se retira la bolsa de algodón con la pasta tamizada.

3.2.10 Rendimiento Bruto, Rendimiento Clasificado y Consumo Específico de Madera

Para el cálculo del rendimiento bruto en pasta, lo primero que se debe realizar es un desmenuzando de la misma de forma de homogeneizarla hasta un tamaño máximo de 1 cm de largo y 0.3 cm de espesor.

Luego se procede a pesar la pasta obtenida (F) y se extrae una muestra para determinar la consistencia (B %). La fórmula utilizada para determinar el rendimiento bruto es la siguiente:

- $$\text{Rendimiento bruto en pasta (\%)} = \frac{((F \times B) + N)}{P_1} 100$$

siendo,

- F: peso de pasta obtenida (g)
- B: consistencia de la pasta (%)
- N: peso de rechazos (g)
- P₁: peso chips previo cocción (g)

Para el cálculo de rendimiento clasificado, se emplea la siguiente formula:

- $$\text{Rendimiento clasificado en pasta (\%)} = \frac{(F \times B)}{P_1} 100$$

siendo,

- F: peso de pasta obtenida (g)
- B: consistencia de la pasta (%)
- P₁: peso chips previo cocción (g)

La mejor forma de unir los intereses de la producción forestal con los de la producción de pastas es a través del cálculo del consumo específico de madera, el cual expresa los m³ de madera necesarios para producir una tonelada de pasta seca y que combina los dos factores siguientes: densidad aparente básica de la madera (g/cm³) y rendimiento bruto en cocción (%), los cuales afectan directamente los costos de producción de pastas. (33)

Para el cálculo del consumo específico de madera (C.E.M), se emplea la siguiente fórmula:

- $$\text{C.E.M (m}^3 \text{ de madera / tt de pasta)} = \frac{1}{\text{RB} \times \text{D}}$$

siendo,

C.E.M: consumo específico de madera (m³ de madera / tt de pasta)

RB: rendimiento bruto, en tanto por uno.

D: densidad aparente básica (g/cm³)

3.2.11 Índice Kappa

El propósito de la digestión química es la extracción de la lignina de la madera. La eficiencia de dicho proceso y la calidad de la pulpa resultante se miden determinando el contenido residual de lignina en la pulpa. El procedimiento usual para su determinación es el método del Índice Kappa, que permite una medida rápida del grado de deslignificación de la pulpa. Se aplica a todo tipo de pulpas químicas y semiquímicas, sin blanquear o semiblanqueadas siempre que el rendimiento sea inferior al 70%. (9)

La determinación del índice Kappa se realiza utilizando la norma TAPPI T 236 om-99. (30)

Este contenido de lignina residual, se mide a través de lo que se define como número Kappa (K), que corresponde al consumo en ml, de KMnO₄ 0.1 N por gramo de pulpa seca. El equipo de laboratorio utilizado para dicha determinación es un vaso de bohemia de 2 litros, un baño termostatzado, un agitador de turbina, una bureta de 50 ml, una pipeta aforada de 100 ml, un matraz Erlenmeyer de 250 ml y una pipeta graduada de 20 ml. Los reactivos usados son: una solución valorada de KMnO₄ 0.1 N, una solución de H₂SO₄ 4 N, una solución de KI 1 N, una solución de Na₂S₂O₃ 0.2 N y una solución indicadora de almidón (1%).

Primeramente, se estima el peso de la muestra requerido mediante la siguiente fórmula:

- Peso de la muestra = $50/(K_p \times C)$

siendo,

K_p : es el número Kappa previsto

C : es la consistencia de la pulpa (fracción)

Luego se pesa la muestra de pulpa con el peso aproximado calculado anteriormente con una precisión de 0.001 g. Se coloca en la licuadora y se desintegra la pulpa con 200 ml de agua destilada. Dicha solución es colocada en un vaso de bohemia de 1000 ml, además se enjuaga la licuadora con 200 ml de agua destilada que también es colocada en el vaso de bohemia. Pipetear 50 ml de $KMnO_4$ 0.1 N y 50 ml de H_2SO_4 4 N (probeta) para un matraz Erlenmeyer de 250 ml.

Es importante aclarar que el agua, la solución de $KMnO_4$ y de H_2SO_4 deben estar a temperatura de 25 °C de forma de evitar grandes desvíos de la temperatura final de la reacción.

Posteriormente adicionar rápidamente la mezcla de $KMnO_4$ y H_2SO_4 a la pulpa desintegrada y simultáneamente poner en marcha el cronómetro, lavar bien el vaso con 50 ml de agua destilada y enjuagar con pipeta las paredes del vaso de 1000 ml. Después de transcurridos 5 minutos medir la temperatura de la reacción y cuando se cumplan 10 minutos de agitación, detener la reacción adicionando con pipeta 10 ml de KI . \pm 1 N. Inmediatamente titular el yodo liberado con la solución valorada de $Na_2S_2O_3$, agregando cerca del punto final 3 o 4 gotas de la solución de almidón, anotando el gasto (V_b). Hacer una determinación en blanco usando el mismo procedimiento, pero sin pulpa, y anotar el gasto (V_t).

Posteriormente efectuar los cálculos a partir de las siguientes fórmulas:

- $\% KMnO_4 \text{ consumido (f)} = \frac{(V_b - V_t)}{V_b}$
- $K = \frac{(p \times f \times t)}{w}$
- $K_p = \frac{(V_b - V_t) \times N_1}{N_2}$
- $t = (1 + 0.013 (25 - tr))$

siendo,

K : índice Kappa

p : volumen de $KMnO_4$ consumido por la muestra en ml

f : factor de corrección del consumo de $KMnO_4$ (Apéndice 1)

t : factor de corrección para temperatura (Apéndice 1)

w: peso en gramos de celulosa seca
Vb: gasto de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ consumido en la prueba en blanco en ml
Vt: gasto de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ consumido por la muestra en ml
 N_1 : normalidad de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.2 N
 N_2 : normalidad de KMnO_4 0.1 N
tr: temperatura de la reacción en °C

Se efectuaron 2 determinaciones del Índice Kappa para cada cocción y el promedio de los valores debía estar entre 18 ± 1 . Si los valores del Índice no se encontraban dentro de este rango la cocción se descartaba.

3.2.12 Pre-tratamiento con O_2

El tratamiento de pastas con oxígeno, como etapa previa al blanqueo, se realiza en un medio alcalino, conseguido mediante la adición de soda cáustica (NaOH). Además de esta variable intervienen en el proceso otras como la temperatura, el tiempo, consistencia de la pasta y presión de oxígeno. Este tratamiento, también denominado deslignificación con oxígeno, ha permitido sustituir al cloro como reactivo de la primera etapa de blanqueo, evitando de esta forma el grave problema de contaminación que provoca. (24)

El equipo de laboratorio utilizado para esta etapa es:

- Autoclave rotatorio
- Tanque de oxígeno

Previo al pre-tratamiento se mezclaron las pastas de las 4 cocciones de cada especie que presentaban Índice Kappa 18 ± 1 (Figura N° 2). Se pesó y se calculó la consistencia de dicha pasta para determinar la cantidad de gramos secos a colocar en el autoclave. Luego se vertió el volumen de agua destilada calculado sobre la pasta (la pasta debe tener una consistencia de 10 % dentro del autoclave). Posteriormente se mezcla manualmente la pasta con el contenido de agua destilada de forma de homogeneizar la consistencia y al mismo tiempo abrir las fibras. Esto es importante para que el oxígeno llegue a producir la reacción de forma homogénea dentro del autoclave.

En la figura N° 2 se presenta la secuencia analítica realizada para el blanqueo y los ensayos.

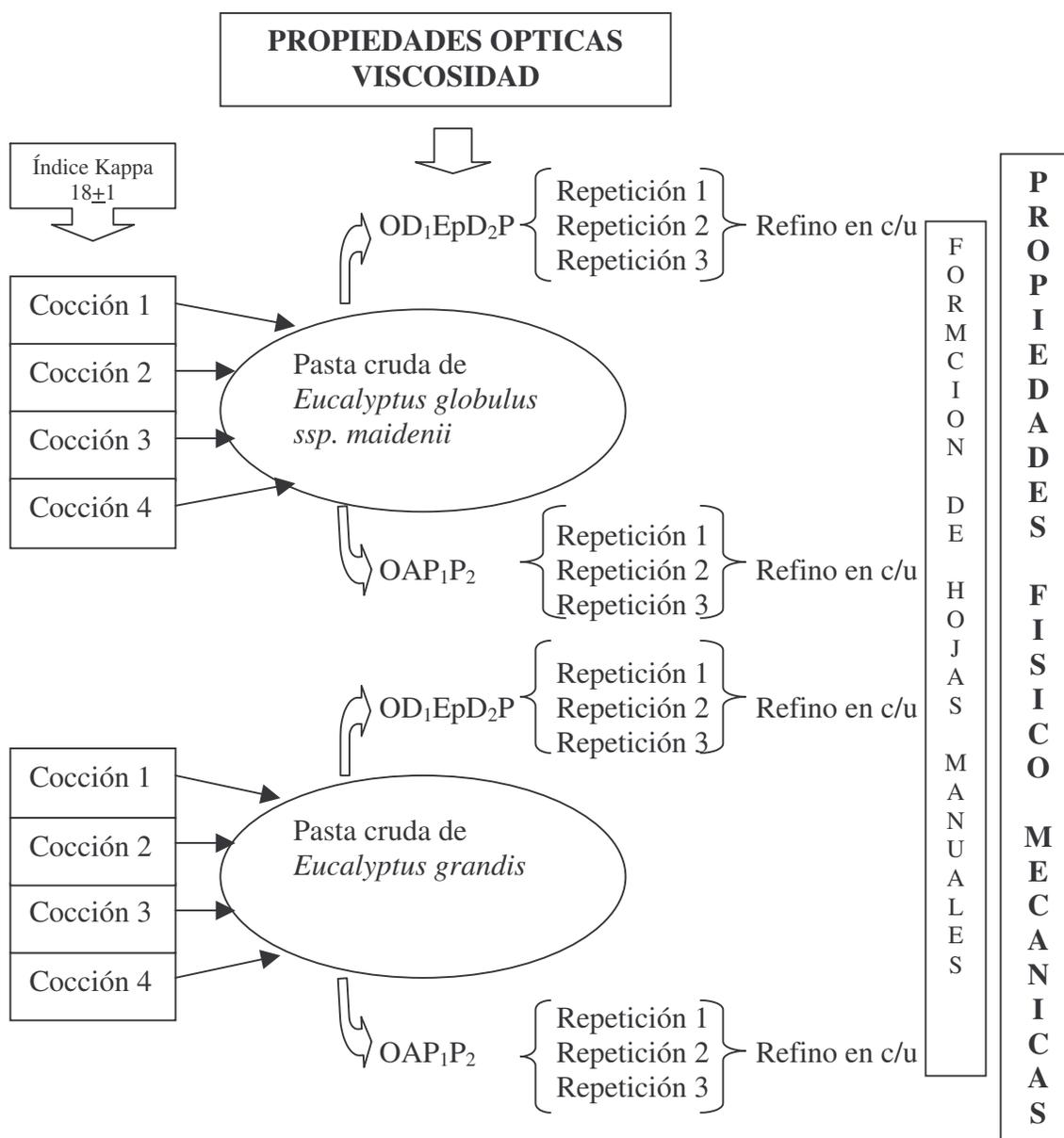


Figura N° 2. Secuencia analítica realizada para el blanqueo y los ensayos.

En los cuadros N° 23 y 24 se indican las condiciones de pre-tratamiento con oxígeno de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* respectivamente.

Cuadro N° 23. Reactivos utilizados en el pre-tratamiento con oxígeno para *Eucalyptus grandis*.

Etapa	Pulpa			NaOH			Agua		MgSO ₄
	Húmedo (gr)	Consist. (%)	Secos (gr)	[] (g/l)	Peso (gr)	ml a agregar	Total (ml)	Agreg. (ml)	(gr)
1	1601	29	464	147	9	63	4643	2976	2.32
2	3565	29	1030	147	21	140	10300	6590	5.15

Fuente: elaboración propia.

Cuadro N° 24. Reactivos utilizados en el pre-tratamiento con oxígeno para *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*.

Etapa	Pulpa			NaOH			Agua		MgSO ₄
	Húmedo (gr)	Consist. (%)	Secos (gr)	[] (g/l)	Peso (gr)	ml a agregar	Total (ml)	Agregar (ml)	(gr)
1	1013	32.25	327	147	6.5	44.5	3270	2208	1.63
2	1396	34.00	475	147	9.5	65.0	4752	3289	2.38
3	1394	34.00	475	147	9.5	65.0	4745	3284	2.38

Fuente: elaboración propia.

Debido a la cantidad de pulpa y a la capacidad del autoclave se realiza el tratamiento en dos etapas para *Eucalyptus grandis* y tres para *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*.

Luego se comienza la rotación del autoclave y el calentamiento de la pasta. Cuando la temperatura alcanza los 80°C se apaga el autoclave, se abre vertiéndose el contenido de solución de NaOH (2% respecto a la pasta seca) calculado anteriormente, mezclando manualmente para homogeneizar. Se vuelve a calentar hasta alcanzar una temperatura de 95°C, momento en el cual se conecta el tanque de oxígeno al autoclave. Cuando la presión dentro del autoclave es de 5-6 Kg /cm² se efectúa una purga del aire dentro del mismo abriendo las válvulas de escape por un lapso de 1 minuto. Luego de esta purga, se inyecta oxígeno hasta alcanzar la presión de 5 Kg /cm². Desde este momento se debe mantener la presión a 5 Kg /cm² y la temperatura a 95°C por un lapso de 1 hora. Al finalizar se abren las válvulas de manera de que la presión descienda. La pasta es retirada del mismo y se procede al lavado y centrifugado. Una vez pre-tratada la pasta se pasa a la etapa de blanqueo.

3.2.13 Blanqueo

3.2.13.1 Blanqueo ECF: D₁EpD₂P

En esta secuencia de blanqueo se aplican 2 etapas de dióxido de cloro (ClO₂), D₁ y D₂, el cual permite, según Casey (9), obtener altos grados de blancura con buena estabilidad y sin alterar significativamente su resistencia. La condición que debe mantenerse en dicha etapa es un dióxido residual importante a lo largo de todo el tiempo de la misma, ya que si este se consume totalmente prevalecen reacciones que amarillean la pasta.

La etapa extracción alcalina con peróxido de hidrógeno (H₂O₂), Ep, normalmente es utilizada para solubilizar y eliminar la lignina, de esta forma se maximiza la deslignificación de la pulpa. (26)

La etapa final con peróxido de hidrógeno (H₂O₂), P, es utilizada en el blanqueo de pastas químicas con el objetivo de ganar algún punto más de blancura, con buena estabilidad y sin alterar significativamente su resistencia, remover los ácidos hexenurónicos, pero principalmente para estabilizar al máximo contra la reversión que se produce posteriormente en la fabricación del papel. (13)

Durante las 4 etapas, la pulpa debe tener una consistencia de 10 %, y los % de los reactivos de blanqueo siempre son calculados sobre la base de los gramos secos de pulpa a utilizar.

Para esta secuencia de blanqueo se realizaron 3 repeticiones por especie y los materiales utilizados fueron: 2 baños con agua, uno a 70°C y el otro a 90°C, y bolsas de nylon en las cuales se agregan los reactivos de blanqueo. (Apéndices N° 3 y N° 4).

Al inicio y durante el transcurso de cada etapa se procedió a la mezcla manual de la pasta con los reactivos, de modo de que los mismos actúen de forma uniforme.

Las condiciones de blanqueo y cantidades de reactivos utilizadas para esta secuencia, para *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus globulus ssp maidenii* se presentan en los cuadros N° 25 y 26 respectivamente.

Cuadro N° 25. Condiciones de blanqueo para *Eucalyptus grandis*.

Etapa	Consis. (%)	Temp. (°C)	Tiempo (horas)	H ₂ O ₂ (%)	NaOH (%)	ClO ₂ (%)	MgSO ₄ (%)	Silicato (%)	EDTA (%)
D ₁	10	70	1	-	-	1	-	-	-
Ep	10	90	2	0.5	1.3	-	0.5	3.5	0.5
D ₂	10	70	2	-	-	0.5	-	-	-
P	10	70	3	0.4	0.5	-	-	-	-

Fuente: elaboración propia.

Cuadro N° 26. Condiciones de blanqueo para *Eucalyptus globulus ssp maidenii*.

Etapa	Consis. (%)	Temp. (°C)	Tiempo (horas)	H ₂ O ₂ (%)	NaOH (%)	ClO ₂ (%)	MgSO ₄ (%)	Silicato (%)	EDTA (%)
D ₁	10	70	1	-	-	0.9	-	-	-
Ep	10	90	2	0.5	1.3	-	0.5	3.5	0.5
D ₂	10	70	2	-	-	0.4	-	-	-
P	10	70	3	0.3	0.5	-	-	-	-

Fuente: elaboración propia.

El gasto de reactivos en el blanqueo es de fundamental importancia ya que influye directamente sobre la calidad de la pasta a obtener y sobre los costos de producción de la misma. (13)

En el cuadro N° 27 se presentan los valores promedio de agentes de blanqueo, expresados en Kg. de cloro activo por tonelada de pasta seca para la secuencia D₁EpD₂P en las dos especies estudiadas.

Cuadro N° 27. Kg. de cloro activo equivalente promedio por tonelada de pasta seca utilizados para la secuencia D₁EpD₂P en *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*.

Especie /Etapa	Kg. de cloro activo por tonelada de pasta seca				
	D ₁	Ep	D ₂	P	Total
<i>Eucalyptus grandis</i>	26.3	10.45	13.15	8.36	58.26
<i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i> .	22.79	10.45	10.52	6.27	50.03

Fuente: elaboración propia.

Los kilogramos de cloro activo equivalente por tonelada de pasta seca utilizados fueron de 58.26 Kg. para *Eucalyptus grandis* y 50.03 Kg. para *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*.

3.2.13.2 Blanqueo TCF: AP₁P₂

En la secuencia TCF después de la etapa con oxígeno, se realiza un tratamiento ácido (HCl) a la pasta con el fin de mejorar las condiciones de blanqueo con peróxido de hidrógeno (H₂O₂). El efecto que tiene este tratamiento ácido es remover ciertos metales que se encuentran en la pasta y que afectan negativamente en el blanqueo, como por ejemplo el magnesio (Mg) y el hierro (Fe).

Luego se aplican 2 etapas de peróxido de hidrógeno (H₂O₂), P₁, P₂, con el fin de blanquear y además estabilizar al máximo contra la reversión del blanco que se produce posteriormente en la fabricación del papel. (13)

Las condiciones de blanqueo, para esta secuencia, utilizadas en el presente trabajo se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro N° 28. Condiciones de blanqueo para *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus globulus ssp maidenii*.

Etapa	Consis. (%)	Temp. (°C)	Tiempo (Horas)	H ₂ O ₂ (%)	NaOH (%)	HCl (%)	MgSO ₄ (%)	Silicato (%)	EDTA (%)
A	10	70	1	-	-	2	-	-	-
P ₁	10	90	2	2	1.5	-	0.5	3.5	0.5
P ₂	10	70	1	1.5	1.2	-	-	-	-

Fuente: elaboración propia.

También en esta secuencia se realizaron 3 repeticiones por especie y los materiales utilizados fueron los mismos que en la secuencia anterior, además de la mezcla manual de los reactivos y la pasta, al inicio y durante el transcurso de cada etapa, de modo de que los mismos actúen de forma uniforme. (Apéndices N° 5 y N° 6)

Los valores promedio de agentes de blanqueo, expresados en Kg. de cloro activo por tonelada de pasta seca para la secuencia P₁P₂ en las dos especies estudiadas se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro N° 29. Kg. de cloro activo equivalente promedio por tonelada de pasta seca utilizados para la secuencia P₁P₂ en *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*.

<i>Eucalyptus grandis</i> y <i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i> .			
Etapa	P ₁	P ₂	Total
Kg. de cloro activo/ tt. de pasta seca	41.8	25.1	66.9

Fuente: elaboración propia.

Los kilogramos de cloro activo equivalente por tonelada de pasta seca utilizados para ambas especies fue de 66.9.

3.2.13.3 Determinación de la viscosidad de la pasta blanqueada.

Según Libby (22), las determinaciones de la viscosidad al cupramonio o a la cuprietilendiamina son probablemente las pruebas más valiosas para indicar si la pasta se ha dañado durante los procesos de cocción y blanqueo, y a qué grado.

Para la determinación de la viscosidad se utilizaron los siguientes materiales de laboratorio:

- Pipetas de 10 y 25 ml
- Viscosímetro
- Soporte universal
- Cronómetro
- Baño termostatzado a 25°C
- Agitador
- Pesa filtro de 50 ml

Los reactivos utilizados fueron:

- Agua destilada
- Etileno diamina cúprica

El procedimiento para realizar la determinación consiste: primero pesar 0.25 gramos secos de pasta y colocarla en el pesa filtro adicionando 25 ml de agua destilada, agitando por 15 minutos hasta que toda la celulosa se disuelva, luego se agregan 25 ml de Etileno diamina cúprica y se agita por 15 minutos. Posteriormente mediante una pera se succiona a través de la cavidad mayor del viscosímetro parte del líquido del pesa filtro, sin que el mismo ingrese a la zona de los meniscos. Por último se introduce el viscosímetro en el baño termostatzado, se mide el tiempo que demora el líquido en recorrer los 2 meniscos y se procede al cálculo de la viscosidad de la siguiente manera:

- $V = K \times d \times t$ siendo,
 - V: viscosidad en centipoise (CP)
 - K1: constante del viscosímetro primer menisco (0.04090)
 - K2: constante del viscosímetro segundo menisco (0.02804)
 - d: densidad del CED (1.052)
 - t :tiempo en segundos

En cada medición se obtienen 2 valores de viscosidad, una por cada menisco.

3.2.13.4 Propiedades ópticas

La preparación de las hojas de ensayos para realizar las medidas de grado de blanco, opacidad y reversión del blanco se realizaron siguiendo la norma UNIT-ISO 3688-93.

Para esto se requiere una cantidad de pasta suficiente para obtener al menos 4 hojas de ensayo por muestra con un gramaje de aproximado a 200 g/m^2 . Esto corresponde a una cantidad de pasta de 2 gramos secos por hoja de ensayo.

En un desintegrador se coloca la pasta necesaria, 0.5 ml de EDTA por gramo de pasta, y el agua destilada necesaria (2 litros). Se dan el número necesario de vueltas en el desintegrador (aproximadamente 20.000 vueltas) de manera de obtener una buena dispersión de la pasta. A esta suspensión de pasta se le controla el pH, que debe estar entre 4 y 5.5; de no ser así se ajusta al rango con solución de hidróxido de sodio cuando el valor está por debajo y ácido sulfúrico cuando el mismo se encuentra por encima del rango.

En un filtro Büchner se coloca un papel de filtro y se vierte la cantidad de suspensión para formar una hoja de 2 gramos de pasta seca (500 ml.), mediante el accionar de una bomba de vacío se forma la hoja. Una vez retirada se le coloca otro papel de filtro en la otra cara, se marca el lado superior de la hoja procediendo de la misma manera para formar las restantes hojas.

Una vez obtenidas todas las hojas se prensan a una presión de 3.5 Kg./cm^2 durante 1 minuto. Después del prensado, se separan los papeles de filtro de las hojas, pero se los deja a modo de protección de las mismas. Las hojas se secan mediante circulación de una corriente de aire forzado durante 2.5 a 4 horas.

Las hojas secadas son nuevamente prensadas a una presión mayor a 3.5 Kg/cm^2 durante medio minuto para hacerlas lo más planas posibles. Las hojas deben ser protegidas de la contaminación y de la exposición innecesaria a la luz o el calor, debiéndose medir sus propiedades de forma inmediata. (Apéndice 7)

A continuación se detallaran las propiedades ópticas ensayadas en el presente trabajo.

a. Grado de blanco

El grado de blanco es el factor de reflectancia difusa de una pila de hojas medido a una longitud de onda de 457 nm. Este método es adecuado para la determinación del grado de blanco de papeles blancos, casi blancos y coloreados naturalmente. La medida no es adecuada cuando el papel contiene colorante (amarillo o verde) que absorbe apreciablemente la luz en la parte del espectro que va de 400 nm a 500 nm.

El equipo utilizado en el laboratorio es un espectrofotómetro ELREPHO DATOCOLOR 2000, que emplea una iluminación difusa proporcionada por una esfera integradora y el sensor, ubicado sobre la normal al papel ensayado (0°) mide la reflectancia en términos relativos a un patrón. Para expresar los resultados se calcula el valor medio aritmético de las lecturas en %ISO. (Apéndice 8)

La norma utilizada para medir el grado de blanco es la UNIT-ISO 3688-93.

b. Opacidad

Es la relación expresada como porcentaje de la cantidad de luz reflejada por una hoja única de papel colocada sobre un fondo negro, con respecto a la cantidad reflejada por la misma hoja de papel colocada sobre un fondo blanco. Para el ensayo de esta propiedad se utiliza el mismo espectrofotómetro y los cálculos se realizan de la misma manera.

La norma utilizada para medir la opacidad es la ISO 2471-98.

c. Reversión del grado de blanco

Lo que mide esta propiedad es la pérdida de blancura que sufren las hojas luego de estar por el lapso de 1 hora en estufa con circulación de aire a $105 \pm 3^\circ\text{C}$.

Para el ensayo de la misma se utiliza el mismo espectrofotómetro y los cálculos se realizan de la misma manera que para grado de blanco.

La norma utilizada para medir la reversión del grado de blanco es la UNIT-ISO 3688-93.

3.2.14 Refinado de la pasta

La refinación se define como la acción mecánica aplicada a la pulpa entre 2 superficies paralelas, bajo una fuerza constante, moviéndose con velocidades diferentes una de otra. El refinador PFI utilizado lo hace con una fuerza constante rotando en la misma dirección, pero con velocidades diferentes.

En este proceso mecánico se distinguen 3 efectos principales: fibrilación externa con remoción de fibrillas de la lámina S_2 ; fibrilación interna lograda por la acción de machacar las fibras, provocando dislocamiento de la estructura fibrilar, y un tercer efecto, el corte de las fibras. (14)

Durante el refinado ocurre casi siempre algún acortamiento de las fibras, considerándose esto indeseable ya que provoca mayor drenaje y una pérdida de resistencia. (33)

El aparato utilizado para refinar la pulpa es un Refinador PFI y presenta los siguientes elementos:

- Rodillo de acero inoxidable, que tiene 33 dientes c/u de 50 mm de largo, 5 mm de ancho y una profundidad de 30 mm. El diámetro del rodillo es de 200 mm. Es movido por un motor de 750 W (1 hp). La rotación del rodillo sin fuerza aplicada es de 24.3 ± 0.2 revoluciones por segundo (1460 ± 10 r.p.m).
- Carcasa con la forma de un contenedor, con la pared lisa y cilíndrica donde se carga la pulpa. Tiene un diámetro de 250 mm. Es movida por un motor de 375 (0.5 hp).
- Regulador Vernier para regular la distancia entre el rodillo y la carcasa cuando se está poniendo en condiciones el equipo.
- Contador de vueltas
- Ambas carcasa y rodillo rotan en independientes ejes verticales en la misma dirección, el rodillo rotando más rápido que la carcasa.

La norma utilizada en la refinación es la TAPPI T 248 sp-00 (30) y el procedimiento consiste en pesar 30 gramos de pulpa seca, diluirla con agua en un pulper hasta un peso de 2000 gramos. Luego para desintegrarla se le dan 10.000 revoluciones en el mismo (400 vueltas en el contador del pulper). Después de la desintegración, drenar la suspensión sobre 2 hojas de papel de filtro (5 gramos las 2 hojas) en un Büchner, inmediatamente después se lleva con cuidado el conjunto hacia una balanza al gramo, y se humedece hasta un peso de 305 gramos, para ajustar la consistencia a 10%. Posteriormente se coloca la pulpa en el interior del refinador contra la pared de la carcasa en forma homogénea, fijándose que no quede pulpa en el fondo de la misma. Poner a rotar la carcasa de forma de que la pulpa se homogenice en la pared, y entonces prender el rodillo. Cuando ambos elementos lleguen a la velocidad total, gradualmente aplicar la presión de refinación requerida y simultáneamente prender el contador de vueltas.

En el presente trabajo, para cada especie se realizaron 2 refinaciones con diferente número de vueltas según los grados Shopper esperados, como se muestra en el cuadro N° 30.

Cuadro N° 30. Número de vueltas de refinado según Grados Shopper esperados para ambas especies.

Especie	<i>Eucalyptus grandis</i>		<i>Eucalyptus globulus ssp maidenii</i>	
Grados Shopper esperados (°SR)	25	35	25	35
N° de vueltas de refinado	1850	3400	2250	4200

Fuente: elaboración propia.

Después del número requerido de vueltas, retirar la pulpa de la pared de la carcasa y la que se encuentra adherida a las cuchillas, transfiriéndola al cilindro del *pulper*. Diluir la suspensión con agua a 2.000 ml y desintegrarla dando 10.000 vueltas.

La pulpa esta ahora pronta para la determinación de freeness y hacer hojas manuales para realizar los ensayos físico mecánicos.

3.2.15 Drenabilidad de la pulpa

Luego de refinada la pasta se mide el grado de refinado de la misma mediante un Canadian Freeness Tester, el cual se basa en el mismo principio que el Shopper Riegler. Dicho instrumento mide la resistencia que ofrece la pulpa al pasaje de agua, la cual está determinada por el grado de unión de las fibras. Su función es medir el grado de refinado de la pulpa.

La norma utilizada para medir la drenabilidad de la pulpa es la TAPPI T 227 sp-02. (30)

El procedimiento consiste en hacer 2 tomas de 200 ml de la suspensión (pulpa refinada + agua) que corresponde a 3 gramos de pulpa seca cada una. Una de ellas va a ser utilizada para medir la drenabilidad y la otra para medir la consistencia de la pulpa. La suspensión para medir la drenabilidad es llevada a 1000 ml en una probeta, controlando la temperatura. Tapar la probeta e invertirla 180° 3 veces, cerrar el fondo del equipo medidor de Freeness y el venteo de la tapa, poner la muestra y cerrar la tapa. Abrir el fondo, colocar la probeta de 1000 ml en la descarga lateral y dentro de los 5 segundos desde que se agregó la pasta, abrir el venteo recogiendo el agua en la misma probeta y medir el volumen a ± 5 ml. Sobre la segunda toma de 200 ml se realiza la determinación de la consistencia filtrando el contenido con una hoja de papel de filtro sobre Büchner, secando en estufa a 105 ± 3 °C, pesando la muestra hasta peso constante a la centésima de gramo. Se calcula la consistencia.

Se corrige la lectura por temperatura y por consistencia, según las tablas de la norma TAPPI T 227 om-99. (30)

En el presente trabajo, para cada repetición de cada secuencia de blanqueo de ambas especies, se realizaron 3 medidas de Freesness, el estado natural sin refinar y dos puntos de refino.

Una vez obtenidos los valores los mismos fueron transformados a grados Shopper Riegler (°SR). (Apéndice 9)

3.2.16 Formación de hojas manuales

La formadora de hojas utilizada es la TAPPI Standard Sheet Machine y la norma para realizar el procedimiento es la TAPPI T 205 sp-02 (30). Este instrumento ha sido desarrollado para la fabricación experimental de hojas de papel en laboratorio a partir de celulosa en suspensión.

Las características técnicas del mismo son las siguientes:

- Área de la hoja formada: aproximadamente 200 cm²
- Diámetro de la hoja formada: 158 mm.
- Dimensiones del plato del cilindro: 172 mm de diámetro, 0.5 mm de espesor.
- Malla de alambre: 150 orificios

Para la formación de hojas manuales, diluir los 1600 gramos (que restan del refinado) a un peso tal que, de 400 ml de suspensión se obtenga una hoja de aproximadamente 60 g/m² en base seca. Si la consistencia de la suspensión fuera exactamente de 1.5%, o sea 24 gr en 1600, el peso al que tendría que llevar la pulpa es de 8078 gr

Lavar la malla del formador, bajar y amordazar el recipiente superior sobre la malla. Cerrar la válvula de descarga, dejando la palanca hacia arriba. Dar entrada de agua con la llave de paso debajo de la mesa. Cuando el nivel llegue a la mitad, cerrar la entrada de agua, verter la muestra equivalente a una hoja (400 ml de la suspensión) y abrir nuevamente la entrada de agua hasta que el nivel llegue hasta la marca superior. Introducir el agitador manual y darle 5 movimientos de ascenso y descenso en 6 segundos sin sacar el agitador del agua. En el último movimiento hacer una pequeña rotación para desprender las fibras que pudieran estar adheridas al agitador. Abrir la válvula de descarga del recipiente y esperar el desagote. Desarmar y abrir el recipiente superior. Colocar sobre la hoja dos papeles secantes, poner el disco metálico y pasar el rodillo efectuando 5 movimientos hasta aproximadamente 1 cm del borde de la placa en 20 segundos. Retirar los secantes con la hoja adherida hacia arriba. Descartar el secante inferior. Poner un secante seco, el secante con la hoja adherida hacia arriba, y un disco

metálico sobre la hoja húmeda y luego otro secante. Seguir poniendo las siguientes hojas en ese orden.

Colocar la pila de hojas en la prensa y elevar la presión a 3.5 Kg./cm² durante 5 minutos. Sacar la pila, e ir retirando los discos con la hoja adherida hacia arriba y colocar un nuevo secante sobre la primera hoja de la pila, luego poner otro secante y seguir colocando las restantes placas. La pila así dispuesta está ordenada en el sentido inverso al de la primera prensada. Llevar la pila a la prensa, y hacer una segunda prensada de 2 minutos con una presión de 3.5 Kg./cm². Retirar los discos de la prensa sacando los secantes y colocarlos sobre los anillos perforados con la hoja hacia arriba. Introducir la pila de anillos en el secador accionando el ventilador. Luego de un período de 6-8 horas se coloca en una cámara climatizada regulada a una temperatura de $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa de $50 \pm 3 \%$ durante un mínimo de 4 horas.

Se forman aproximadamente 15 hojas para cada punto de refinado, de cada secuencia de blanqueo para cada especie, seleccionándose las 5 mejores, las cuales van a ser utilizadas en los ensayos físico-mecánicos.

3.2.17 Ensayos físico-mecánicos

Antes de realizar los ensayos se procede al cálculo del gramaje y al cortado de las hojas para obtener las probetas a ensayar siguiendo la norma TAPPI T 220 sp-00. (30)

Para el gramaje se mide el diámetro de las muestras (5 hojas cada una), determinando el promedio y se calcula el área de las mismas para luego pesarlas juntas en balanza de precisión. El cálculo es el siguiente:

- Gramaje = $\text{Peso 5 hojas} / (5 \times \text{área promedio})$, expresado en gr./m².

El cortado de las hojas para obtener las probetas para los ensayos de tracción, desgarro y reventamiento, se realiza en una cámara de acondicionamiento. Una vez obtenidas las probetas de cada muestra se procede a la realización de los mismos.

3.2.17.1 Resistencia a la tracción

Rodríguez, citado por De Mello (14), establece que la resistencia a la ruptura por tracción en un papel, se define por la longitud de una banda del mismo que suspendida por sus extremos, se rompe al someterla a una fuerza de tracción.

En general, una tira de papel, fija por un extremo y sometida a un esfuerzo de tracción por el otro, llega un momento en que se rompe; la fuerza necesaria para romper esa tira de papel se llama “carga de ruptura”, expresada en kilogramos fuerza (Kgf).

Este valor variará con el gramaje del papel.

Esta característica del papel es muy importante, sobre todo en papeles destinados a la impresión en máquinas rotativas, donde los mismos son sometidos a fuerzas de tracción en el proceso de impresión. En su forma perfecta de ejecución todas las fuerzas de tracción externas deben tener la misma intensidad y actuar paralelamente al plano del papel.

Bajo estos parámetros la resistencia medida dependerá primariamente de las fuerzas de adhesión, las cuales son condicionadas por la calidad de la fibra, la densidad y la disposición de ellas en la estructura fibrosa, como también su largo. (5)

Además de estos factores, Rodríguez, citado por De Mello (14), menciona los siguientes:

- *Humedad relativa ambiente*: la carga de ruptura disminuye al aumentar la humedad, dentro de los límites normales en el ambiente.
- *Sentido de fabricación*: el índice es mayor en el sentido de fabricación que en el transversal.
- *Influencia del refino*: la longitud de ruptura es mayor a medida que aumenta el refino, llegando a un valor máximo, pasado el cual comienza a disminuir aunque el refino siga aumentando.
- *Influencia de las fibras*: los papeles de fibras largas dan mejores valores que los de fibra corta.
- *Composición del papel*: las pastas químicas dan mejor longitud de ruptura que las semiquímicas y éstas mejor que las mecánicas.

Para este ensayo se utilizó la norma TAPPI T 220 sp-00 y la norma TAPPI T 494. (30)

El aparato de ensayo a utilizar es un dinamómetro universal, marca MINEBEA TC50 KN con celda de 200 N, diseñado para estirar una probeta de dimensiones conocidas a una velocidad de aplicación de carga constante y de esa forma medir la fuerza de tracción.

Se usaron 2 probetas por hoja ensayada, o sea 10 por muestra, presentando un ancho de 15 mm, y un largo mayor a 100 mm.

El cálculo del índice de tracción se realiza de la siguiente manera:

- Índice de Tracción = $\frac{\text{Media de tracción} \times 9.80665}{0.015 \times \text{gramaje}}$, expresado en Nm/g.

3.2.17.2 Resistencia al estallido

La resistencia a la explosión o reventamiento (también llamada estallido) se mide con un Probador Mullen, el cual realiza la presión necesaria para romper la muestra al ejercer la fuerza por medio de un líquido que comprime un diafragma de hule contra la muestra de papel sostenida firmemente en el cabezal de prueba. La propiedad medida es una combinación de la resistencia a la tensión o tracción y a la elongación del papel. (22)

El Índice de Estallido o factor Mullen, se realiza siguiendo las normas TAPPI T 220 sp-00 y T 403. (30)

El cálculo se efectúa de la siguiente manera:

- Índice de Estallido = $\frac{\text{Valor promedio de reventamiento}}{\text{Gramaje}}$, expresado en KPa m²/g.

3.2.17.3 Resistencia al desgarro

El rasgado o desgarro es el trabajo necesario que hay que hacer para rasgar una hoja de papel, se diferencia de la carga de ruptura en que esta última es una fuerza mientras que el desgarro por rasgado es un trabajo.

Los factores que influyen en el rasgado según De Mello, son los mismos que influyen en el estallido pero en forma inversa, los mismos son:

- *Sentido de fabricación*: el rasgado es mayor en sentido transversal que en el longitudinal (lo contrario que carga de ruptura).
- *Longitud de la fibra*: con mayor longitud de fibra se obtiene un rasgado superior.
- *Humedad relativa ambiente*: el rasgado disminuye con el aumento de la humedad relativa ambiente.
- *Grado de refino*: el índice disminuye al aumentar el grado de refino.

- *Influencia de la composición:* las pastas químicas dan mejor rasgado que las semiquímicas y éstas mejor que las mecánicas.(14)

Dicha propiedad, junto con la resistencia a la tracción, nos da una idea sobre la resistencia mecánica que el papel presenta. La misma se determina utilizando un péndulo de caída para continuar el rasgado, ya iniciado en una muestra de papel; la pérdida de energía (medida por la altura de oscilación del péndulo) está relacionada con la fuerza requerida para continuar el rasgado. (5)

La prueba estándar de resistencia interna al desgarro o rasgado se mide con un Probador Elmendorf siguiendo las normas TAPPI T 220 sp-00 y T 414. (30)

Para dicho ensayo se utiliza la muestra con las 5 probetas al mismo tiempo. Las mismas son colocadas en las mordazas del instrumento, efectuando 4 cortes consecutivos de igual distancia.

Posteriormente se procede al cálculo del Índice de Rasgado o factor Elmendorf de la siguiente manera:

- Índice de Desgarro = $\frac{\text{Resistencia al rasgado}}{\text{Gramaje}}$, expresado en mN. m²/g.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Densidad básica

En el cuadro N° 31 se presentan los resultados obtenidos de densidad aparente básica, característica fundamental y determinante del rendimiento bruto en pasta y del consumo específico de madera para un índice Kappa determinado. (1,2,34) (Apéndices 7 y 8)

Cuadro N° 31. Resultados de densidad básica aparente de *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* y *Eucalyptus grandis*.

Especie / Parámetro	Densidad básica aparente (g /cm ³)	Desvío Estándar	C.V (%)
<i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i>	0.558	0.033	5.613
<i>Eucalyptus grandis</i>	0.442	0.033	7.472

Fuente: elaboración propia.

A partir del cuadro anterior se observa que el *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*, presenta una densidad básica aparente de 0.558 g /cm³, y un coeficiente de variación de 5.613 %. Por otra parte *Eucalyptus grandis*, presenta una densidad básica aparente de 0.442 g /cm³ con un coeficiente de variación de 7.472 %.

Carrau y Oribe (5), citan trabajos realizados por Bustamante en donde la densidad básica de *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* obtenida es de 0,498 g /cm³, pero los mismos autores en su trabajo de tesis obtuvieron un peso específico aparente básico de 0.580 g /cm³.

Backman y García de León (1, 2), en árboles de 9 años de edad de *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*, obtuvieron una densidad básica mayor a la del presente trabajo, siendo la misma de 0.593 g /cm³, y para *Eucalyptus grandis* un valor promedio de 0.498 g /cm³.

Villena (33), en el Centro de Investigaciones y Tecnologías de ENCE obtuvo una densidad básica aparente para el *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* de 0.565 g /cm³ con un coeficiente de variación de 4.6 % y para *Eucalyptus grandis* 0.453 g /cm³ y un coeficiente de variación de 8.8 %.

Mantero, et.al., (23), presenta como valor promedio de densidad aparente básica a nivel nacional, para *Eucalyptus grandis* de 0.430 g /cm³ con un coeficiente de variación de 9.49 %.

Como se puede observar, los valores obtenidos coinciden con los encontrados por otros autores.

4.2 Cocciones

En el cuadro N° 32 se presentan los resultados promedio, desvío estándar y coeficiente de variación, obtenidos de las cocciones de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*. (Apéndice 9 y 10)

Cuadro N° 32. Resultados promedios de las cocciones de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*.

Parámetro / Especie		<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i>
Álcali activo promedio (% en equivalentes Na ₂ O)		17.8	17.0
Índice Kappa	Media	18.5	18.0
	Desvío estándar	0.44	0.97
	C.V (%)	2.36	5.37
Rendimiento bruto (%)	Media	51.5	51.0
	Desvío Estándar	0.79	0.19
	C.V (%)	1.52	0.37
Rendimiento clasificado (%)	Media	51.4	51.0
	Desvío Estándar	0.79	0.19
	C.V (%)	1.53	0.37
Consumo específico de madera (m ³ /tt de madera)	Media	4.4	3.5
	Desvío Estándar	0.06	0.01
	C.V (%)	1.5	0.4
Factor H	Media	574.9	569.3
	Desvío Estándar	8.51	4.90
	C.V (%)	1.48	0.86

Fuente: elaboración propia.

Como se menciona anteriormente, para el trabajo se predeterminó un índice Kappa de 18 ± 1 el cual constituye la condición *sine qua non* para que la cocción fuera considerada para blanquear las pastas y realizar una evaluación final.

A partir del cuadro anterior se observa que para un mismo índice Kappa, el *Eucalyptus grandis* requiere mayor porcentaje de álcali activo que el *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*, siendo los valores promedios 17.8 % y 17.0 % expresados en equivalentes Na_2O respectivamente.

También se observa que el rendimiento bruto de ambas especies no difirió considerablemente, siendo 51.5% para *Eucalyptus grandis* y 51 % para *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*.

En cuanto al rendimiento clasificado en pasta, el mismo no presentó diferencias para las cocciones realizadas con el rendimiento bruto, debido a la ausencia de rechazos luego del tamizado. Esto se atribuye a que la cocción fue lo suficientemente fuerte para poder obtener un índice Kappa de 18 ± 1 y a la clasificación manual realizada de los chips previo a la cocción, en la cual se descartaban aquellos chips muy grandes y/o con presencia de nudos.

El *factor H* combina el tiempo de cocción y la temperatura en una sola variables siempre y cuando el %Aa sea el mismo. Cualquier combinación de tiempo de cocción y temperatura que de él mismo *factor H*, origina pulpas similares. Dicho factor es de utilidad si se desea cambiar el tiempo de cocción en un digestor sin cambiar la pulpa resultante. (28)

Como se observa en el cuadro N° 32, en lo que respecta al *factor H*, para un índice Kappa de $18 \pm$ se obtuvieron valores para *Eucalyptus grandis* de 574.9 y *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* 569.3.

Villena (33), presenta resultados promedios de densidad de distintos orígenes, incluyendo muestras de España, Ecuador, Chile y Uruguay de madera de diferentes especies de *Eucalyptus* utilizadas en la industria pastero-papelera, siendo la densidad básica del *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* 0.553 g/cm^3 y la del *Eucalyptus grandis* 0.453 g/cm^3 .

Para obtener un índice Kappa de 20, el autor utilizó 18.7 % de álcali activo en *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* y 17.7 % en *Eucalyptus grandis* siendo el rendimiento bruto de 47.3 y 50.6 % respectivamente.

Finalmente, en lo que respecta al consumo específico de madera, para producir una tonelada de pasta seca al aire, necesitó 3.47 m^3 de madera de *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* y 4.05 m^3 de *Eucalyptus grandis*

Backman y García de León. (1,2), en su trabajo, para *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* de 9 años de edad, a un índice Kappa de 20, obtuvieron un rendimiento bruto en pasta de 47.9 % y 49.4 %; y 0.9 % y 1.0 % de rechazos respectivamente.

Por otra parte, utilizando la densidad y el rendimiento bruto, los autores obtuvieron para el *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* un consumo específico de madera a los 4 años de 3.6 m³ y de 3.2 m³ a los 9 años y para *Eucalyptus grandis* un consumo específico de madera para producir una tonelada de pasta seca de 4.3 m³ y 3.9 m³ para 4 y 9 años respectivamente.

Bustamante, citado por Carrau y Oribe (5), obtuvo un rendimiento bruto en pasta de 46.2 % en *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* a un índice Kappa de 16.8 con condiciones similares de cocción a las llevadas a cabo en el presente trabajo. A su vez, estos dos autores en su trabajo de tesis, para la misma especie, obtuvieron un rendimiento bruto promedio de 56 % a un índice Kappa de 22.9.

Gerischer y van Wyk (17), en su evaluación de las características pulpables de ocho especies de *Eucalyptus* obtuvieron para *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* y *Eucalyptus grandis*, llevados a un índice Kappa de 24.2 y 23.1 respectivamente, un rendimiento bruto de 44.0 % y 50.3 %; un rechazo de 1.77% y 1.63 %, siendo esto último atribuido por los autores a un alto contenido de nudos de la madera.

4.3 Blanqueo

4.3.1 Grado de Blanco, Opacidad y Reversión

En los cuadros N° 33 y N° 34 se presentan los resultados obtenidos en el presente trabajo en lo que refiere a grado de blanco, opacidad y reversión para las dos secuencias de blanqueo y para ambas especies. (Apéndice 11)

Cuadro N° 33. Resultados obtenidos de grado de blanco, opacidad y reversión, de la secuencia de blanqueo OD₁EpD₂P, para ambas especies.

Especie	Secuencia de blanqueo		Grado de blanco (% ISO)	Opacidad (%)	Reversión (% ISO)	Kg. de Cl activo equivalente/ tt pasta seca
<i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i>	OD ₁ EpD ₂ P	Media	89.4	92.3	86.4	50.03
		Desvío Estándar	0.86	1.50	0.56	
		C.V (%)	0.97	1.63	0.65	
<i>Eucalyptus grandis</i>	OD ₁ EpD ₂ P	Media	87.4	93.5	85.6	58.26
		Desvío Estándar	0.56	0.76	1.39	
		C.V (%)	0.64	0.82	1.63	

Fuente: elaboración propia.

A partir del cuadro anterior, para *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* blanqueado con la secuencia OD₁EpD₂P se obtuvo un grado de blanco, expresado en % ISO, de 89.4 con un coeficiente de variación menor a la unidad; 92.3 % de opacidad siendo el coeficiente de variación 1.63 %; y una reversión del blanco de 86.4 % ISO con un coeficiente de variación de los resultados de 0.65 %.

En cuanto al *Eucalyptus grandis*, blanqueado con la misma secuencia se observa que el grado de blanco y la reversión fueron levemente más bajos que en el *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* (87.4 % ISO y 85.6 % ISO respectivamente), lo contrario sucedió con la opacidad la cual fue apenas superior, siendo 93.5 %. También en esta especie los resultados de los parámetros presentaron un desvío de la media muy bajo.

Por otra parte, para el *Eucalyptus grandis* utilizando aproximadamente 8 Kg. mas de cloro equivalente por tonelada de pasta seca que el *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*, se obtuvo un grado de blanco inferior.

Leporini, C. (20), utilizando la misma secuencia de blanqueo en varias especies del género *Eucalyptus*, obtuvo con 46 Kg. de cloro equivalente activo total una blancura final de 89.6 % ISO y una opacidad de 80 %.

Gomide J.L., et.al. (18), blanqueando pulpas de *Eucalyptus grandis* pre-deslignificadas con oxígeno y utilizando la misma secuencia que en el presente trabajo, pero sustituyendo el último peróxido de hidrógeno por un dióxido de cloro llegó a valores de blancura de 90 % ISO.

Cuadro N° 34. Resultados obtenidos de grado de blanco, opacidad y reversión, de la secuencia de blanqueo OAP₁P₂ para ambas especies.

Especie	Secuencia de blanqueo		Grado de blanco (% ISO)	Opacidad (%)	Reversión (% ISO)	Kg. de Cl activo equivalente/ tt pasta seca
<i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i>	OAP ₁ P ₂	Media	70.9	93.9	68.3	66.9
		Desvío Estándar	0.52	1.04	0.37	
		C.V (%)	0.74	1.10	0.54	
<i>Eucalyptus grandis</i>	OAP ₁ P ₂	Media	67.9	95.3	65.1	66.9
		Desvío Estándar	1.04	1.81	0.98	
		C.V (%)	1.55	1.90	1.52	

Fuente: elaboración propia.

En el cuadro anterior, se observa para *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* blanqueado con la secuencia OAP₁P₂ un grado de blanco, expresado en % ISO, de 70.9 con un coeficiente de variación de 0.74%; 93.9 % de opacidad siendo el coeficiente de variación 1.10 %; y una reversión de 68.3 % ISO con un desvío de la media de 0.37.

A su vez en el blanqueo con la misma secuencia para *Eucalyptus grandis*, se observa que el grado de blanco y la reversión fueron más bajos que en el *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* (67.9 % ISO y 65.1 % ISO respectivamente) siendo que se utilizaron los mismos Kg. de cloro activo equivalente en las dos especies. Lo contrario sucedió con la opacidad la cual fue apenas superior, siendo 95.3 %. También en esta especie los resultados de los parámetros presentaron un desvío de la media muy bajo.

Considerando los cuadros N° 33 y 34 se observa que, para la misma secuencia de blanqueo, tanto OD₁EpD₂P como OAP₁P₂, comparando el *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* con el *Eucalyptus grandis*, este último presentó valores levemente inferiores en los tres parámetros estudiados (grado de blanco, opacidad y reversión de blanco).

Por otra parte se visualiza claramente que los resultados obtenidos en grado de blanco en la secuencia ECF (OD₁EpD₂P), en ambas especies, fue considerablemente superior a la secuencia TCF (OAP₁P₂), siendo la diferencia para *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* un 20.7 % y para *Eucalyptus grandis* un 22.3 %. Esto último se observa en la figura N° 3, en donde se grafican grado de blanco y reversión del blanco, para ambas especies y secuencias de blanqueo.

En la secuencia TCF para obtener un grado de blanco similar al de la secuencia ECF se deberá agregar alguna etapa mas de blanqueo, como por ejemplo ozono, o iniciar el proceso de blanqueo con un menor índice Kappa cuidando no haber sobre degradado la pasta.

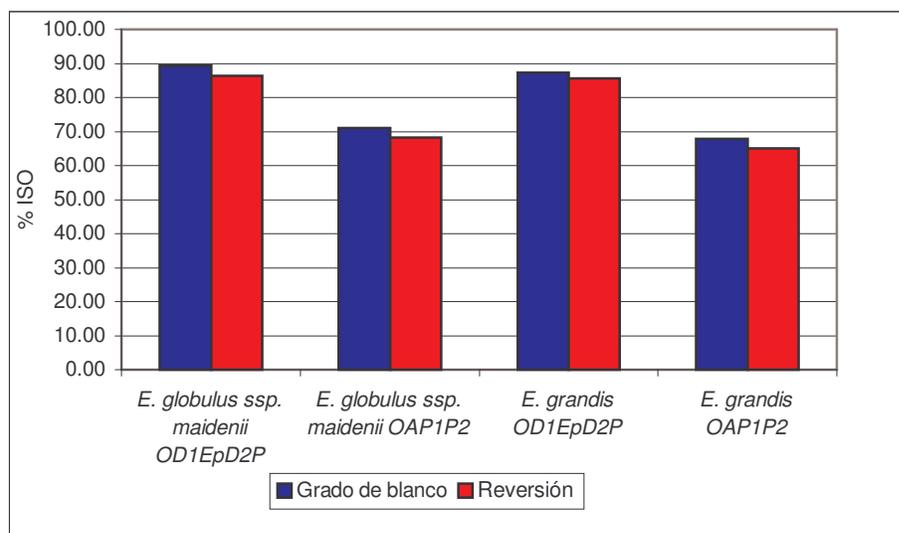


Figura N° 3. Grado de blanco y reversión, según especie y secuencia de blanqueo.

En la figura N° 4 se observa que los valores de opacidad obtenidos al blanquear con las secuencias OD₁EpD₂P y OAP₁P₂, tanto el *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* como el *Eucalyptus grandis* fueron superiores a 90 % ISO, lo que indica que el parámetro en cuestión no varió ni con la especie ni con la secuencia de blanqueo utilizada.

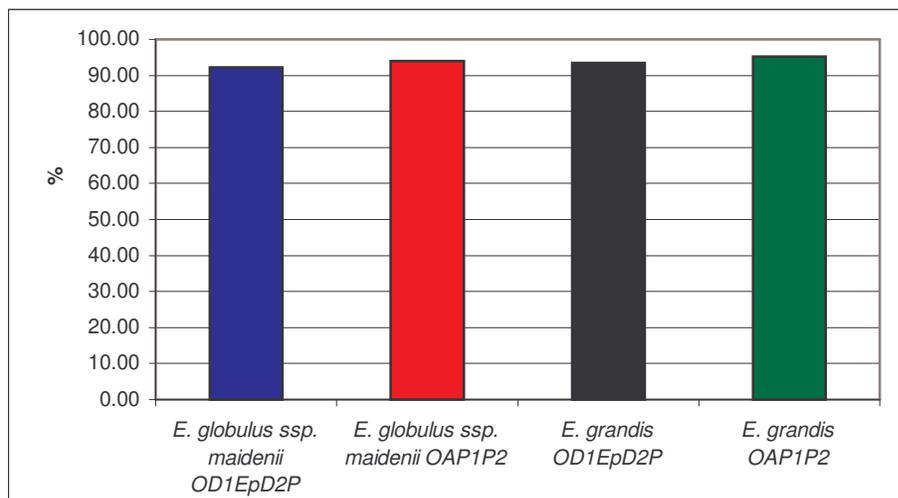


Figura N° 4. Opacidad, según especie y secuencia de blanqueo.

4.3.2 Viscosidad

En el cuadro N° 35 se expresan los resultados obtenidos de viscosidad expresados en centipoise y $\text{dm}^3/\text{Kg.}$, en *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* y *Eucalyptus grandis* para ambas secuencias de blanqueo. (Apéndice 12)

Cuadro N° 35. Resultados obtenidos de viscosidad de las dos especies y secuencias de blanqueo.

Especie	Secuencia de blanqueo	Viscosidad (cp)	Viscosidad ($\text{dm}^3/\text{Kg.}$)
<i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i>	OD ₁ EpD ₂ P	23,0	890
<i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i>	OAP ₁ P ₂	24,8	910
<i>Eucalyptus grandis</i>	OD ₁ EpD ₂ P	19,6	850
<i>Eucalyptus grandis</i>	OAP ₁ P ₂	20,1	850

Fuente: elaboración propia

No se observan diferencias importantes en los valores de viscosidad aunque el *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* presenta una viscosidad después del blanqueo mayor que el *Eucalyptus grandis* indicando que el *Eucalyptus grandis* se degradó en mayor

medida por los reactivos de la cocción y del blanqueo. Además, no se observan diferencias entre secuencias de blanqueo.

Backman y García de León. (1,2), realizaron la viscosidad para las mismas especies luego de blanqueada la pulpa con una secuencia ECF, obteniendo resultados superiores a los del presente trabajo.

Una viscosidad menor a 10 cp indica una pasta sobreblanqueada o altamente degradada en la cocción y un valor mayor a 300 cp indica una pasta ligeramente blanqueada o degradada. (22)

En base a los resultados obtenidos se observa que todas las pastas evaluadas presentan un valor superior a 10 cp.

En la figura N° 5 se grafican los resultados expuestos en el cuadro anterior, indicando la viscosidad en centipoise para cada especie y secuencia de blanqueo estudiada.

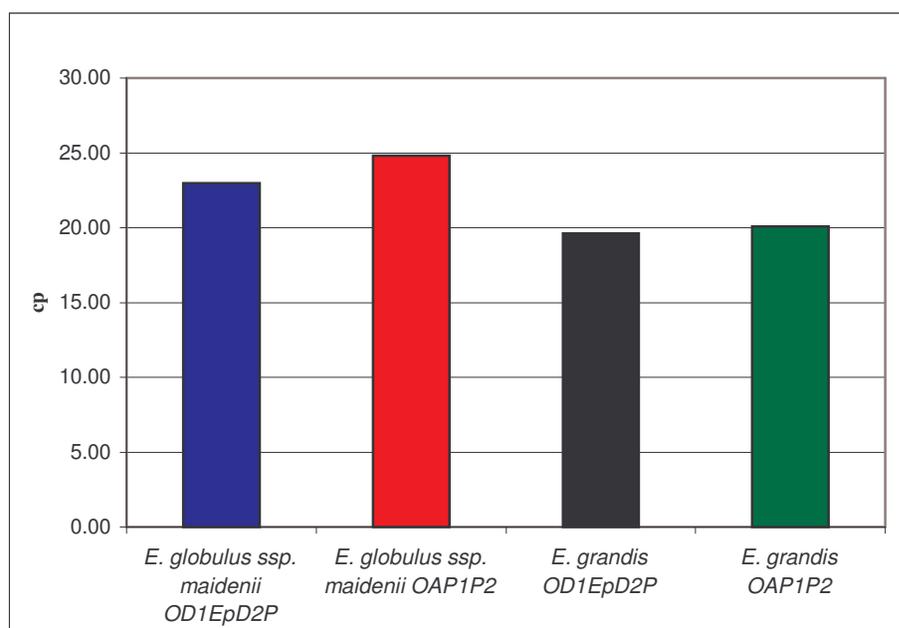


Figura N° 5. Viscosidad, según especie y secuencia de blanqueo.

4.4 Refino

En el cuadro N° 36 se expresan los resultados de grado de refino en función del número de revoluciones, según especie y secuencia de blanqueo.(Apéndice 13)

Cuadro N° 36.Resultados obtenidos de grado de refino en función del número de revoluciones, según especie y secuencia de blanqueo

Especie	Secuencia				
<i>Eucalyptus globulus</i>	OD ₁ EpD ₂ P	Revoluciones	0	2250	4200
		Grado de refino (°SR)	17	23	32
<i>ssp. maidenii</i>	OAP ₁ P ₂	Revoluciones	0	2250	4200
		Grado de refino (°SR)	18	26	34
<i>Eucalyptus grandis</i>	OD ₁ EpD ₂ P	Revoluciones	0	1850	3400
		Grado de refino (°SR)	20	24	34
	OAP ₁ P ₂	Revoluciones	0	1850	3400
		Grado de refino (°SR)	21	25	36

Fuente: elaboración propia

Se evaluaron los ° SR en función del estado natural de la pulpa, a 2250 y 4200 revoluciones para la especie *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*, en ambas secuencias de blanqueo, y en *Eucalyptus grandis*, se midieron los °SR en estado natural de la pulpa, a 1850 y 3400 revoluciones también para ambas secuencias de blanqueo.

En el cuadro N° 36 se observa que en el *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* se necesita un mayor número de vueltas en el PFI, para obtener un grado de refino similar (expresado en ° SR), al del *Eucalyptus grandis*.

Las propiedades de resistencia de las pastas, están dadas según el grado de refinación, mejorándose con el mismo la unión ínter fibrilar. (1,2)

A medida que el grado de refino aumenta, él % de finos en la pasta se incrementa a causa del corte de las fibras, provocando la disminución de la resistencia al rasgado o desgarró ya que esta variable depende principalmente de la longitud media de las fibras, contrariamente a lo que sucede con el Índice de Estallido y de Tracción, los cuales aumentan. (5,26)

En la figura N° 6 se grafica el grado de refino en función del número de revoluciones para ambas especies y secuencias de blanqueo estudiadas. En la misma se observa que el *Eucalyptus grandis* presenta los mayores grado de refino, tanto en estado natural de la pasta como a diferente número de revoluciones que el *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*.

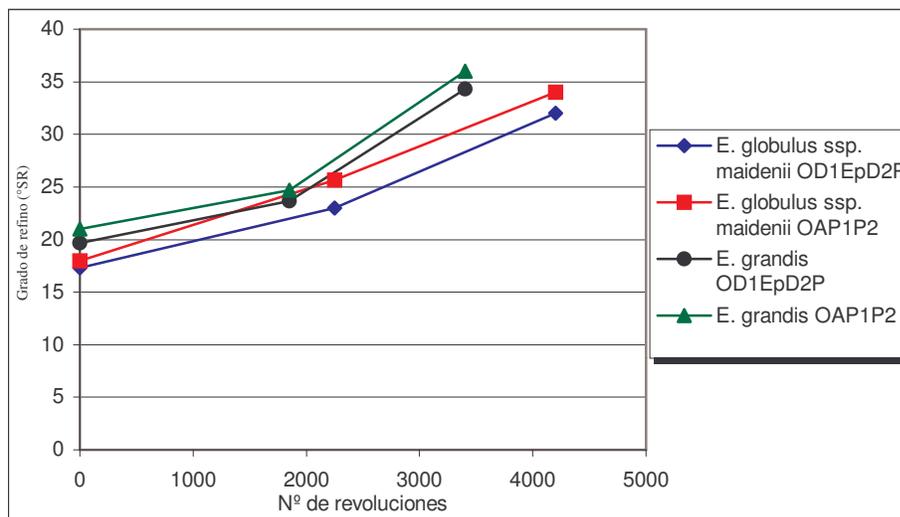


Figura N° 6. Grado de refino en función del número de revoluciones.

4.5 Propiedades físico-mecánicas

4.5.1 Índice de Tracción

En el cuadro N° 37 se presentan los resultados obtenidos de Índice de Tracción y Largo de ruptura de *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*, según secuencia de blanqueo y grado de refino. (Apéndice 14)

Cuadro N° 37. Resultados obtenidos de Índice de Tracción de *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*, según secuencia de blanqueo y grado de refino.

Especie		<i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i>			<i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i>		
		OD ₁ EpD ₂ P			OAP ₁ P ₂		
Secuencia de blanqueo		OD ₁ EpD ₂ P			OAP ₁ P ₂		
Revoluciones (N° vueltas)		0	2250	4200	0	2250	4200
Shopper Riegler (°SR)		17	23	32	18	26	34
Índice de Tracción (Nm/g)	Media	43,38	82,88	92,07	48,34	83,70	95,99
	Desvío Estándar	2.08	2.20	1.42	0.81	1.84	4.57
	C.V (%)	4.80	2.65	1.54	1.67	2.20	4.76
Largo de Ruptura (Km)		4.42	8.44	9.38	4.92	8.53	9.78

Fuente: elaboración propia.

A partir del cuadro anterior, se observa que el Índice de Tracción y Largo de Ruptura en el *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*, para ambas secuencias de blanqueo se incrementan con el grado de refino.

A medida que el grado de refino aumenta, mejora la unión entre las fibras a causa del corte de las mismas, lo que lleva a un aumento en el Índice de Tracción. (26)

En la figura N° 7 se muestran los resultados de Índice de Tracción de *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* para las dos secuencias de blanqueo. Si comparamos ambas secuencias, observamos que hasta un grado de refino de 28 °SR la secuencia OD₁EpD₂P presenta valores superiores de Índice de Tracción que la secuencia OAP₁P₂. A su vez, grados de refino superiores a 28 °SR indican que la secuencia OAP₁P₂ presenta valores de Índice de Tracción superiores a la secuencia OD₁EpD₂P.

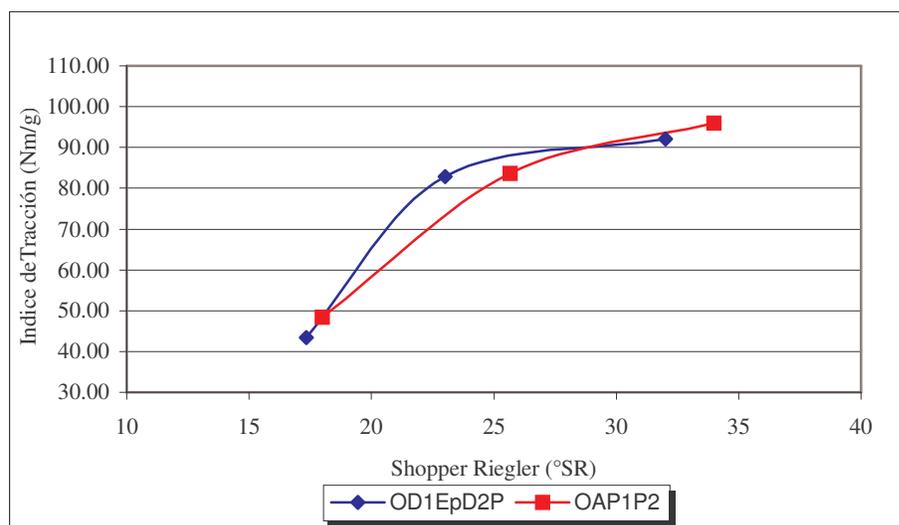


Figura N° 7. Índice de Tracción de *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* para las dos secuencias de blanqueo, según grado de refino.

En el cuadro N° 38 se presentan los resultados obtenidos de Índice de Tracción y Largo de ruptura de *Eucalyptus grandis* según secuencia de blanqueo y grado de refino. (Apéndice 14)

Cuadro N° 38. Resultados obtenidos de Índice de Tracción de *Eucalyptus grandis*, según secuencia de blanqueo y grado de refino

Especie		<i>Eucalyptus grandis</i>			<i>Eucalyptus grandis</i>		
Secuencia de blanqueo		OD ₁ EpD ₂ P			OAP ₁ P ₂		
Revoluciones		0	1850	3400	0	1850	3400
Shopper Riegler (°SR)		20	24	34	21	25	36
Índice de Tracción (Nm/g)	Media	49,39	75,85	98,26	61,54	83,58	98,33
	Desvío Estándar	2.04	2.50	4.04	1.18	2.31	3.60
	C.V (%)	4.12	3.29	4.11	1.92	2.76	3.66
Largo de Ruptura (Km)		5.03	7.73	10.0	6.27	8.52	10.0

Fuente: elaboración propia.

Se observa que el Índice de Tracción y Largo de Ruptura en el *Eucalyptus grandis*, para ambas secuencias de blanqueo se incrementan con el grado de refino.

En la figura N° 8 se observa que hasta 22 °SR el comportamiento de ambas secuencias para Índice de Tracción no difiere, pero a partir de dicho grado de refino y hasta 31 °SR la secuencia TCF presenta valores del índice superiores a la ECF.

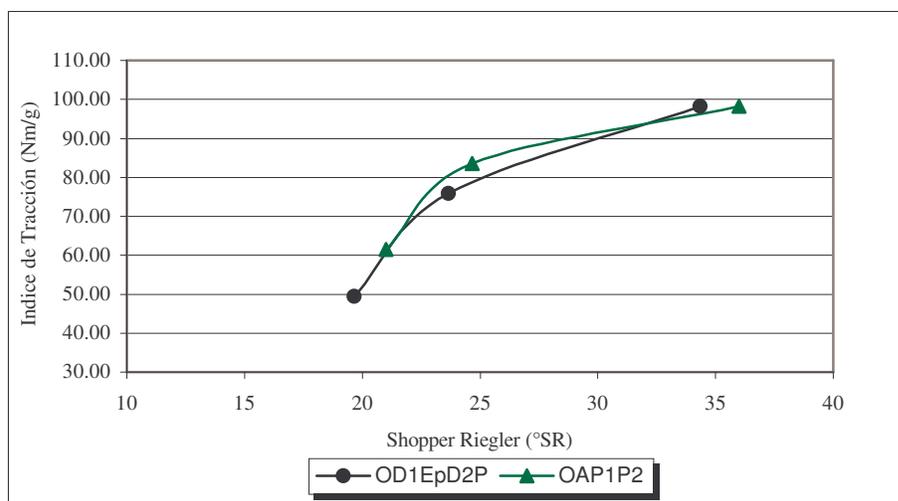


Figura N° 8. Índice de Tracción de *Eucalyptus grandis* para las dos secuencias de blanqueo, según grado de refino.

Villena (33), evaluando los resultados de las propiedades de las pastas de *Eucalyptus grandis* refinadas a 1500 revoluciones en molino PFI (entre 22- 25 °SR), obtuvo un índice de tracción de 75 Nm/g .

Como se puede observar, los valores obtenidos para ambas especies coinciden con los encontrados por otros autores.

En la figura N° 9 se muestran los resultados Índice de Tracción de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* para las dos secuencias de blanqueo. En la misma si comparamos a 25 °SR se observa que el *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* es el que presenta mayor valor de Índice de Tracción.

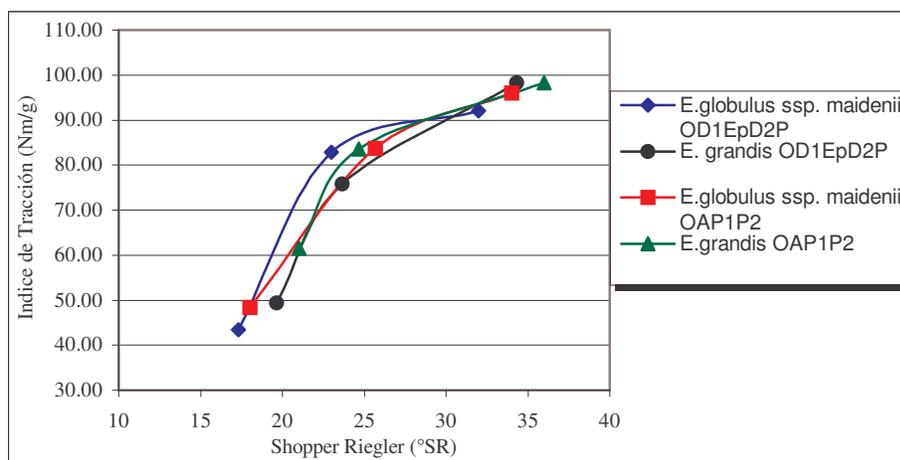


Figura N° 9. Índice de Tracción de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* para las dos secuencias de blanqueo, según grado de refino.

4.5.2 Índice de Estallido

En el cuadro N° 39 se presentan los resultados obtenidos de Índice de Estallido o reventamiento de *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*, para las dos secuencias de blanqueo estudiadas en los tres puntos evaluados de drenabilidad de la pasta. (Apéndice 14)

Cuadro N° 39. Resultados obtenidos de Índice de Estallido de *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*, según secuencia de blanqueo y grado de refino

Especie		<i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i>			<i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i>		
Secuencia de blanqueo		OD ₁ EpD ₂ P			OAP ₁ P ₂		
Revoluciones (N° vueltas)		0	2250	4200	0	2250	4200
Shopper Riegler (°SR)		17	23	32	18	26	34
Índice de Estallido (Kpa. m ² /g)	Media	2,74	6,17	7,36	3,07	5,92	7,30
	Desvío Estándar	0.04	0.11	0.18	0.10	0.08	0.08
	C.V (%)	1.38	1.75	2.45	3.11	1.37	1.11

Fuente: elaboración propia

En el cuadro anterior, se observa que el *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* para las dos secuencias de blanqueo, a mayor grado de refino de la pasta el Índice de Estallido se incrementa.

Gerischer y van Wyk. (17), obtuvieron la misma tendencia en los resultados, al evaluar pulpa no blanqueada proveniente de *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*, pero con resultados menores a los obtenidos en el presente trabajo; por ejemplo los autores obtuvieron a 28 °SR un Índice de Estallido de 1.11 Kpa. m² /g. (Cuadro N° 6)

Carrau y Oribe (5), al incrementar el grado de refino de la pasta, obtuvieron mayores resultados de Índice de Estallido.

En la figura N° 10 se observan los resultados del cuadro precedente, siendo claramente representada la tendencia del Índice de Estallido al aumentar el grado de refino. Para el *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*, los resultados obtenidos de Índice de Estallido de la secuencia OAP₁P₂ fueron levemente inferiores a los de la secuencia OD₁EpD₂P.

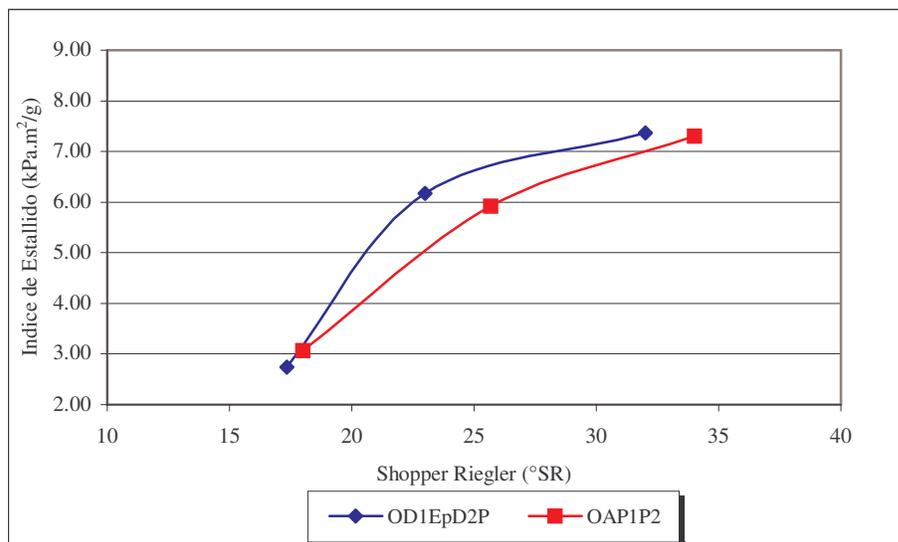


Figura N° 10. Índice de Estallido de *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* para las dos secuencias de blanqueo, según grado de refino.

En el cuadro N° 40 se presentan los resultados obtenidos de índice de Estallido de *Eucalyptus grandis*, para las dos secuencias de blanqueo estudiadas.

Cuadro N° 40. Resultados obtenidos de Índice de Estallido de *Eucalyptus grandis*, según secuencia de blanqueo y grado de refino.

Especie		<i>Eucalyptus grandis</i>			<i>Eucalyptus grandis</i>		
Secuencia de blanqueo		OD ₁ EpD ₂ P			OAP ₁ P ₂		
Revoluciones (N° vueltas)		0	1850	3400	0	1850	3400
Shopper Riegler (°SR)		20	24	34	21	25	36
Índice de Estallido (Kpa. m ² /g)	Media	3,45	6,05	7,81	4,39	6,48	8,20
	Desvío Estándar	0.08	0.36	0.07	0.07	0.15	0.23
	C.V (%)	2.44	5.89	0.87	1.56	2.35	2.79

Fuente: elaboración propia

A partir del cuadro anterior, se observa que el *Eucalyptus grandis* para las dos secuencias de blanqueo, presenta un mayor Índice de Estallido al aumentar el grado de refino de la pasta.

Al igual que en el de *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* Gerischer y van Wyk. (17), obtuvieron la misma tendencia en los resultados, al evaluar pulpa no blanqueada de *Eucalyptus grandis*, pero con resultados menores a los obtenidos en el presente trabajo; por ejemplo los autores obtuvieron a 36 °SR un Índice de Estallido de 1.96 Kpa. m² /g. (Cuadro N° 6)

En la figura N° 11 se presentan los resultados obtenidos de índice de Estallido de *Eucalyptus grandis*, para las dos secuencias de blanqueo estudiadas, no observándose diferencias entre secuencias de blanqueo como en el caso del *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*.

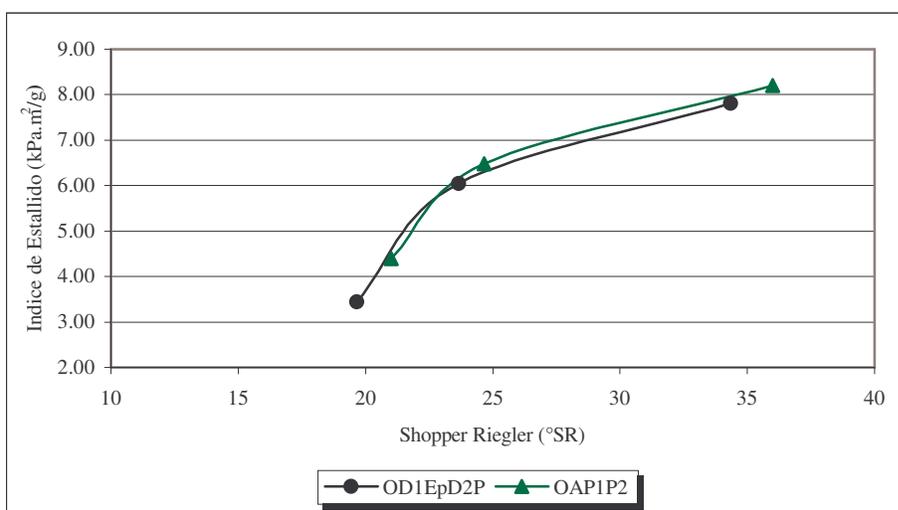


Figura N° 11. Índice de Estallido de *Eucalyptus grandis* para las dos secuencias de blanqueo, según grado de refino.

Finalmente, en la figura N° 12 se representan los resultados de Índice de Estallido de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* para las dos secuencias de blanqueo, en estado natural y dos puntos de refino.

En la misma se observan diferencias mínimas entre las especies, siendo mayores los resultados obtenidos de Índice de Estallido de *Eucalyptus grandis* en puntos de refino altos.

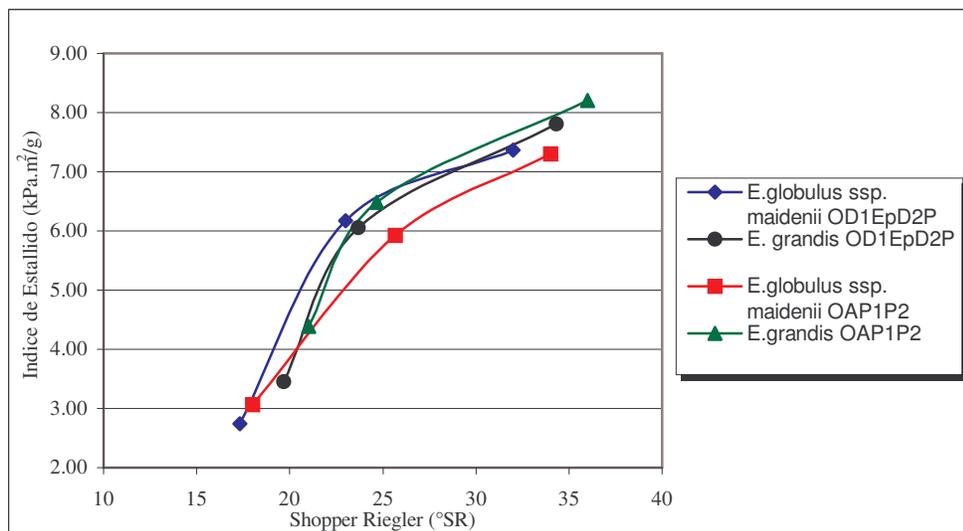


Figura N° 12. Índice de Estallido de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* para las dos secuencias de blanqueo, según grado de refino.

4.5.3 Índice de Desgarro

En el cuadro N° 41 se expresan los resultados obtenidos de Índice de Desgarro de *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*, para ambas secuencias de blanqueo, en estado natural y en dos puntos de refino de la pasta. (Apéndice 14)

Cuadro N° 41. Resultados obtenidos de Índice de Desgarro de *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*, según secuencia de blanqueo y grado de refino

Especie		<i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i>			<i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i>		
Secuencia de blanqueo		OD ₁ EpD ₂ P			OAP ₁ P ₂		
Revoluciones (N° vueltas)		0	2250	4200	0	2250	4200
Shopper Riegler (°SR)		17	23	32	18	26	34
Índice de Desgarro (mN. m ² /g)	Media	8,43	10,22	10,28	8,63	10,07	9,84
	Desvío Estándar	0.33	0.25	0.13	0.86	0.26	0.23
	C.V (%)	3.89	2.45	1.22	9.96	2.58	2.38

Fuente: elaboración propia

A partir del cuadro anterior, se observa que en la secuencia OD₁EpD₂P el Índice de Desgarro promedio aumenta al incrementar el grado de refino de la pasta, contrariamente a lo que sucede en la secuencia OAP₁P₂. Todos los valores promedios presentaron desvíos de la media menores a la unidad.

Gerischer y van Wyk. (17), en pulpa no blanqueada de *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* establecen que al aumentar el grado de refino (°SR) o de batido de la pulpa, el Índice de Desgarro aumenta, a su vez indican que la especie no es recomendable para la producción de fibra debido a los bajos valores de Índice de Desgarro entre 22 y 40 °SR, siendo los mismos de 2.49 y 3.1 mN.m²/g respectivamente (Cuadro N° 6)

Bustamante, citado por Carrau y Oribe (5) para pulpa no blanqueada de *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* indican que al aumentar el grado de refino de 30 a 45 °SR aumenta el Índice de Desgarro (Cuadro N° 10). Lo mismo indica Carriquiry (6), y Carrau y Oribe (5) en sus respectivos trabajos de tesis (Cuadros N° 8 y 15). Al igual que los anteriores, Backman y García de León. (1, 2), establecen que al pasar de 25 a 35 °SR el índice de Desgarro se incrementa.

En la figura N° 13 se representan gráficamente los resultados obtenidos de Índice de Desgarro de *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* para las dos secuencias de blanqueo.

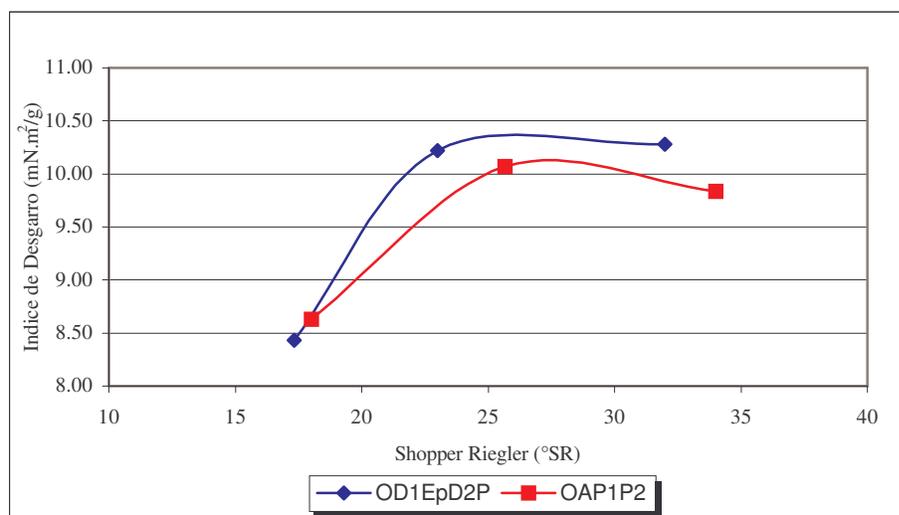


Figura N° 13. Índice de Desgarro de *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* para las dos secuencias de blanqueo, según grado de refino.

En el gráfico anterior se observa que el parámetro bajo estudio en el *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* presenta la misma tendencia pero valores promedios diferentes según la secuencia de blanqueo.

Promedialmente, la secuencia TCF (OAP₁P₂) presentó valores inferiores de índice de Desgarro comparado con la secuencia ECF (OD₁EpD₂P).

En el cuadro N° 42 se expresan los resultados obtenidos de Índice de Desgarro de *Eucalyptus grandis*, para ambas secuencias de blanqueo, en estado natural y en dos puntos de refinado de la pasta.

Se observa que en las secuencias de blanqueo, el Índice de Desgarro promedio disminuye al incrementar el grado de refinado de la pasta. Todos los valores promedios presentaron desvíos de la media menores a la unidad.

Cuadro N° 42. Resultados obtenidos de Índice de Desgarro de *Eucalyptus grandis*, según secuencia de blanqueo y grado de refinado

Especie		<i>Eucalyptus grandis</i>			<i>Eucalyptus grandis</i>		
		OD ₁ EpD ₂ P			OAP ₁ P ₂		
Secuencia de blanqueo		OD ₁ EpD ₂ P			OAP ₁ P ₂		
Revoluciones (N° vueltas)		0	1850	3400	0	1850	3400
Shopper Riegler (°SR)		20	24	34	21	25	36
Índice de Desgarro (mN. m ² /g)	Media	9,40	9,38	9,09	9,41	9,08	8,62
	Desvío Estándar	0.19	0.26	0.23	0.54	0.05	0.58
	C.V (%)	1.98	2.73	2.56	5.78	0.60	6.73

Fuente: elaboración propia

En el trabajo realizado por Gerischer y van Wyk. (17) en pulpa no blanqueada de *Eucalyptus grandis* establecen que al aumentar el grado de refinado (°SR) o de batido de la pulpa, el Índice de Desgarro aumenta (Cuadro N° 6).

Backman y García de León. (1, 2), establecen que al pasar de 25 a 35 °SR el índice de Desgarro se incrementa en pulpa blanqueada ECF de *Eucalyptus grandis*.

En la figura N° 14 se observa que el Índice de Desgarro en el *Eucalyptus grandis* presentó la misma tendencia para las dos secuencias de blanqueo pero valores promedios diferentes, al igual que en el *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*.

Villena (33), evaluando los resultados de las propiedades de las pastas de *Eucalyptus grandis* refinadas a 1500 revoluciones en molino PFI (entre 22- 25 °SR), obtuvo un índice de desgarro de 10.1 mN. m² /g. Promedialmente, la secuencia OAP₁P₂ presentó valores inferiores de índice de Desgarro comparado con la secuencia OD₁EpD₂P.

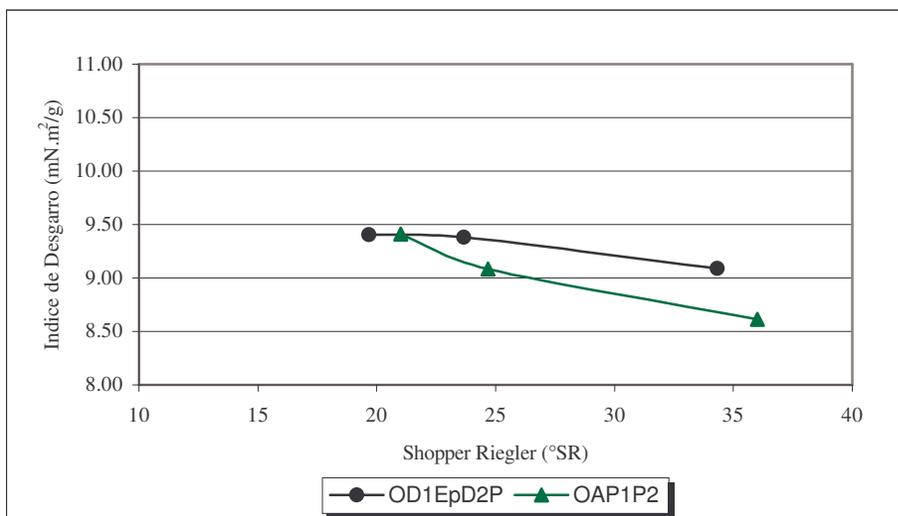


Figura N° 14. Índice de Desgarro de *Eucalyptus grandis* para las dos secuencias de blanqueo, según grado de refino.

En la figura siguiente se grafican las secuencias de blanqueo OD₁EpD₂P y OAP₁P₂ utilizadas en las dos especies estudiadas.

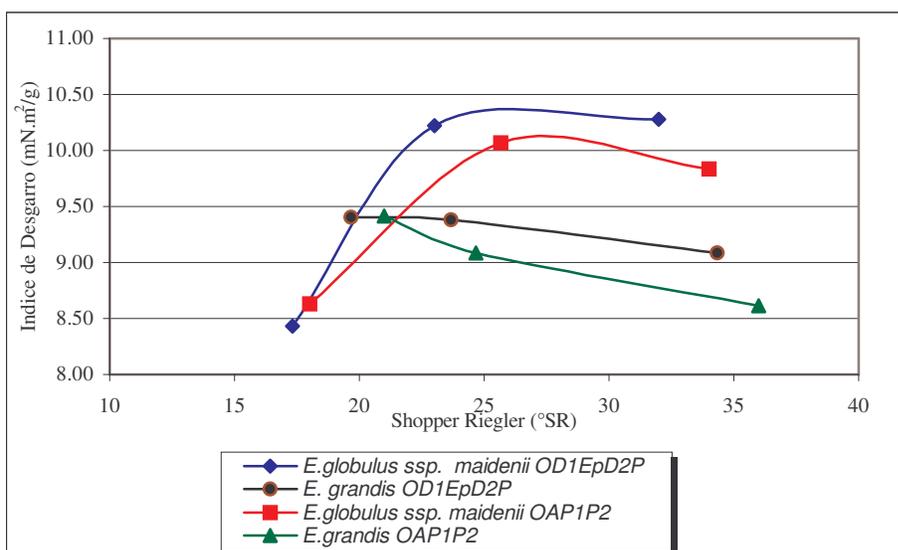


Figura N° 15. Índice de Desgarro de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* para las dos secuencias de blanqueo, según grado de refino.

En el gráfico se observa que en las dos especies estudiadas y para las dos secuencias de blanqueo utilizadas el Índice de Desgarro disminuye al aumentar el grado de refino de la pasta.

El *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* presentó valores superiores de Índice de Desgarro que el *Eucalyptus grandis*, independientemente de la secuencia de blanqueo utilizada. A su vez, para este estudio, bajo las condiciones establecidas, la secuencia TCF (OAP₁P₂) presentó valores inferiores a la secuencia ECF (OD₁EpD₂P), para ambas especies.

Backman y García De León. (1, 2) indican que el *Eucalyptus grandis* presenta valores de Índice de Desgarro mayores que el *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*.

Gerischer y van Wyk. (17), encontraron diferencias sustanciales entre las especies, resultando el *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* no recomendable para la producción de fibra debido a los bajos valores de índice de rasgado, comparado con el *Eucalyptus grandis*.

4.5.4 Índice = $\sqrt{\text{Índice de Desgarro} \times \text{Índice de Estallido}}$

Para mejor caracterización de los resultados obtenidos, se estableció la variación del producto $\sqrt{\text{Índice de Desgarro} \times \text{Índice de Estallido}}$, el cual permite observar el óptimo desarrollo de las características mecánicas del papel.

El mismo indica la superioridad en las características físico-mecánicas del papel de *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* frente al *Eucalyptus grandis* para los diferentes grados de refino estudiados en el presente trabajo. (Apéndice 15)

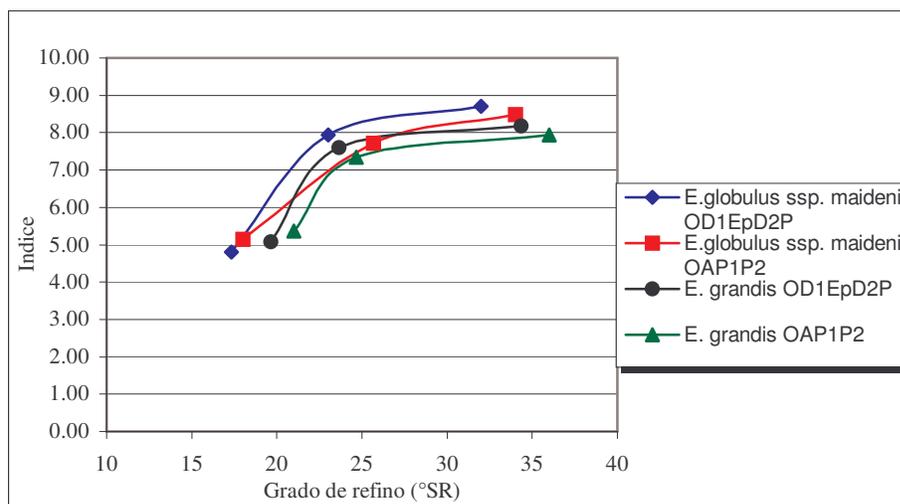


Figura N° 16. Índice óptimo de desarrollo de características del papel, según grado de refino.

5. CONCLUSIONES

En base a los objetivos y a las condiciones en las que se realizó el presente trabajo, se extraen las siguientes conclusiones:

- En cuanto a la densidad aparente básica los valores obtenidos no difieren de los presentados por otros autores, siendo para *Eucalyptus grandis* de 0.442 g /cm³ y de 0.558 g /cm³ para *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*. (Cuadro N° 31)
- Para un mismo índice Kappa, el *Eucalyptus grandis* requiere mayor porcentaje de álcali activo que el *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*, siendo los valores promedio 17.8 % y 17.0 % expresados en equivalentes Na₂O respectivamente. (Cuadro N° 32)
- El rendimiento bruto de ambas especies no difirió considerablemente, siendo 51.5% para *Eucalyptus grandis* y 51 % para *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*. A su vez el rendimiento clasificado en pasta, no presentó diferencias para las cocciones realizadas con el rendimiento bruto, debido a la ausencia de rechazos luego del tamizado. (Cuadro N° 32)
- Para las secuencias ECF (OD₁EpD₂P) y TCF (OAP₁P₂), el *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* presenta resultados mayores en grado de blanco y reversión que *Eucalyptus grandis*. Contrariamente la opacidad es mayor en *Eucalyptus grandis* que en *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*. (Figuras N° 3 y 4)
- No se observan diferencias importantes en los valores de viscosidad aunque el *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* presenta una viscosidad después del blanqueo mayor que el *Eucalyptus grandis*. Además, no se observan diferencias entre secuencias de blanqueo. En base a los resultados obtenidos se observa que todas las pastas evaluadas presentan un valor superior a 10 cp. (Figura N° 5)
- Los valores de resistencias al estallido, desgarró y tracción no difieren de los valores encontrados por otros autores. A su vez no se encuentran diferencias significativas para las 3 características físico – mecánicas entre especies y secuencias de blanqueo. (Figuras N° 9, 12 y 15)
- Observando los antecedentes en pulpa no blanqueada y los resultados obtenidos en el presente trabajo se concluye que las propiedades físico-mecánicas de las pastas no sufrieron variaciones por el blanqueo.
- Para obtener grados de refino similares *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* requiere menor número de vueltas en el refinador PFI que *Eucalyptus grandis*, lo

que se traduciría desde el punto de vista industrial en un ahorro de energía.
(Figura N° 6)

Sería conveniente para futuros trabajos profundizar el estudio en el área de blanqueo tanto ECF como TCF.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. BACKMAN, M., GARCIA DE LEON, J. P. 2003. Correlations of pulp and paper properties at an early age and full rotation age of five eucalyptus species. *In* Eucepa conference. 8 p.
- 2._____. 1998. Pulp and paper properties of four-year-old eucalyptus trees for early species selection. *In* Proceedings, 52nd. Appita conference. Finlandia. pp 8-14.
3. BERMUDEZ, J. D., TOUZA, M. C., SANZ, F.2002. Manual de la madera de Eucalipto blanco. Madrid, España. Editorial Artes Gráficas Palermo. 143 p.
4. BRUSSA, C.A. 1994. Eucalyptus, especies de cultivo más frecuente en Uruguay y regiones de clima templado. Montevideo. Uruguay. Editorial Hemisferio Sur. 328 p.
5. CARRAU, D., ORIBE, M. 2000. Aptitud papelera en *Eucalyptus globulus* Labill. ssp. *globulus*, *Eucalyptus globulus* Labill. ssp. *maidenii* (F. Muell.) Kirkpatrick., *Eucalyptus globulus* ssp. *bicostata* (Maiden, Blakely et Simmons) Kirk. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 54 p.
6. CARRIQUIRY, J., 1993. Aptitud papelera en tres especies de *Eucalyptus* (*E. viminalis*, *E. globulus* y *ssp maidenii*). Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 66 p.
7. CASEY, J.P., 1985. Pulp and Paper. Chemistry and Chemical Technology. (Volume 1). Third Edition. USA. Editorial John Wiley & Sons, Inc. 820 p.
- 8._____. Pulp and Paper. Chemistry and Chemical Technology. (Volume 2). Third Edition. USA. Editorial John Wiley & Sons, Inc. 821 – 1446 p.
- 9._____. Pulp and Paper. Chemistry and Chemical Technology. (Volume 3). Third Edition. USA. Editorial John Wiley & Sons, Inc. 1447 – 2111 p.
- 10._____. Pulp and Paper. Chemistry and Chemical Technology. (Volume 4). Third Edition. USA. Editorial John Wiley & Sons, Inc. 2112 – 2609 p.
11. CHERUBIN, M. 1999. Introducao ao processo de extracao de celulose e fabricacao de papel. Sao Paulo. Brasil. ABTCP. Núcleo técnico. 21 p.

12. COSTA, M., LEPORINI, C., SANTOS, C. A., DE OLIVEIRA, M. J. 2001. Efeito do fator Kappa na estabilidade de alvura de polpas Kraft branqueada de *Eucalyptus spp.* 34° Congresso Anual de Celulose e Papel. Sao Paulo. Brasil. ABTCP. 10 p.
13. DUTRA SIQUEIRIA, J. L., da SILVA FILHO, L. L. 1998. Branqueamento de polpa Kraft de Eucalipto-O papel do peróxido de hidrogenio. Bruxelas. ABTCP. 18 p.
14. DE MELLO, J.C., FERNANDEZ, R., 2000. Aptitud papelera en 4 especies de *Eucalyptus* (*E. grandis*, *E. dunnii*, *E. viminalis*, *E. badjensis*). Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 71 p.
15. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 1981. El Eucalipto en la repoblación forestal. Roma, 723 p. (Colección FAO: Montes n° 11).
16. FERNANDEZ, E., 1998. Investigaciones en pulpas Kraft de *Eucalyptus globulus* Labillardiere ssp. *globulus* y *Eucalyptus dunnii* Maiden, de bosque técnicos, tendientes a mejorar sus propiedades ópticas y mecánicas. Tesis Maestro en Ciencias de Productos Forestales. Guadalajara, Méjico, Universidad de Guadalajara. 112 p.
17. GERISCHER, G. F. R., VAN WYK, W. J. 1994. Pulping characteristics of *Eucalyptus* provenance trials grown in the Western Cape, Part 1: Comparison between species. South African Forestry Journal N° 170 . 1-5 p.
18. GOMIDE, J. L., COLODETTE, J. L., DE OLIVEIRA, R. C., GIRARD, R., AGRYROPOULOS, S.D. 2000. Factores que afetam a branqueabilidade de polpas Kraft de Eucalyptus. 2: Influencia de parámetros da polpacao. Congresso internacional de Celulose e Papel. Sao Paulo. Brasil. ABTCP-TAPPI. 10 p.
19. KRAMER, J.D. 1999. Blaching Eucalyptus Pulps – A Review. *In* 32° Congresso Anual de Celulose e Papel. Brasil. ABTCP. 13 p.
20. LEPORINI FILHO, C. 2003. Uso do Peróxido de Hidrogenio em Polpas Kraft de Eucalipto. 2° Encontro de Operadores de Lavagem e Branqueamento. Brasil. ABTCP. 59 p.
21. LIBBY, E. 1962. Ciencia y Tecnología sobre pulpa y papel (Tomo 1). 6^{ta} impresión. México, Editorial Continental. 534 p.
22. _____. Ciencia y Tecnología sobre pulpa y papel (Tomo 2). 6^{ta} impresión. México, Editorial Continental. 514 p.

23. MANTERO, C., CELONE, M., FRANCO, J. 2000. Caracterización físico mecánica de las principales especies forestales cultivadas en Uruguay. *In* XXIX Jornadas sudamericanas de ingeniería estructural. Montevideo, Uruguay. 19 p.
24. POLEZI, J. 1999. Variáveis de controle de pré-blanqueamento como oxigenio. *In* 32° Congresso Anual de Celulose e Papel. Brasil. ABTCP. 8 p.
25. REINOSO, E. 1981. Utilización de las pastas de Eucalyptus en la fabricación de papel. *In* II Congreso Latinoamericano de Celulosa y Papel (1981, Torremolinos, España). pp. 219-241.
26. REPETTI, R. 1992. Introducción a la tecnología de fabricación de pastas celulósicas. Buenos Aires, ATIPCA. 258 p.
27. RESQUIN, F. 2002. Del árbol al papel.
<http://www.yourland.com.uy/sumario.informes/informe06.html>
28. SMOOK, G.A. 1990. Manual para técnicos de pulpa y papel. Tappi. Georgia, Editorial Atlanta. 396 p.
29. STEEL, R.G.D., TORRIE, J.H. 1985. Bioestadística: principios y procedimientos. 2^{da} Edición. Colombia, Editorial Mc Graw-Hill. 622 p.
30. TAPPI. 2004 .Tappi Test Methods.Tappi Press. Atlanta, Uruguay.
31. URUGUAY. MINISTERIO DE GANADERIA AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCIÓN GENERAL FORESTAL. 2003. Boletín estadístico N° 3. Montevideo. 60 p.
32. URUGUAY. LABORATORIO TECNOLÓGICO DEL URUGUAY. 1990. Manual de técnicas de ensayo de pulpa de celulosa, papeles y cartones. Sección Pulpa de Celulosa y Papel. Montevideo. 104 p.
33. VASCONCELLOS DIAS, R.; DA SILVA, C. JR. 1985. Pulp and Paper Properties as influenced by Wood Density- Same species and Ages of Eucalyptus – Papermaking raw material. Volumen 1. pp. 7-36
34. VILLENA RUIZ-CLAVIJO, J. 2003. Calidad de la madera de Eucalyptus globulus ssp globulus como materia prima para la Industria pastero papelera. *In* 1° Simposio Iberoamericano de Eucalyptus globulus ssp. globulus. Montevideo, Uruguay. 8 p.

9. APENDICES

Apéndice 2. Cantidad de reactivos y pulpa de *Eucalyptus grandis* utilizada en la secuencia D₁EpD₂P:

Eucalyptus grandis: **Repetición 1**

ETAPA: DIOXIDO 1		
PULPA		
Húmedo (gr.)	Consistencia	Secos (gr.)
481.85	0.3113	150.00
[] ClO ₂	gr. ClO ₂	ml. ClO ₂
6.85	1.50	219
Agua (ml)		ml. H ₂ SO ₄
Total	Agregar	6
1500	793	
ETAPA: EXTRACCION con PEROXIDO		
PULPA		
Húmedo (gr.)	Consistencia	Secos (gr.)
489	0.3	146.70
[] H ₂ O ₂	gr. H ₂ O ₂	ml. H ₂ O ₂
42.33	0.734	17.3
[] NaOH	gr. NaOH	ml. NaOH
147	1.467	10.0
Agua (ml)		gr. MgSO ₄ = 0.734
Total	Agregar	gr. Edta = 5.135
1467	946	gr. Silicato = 0.734
ETAPA: DIOXIDO 2		
PULPA		
Húmedo (gr.)	Consistencia	Secos (gr.)
490	0.29	142.1
[] ClO ₂	gr. ClO ₂	ml. ClO ₂
6.85	0.711	104
Agua (ml)		ml. H ₂ SO ₄
Total	Agregar	3.5
1421	824	
ETAPA: PEROXIDO		
PULPA		
Húmedo (gr.)	Consistencia	Secos (gr.)
454	0.29	131.66
[] H ₂ O ₂	gr. H ₂ O ₂	ml. H ₂ O ₂
33.3	0.527	16
[] NaOH	gr. NaOH	ml. NaOH
147	0.658	4.5
Agua (ml)		
Total	Agregar	
1317	842	

Eucalyptus grandis: Repetición 2

ETAPA: DIOXIDO 1		
PULPA		
Húmedo (gr.)	Consistencia	Secos (gr.)
591	0.3113	183.98
[] ClO ₂	gr. ClO ₂	ml. ClO ₂
7.7	1.84	239
Agua (ml)		H ₂ SO ₄ (ml)
Total	Agregar	6
1840	1004	
ETAPA: EXTRACCION con PEROXIDO		
PULPA		
Húmedo (gr.)	Consistencia	Secos (gr.)
571	0.32	182.72
[] H ₂ O ₂	gr. H ₂ O ₂	ml. H ₂ O ₂
34.85	0.914	26.2
[] NaOH	gr. NaOH	ml. NaOH
147	2.37536	16.2
Agua (ml)		gr. MgSO ₄ = 0.914
Total	Agregar	gr. Edta = 6.395
1827.2	1207	gr. Silicato = 0.914
ETAPA: DIOXIDO 2		
PULPA		
Húmedo (gr.)	Consistencia	Secos (gr.)
513	0.35	179.55
[] ClO ₂	gr. ClO ₂	ml. ClO ₂
7.074	0.898	127
Agua (ml)		ml. H ₂ SO ₄
Total	Agregar	3.5
1795.5	1152	
ETAPA: PEROXIDO		
PULPA		
Húmedo (gr.)	Consistencia	Secos (gr.)
498	0.35	174.3
[] H ₂ O ₂	gr. H ₂ O ₂	ml. H ₂ O ₂
34.51	0.697	20.2
[] NaOH	gr. NaOH	ml. NaOH
175	0.872	5.0
Agua (ml)		
Total	Agregar	
1743	1220	

Eucalyptus grandis: Repetición 3

ETAPA: DIOXIDO 1		
PULPA		
Húmedo (gr.)	Consistencia	Secos (gr.)
591	0.3113	183.98
[] ClO ₂	gr. ClO ₂	ml. ClO ₂
7.7	1.84	239
Agua (ml)		ml. H ₂ SO ₄
Total	Agregar	6
1840	1004	
ETAPA: EXTRACCION con PEROXIDO		
PULPA		
Húmedo (gr.)	Consistencia	Secos (gr.)
571	0.32	182.72
[] H ₂ O ₂	gr. H ₂ O ₂	ml. H ₂ O ₂
34.85	0.914	26.2
[] NaOH	gr. NaOH	ml. NaOH
147	2.37536	16.2
Agua (ml)		gr. MgSO ₄ = 0.914
Total	Agregar	gr. Edta = 6.395
1827.2	1207	gr. Silicato = 0.914
ETAPA: DIOXIDO 2		
PULPA		
Húmedo (gr.)	Consistencia	Secos (gr.)
574	0.315	180.81
[] ClO ₂	gr. ClO ₂	ml. ClO ₂
7.074	0.904	128
Agua (ml)		ml. H ₂ SO ₄
Total	Agregar	3.5
1808.1	1103	
ETAPA: PEROXIDO		
PULPA		
Húmedo (gr.)	Consistencia	Secos (gr.)
566	0.315	178.29
[] H ₂ O ₂	gr. H ₂ O ₂	ml. H ₂ O ₂
34.51	0.713	21
[] NaOH	gr. NaOH	ml. NaOH
175	0.891	5.1
Agua (ml)		
Total	Agregar	
1783	1191	

Apéndice 3. Cantidad de reactivos y pulpa de *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* utilizada en la secuencia D₁EpD₂P.

Eucalyptus globulus ssp. maidenii: **Repetición 1**

ETAPA: DIOXIDO 1		
PULPA		
Húmedo (gr)	Consistencia	gr. Secos
468.75	0.32	150.00
[] ClO ₂	gr. ClO ₂	ml. ClO ₂
6.85	1.20	175
Agua (ml)		ml. H ₂ SO ₄
Total	Agregar	6
1500	850	
ETAPA: EXTRACCION con PEROXIDO		
PULPA		
Húmedo (gr)	Consistencia	gr. Secos
443	0.31	137.33
[] H ₂ O ₂	gr. H ₂ O ₂	ml. H ₂ O ₂
42.33	0.687	16.2
[] NaOH	gr. NaOH	ml. NaOH
147	1.3733	9.3
Agua (ml)		gr. MgSO ₄ = 0.687
Total	Agregar	gr. Edta = 4.807
1373.3	900	gr. Silicato = 0.687
ETAPA: DIOXIDO 2		
PULPA		
Húmedo (gr)	Consistencia	gr. Secos
461	0.29	133.69
[] ClO ₂	gr. ClO ₂	ml. ClO ₂
6.85	0.535	78
Agua (ml)		ml. H ₂ SO ₄
Total	Agregar	3.5
1336.9	794	
ETAPA: PEROXIDO		
PULPA		
Húmedo (gr)	Consistencia	gr. Secos
410	0.29	118.9
[] H ₂ O ₂	gr. H ₂ O ₂	ml. H ₂ O ₂
33.3	0.357	11
[] NaOH	gr. NaOH	ml. NaOH
147	0.595	4.0
Agua (ml)		
Total	Agregar	
1189	764	

Eucalyptus globulus ssp. maidenii: **Repetición 2**

ETAPA: DIOXIDO 1		
PULPA		
Húmedo (gr)	Consistencia	gr. Secos
518	0.315	163.17
[] ClO ₂	gr. ClO ₂	ml. ClO ₂
7.7	1.47	191
Agua (ml)		ml. H ₂ SO ₄
Total	Agregar	6
1632	917	
ETAPA: EXTRACCION con PEROXIDO		
PULPA		
Húmedo (gr)	Consistencia	gr. Secos
460	0.345	158.70
[] H ₂ O ₂	gr. H ₂ O ₂	ml. H ₂ O ₂
34.85	0.794	22.8
[] NaOH	gr. NaOH	ml. NaOH
147	2.0631	14.0
Agua (ml)		gr. MgSO ₄ = 0.794
Total	Agregar	gr. Edta = 5.555
1587	1085	gr. Silicato = 0.794
ETAPA: DIOXIDO 2		
PULPA		
Húmedo (gr)	Consistencia	gr. Secos
484	0.32	154.88
[] ClO ₂	gr. ClO ₂	ml. ClO ₂
7.074	0.620	88
Agua (ml)		ml. H ₂ SO ₄
Total	Agregar	3.5
1548.8	974	
ETAPA: PEROXIDO		
PULPA		
Húmedo (gr)	Consistencia	gr. Secos
464	0.33	153.12
[] H ₂ O ₂	gr. H ₂ O ₂	ml. H ₂ O ₂
34.51	0.459	13
[] NaOH	gr. NaOH	ml. NaOH
175	0.766	4.4
Agua (ml)		
Total	Agregar	
1531	1050	

Eucalyptus globulus ssp. maidenii: **Repetición 3**

ETAPA: DIOXIDO 1		
PULPA		
Húmedo (gr)	Consistencia	gr. Secos
518	0.315	163.17
[] ClO2	gr. ClO2	ml. ClO2
7.7	1.47	191
Agua (ml)		ml. H2SO4
Total	Agregar	6
1632	917	
ETAPA: EXTRACCION con PEROXIDO		
PULPA		
Húmedo (gr)	Consistencia	gr. Secos
465	0.345	160.43
[] H2O2	gr. H2O2	ml. H2O2
34.85	0.802	23.0
[] NaOH	gr. NaOH	ml. NaOH
147	2.085525	14.2
Agua (ml)		gr. MgSO4 = 0.802
Total	Agregar	gr. Edta = 5.615
1604.25	1096	gr. Silicato = 0.802
ETAPA: DIOXIDO 2		
PULPA		
Húmedo (gr)	Consistencia	gr. Secos
474	0.33	156.42
[] ClO2	gr. ClO2	ml. ClO2
7.074	0.626	88
Agua (ml)		ml. H2SO4
Total	Agregar	3.5
1564.2	998	
ETAPA: PEROXIDO		
PULPA		
Húmedo (gr)	Consistencia	gr. Secos
455	0.34	154.7
[] H2O2	gr. H2O2	ml. H2O2
34.51	0.464	13
[] NaOH	gr. NaOH	ml. NaOH
175	0.774	4.4
Agua (ml)		
Total	Agregar	
1547	1074	

Apéndice 4. Cantidad de reactivos y pulpa de *Eucalyptus grandis* utilizada en la secuencia AP₁P₂.

Eucalyptus grandis: **Repetición 1**

ETAPA: ACIDA		
PULPA		
Húmedo (gr.)	Consistencia	Secos (gr.)
591	0.3113	183.98
[] HCl	gr. HCl	ml. HCl
36.46	3.68	101
Agua (ml)		
Total	Agregar	
1840	1148	
ETAPA: PEROXIDO 1		
PULPA		
Húmedo (gr.)	Consistencia	Secos (gr.)
543	0.33	179.19
[] H ₂ O ₂	gr. H ₂ O ₂	ml. H ₂ O ₂
40.46	3.584	88.6
[] NaOH	gr. NaOH	ml. NaOH
175	2.688	15.4
Agua (ml)		gr. MgSO ₄ = 0.896
Total	Agregar	gr. Edta = 6.272
1792	1139	gr. Silicato = 0.896
ETAPA: PEROXIDO 2		
PULPA		
Húmedo (gr.)	Consistencia	Secos (gr.)
564	0.315	177.66
[] H ₂ O ₂	gr. H ₂ O ₂	ml. H ₂ O ₂
34.51	1.777	51.5
[] NaOH	gr. NaOH	ml. NaOH
175	1.777	10.2
Agua (ml)		
Total	Agregar	
1777	1151	

Eucalyptus grandis: Repetición 2

ETAPA: ACIDA		
PULPA		
Húmedo (gr.)	Consistencia	Secos (gr.)
591	0.3113	183.98
[] HCl	gr. HCl	ml. HCl
36.4	3.68	101
Agua (ml)		
Total	Agregar	
1840	1148	
ETAPA: PEROXIDO 1		
PULPA		
Húmedo (gr.)	Consistencia	Secos (gr.)
550	0.33	181.50
[] H ₂ O ₂	gr. H ₂ O ₂	ml. H ₂ O ₂
34.51	3.630	105.2
[] NaOH	gr. NaOH	ml. NaOH
175	2.7225	15.6
Agua (ml)		gr. MgSO ₄ = 0.908
Total	Agregar	gr. Edta = 6.353
1815	1138	gr. Silicato = 0.908
ETAPA: PEROXIDO 2		
PULPA		
Húmedo (gr.)	Consistencia	Secos (gr.)
572	0.315	180.18
[] H ₂ O ₂	gr. H ₂ O ₂	ml. H ₂ O ₂
35.02	2.162	61.7
[] NaOH	gr. NaOH	ml. NaOH
175	2.162	12.4
Agua (ml)		
Total	Agregar	
1802	1156	

Eucalyptus grandis: Repetición 3

ETAPA: ACIDA		
PULPA		
Húmedo (gr)	Consistencia	gr. Secos
591	0.3113	183.98
[] HCl	gr. HCl	ml. HCl
36.4	3.68	101
Agua (ml)		
Total	Agregar	
1840	1148	
ETAPA: PEROXIDO 1		
PULPA		
Húmedo (gr)	Consistencia	gr. Secos
554	0.33	182.82
[] H ₂ O ₂	gr. H ₂ O ₂	ml. H ₂ O ₂
34.51	3.656	106.0
[] NaOH	gr. NaOH	ml. NaOH
175	2.7423	15.7
Agua (ml)		gr. MgSO ₄ = 0.914
Total	Agregar	gr. Edta = 6.399
1828	1146	gr. Silicato = 0.914
ETAPA: PEROXIDO 2		
PULPA		
Húmedo (gr)	Consistencia	gr. Secos
560	0.325	182
[] H ₂ O ₂	gr. H ₂ O ₂	ml. H ₂ O ₂
35.02	2.184	62.4
[] NaOH	gr. NaOH	ml. NaOH
175	2.184	12.5
Agua (ml)		
Total	Agregar	
1820	1185	

Apéndice 5. Cantidad de reactivos y pulpa de *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* utilizada en la secuencia AP₁P₂.

Eucalyptus globulus ssp. maidenii: **Repetición 1**

ETAPA: ACIDA		
PULPA		
Húmedo (gr)	Consistencia	gr. Secos
516	0.315	162.54
[] HCl	gr. HCl	ml. HCl
36.46	3.25	89
Agua (ml)		
Total	Agregar	
1625	1020	
ETAPA: PEROXIDO 1		
PULPA		
Húmedo (gr)	Consistencia	gr. Secos
465	0.34	158.10
[] H ₂ O ₂	gr. H ₂ O ₂	ml. H ₂ O ₂
32.81	3.162	96.4
[] NaOH	gr. NaOH	ml. NaOH
175	2.3715	13.6
Agua (ml)		gr. MgSO ₄ = 0.791
Total	Agregar	gr. Edta = 5.534
1581	1001	gr. Silicato = 0.791
ETAPA: PEROXIDO 2		
PULPA		
Húmedo (gr)	Consistencia	gr. Secos
431	0.34	146.54
[] H ₂ O ₂	gr. H ₂ O ₂	ml. H ₂ O ₂
34.51	1.758	51.0
[] NaOH	gr. NaOH	ml. NaOH
175	1.758	10.0
Agua (ml)		
Total	Agregar	
1465	973	

Eucalyptus globulus ssp. maidenii: **Repetición 2**

ETAPA: ACIDA		
PULPA		
Húmedo (gr)	Consistencia	gr. Secos
516	0.315	162.54
<input type="checkbox"/> HCl	gr. HCl	ml. HCl
36.46	3.25	89
Agua (ml)		
Total	Agregar	
1625	1020	
ETAPA: PEROXIDO 1		
PULPA		
Húmedo (gr)	Consistencia	gr. Secos
465	0.34	158.10
<input type="checkbox"/> H ₂ O ₂	gr. H ₂ O ₂	ml. H ₂ O ₂
32.81	3.162	96.4
<input type="checkbox"/> NaOH	gr. NaOH	ml. NaOH
175	2.3715	13.6
Agua (ml)		gr. MgSO ₄ = 0.791
Total	Agregar	gr. Edta = 5.534
1581	1001	gr. Silicato = 0.791
ETAPA: PEROXIDO 2		
PULPA		
Húmedo (gr)	Consistencia	gr. Secos
443	0.35	155.05
<input type="checkbox"/> H ₂ O ₂	gr. H ₂ O ₂	ml. H ₂ O ₂
34.51	1.861	53.9
<input type="checkbox"/> NaOH	gr. NaOH	ml. NaOH
175	1.861	10.6
Agua (ml)		
Total	Agregar	
1551	1043	

Eucalyptus globulus ssp. maidenii: **Repetición 3**

ETAPA: ACIDA		
PULPA		
Húmedo (gr)	Consistencia	gr. Secos
516	0.315	162.54
[] HCl	gr. HCl	ml. HCl
36.46	3.25	89
Agua (ml)		
Total	Agregar	
1625	1020	
ETAPA: PEROXIDO 1		
PULPA		
Húmedo (gr)	Consistencia	gr. Secos
462	0.34	157.08
[] H ₂ O ₂	gr. H ₂ O ₂	ml. H ₂ O ₂
40.46	3.142	77.6
[] NaOH	gr. NaOH	ml. NaOH
175	2.3562	13.5
Agua (ml)		gr. MgSO ₄ = 0.785
Total	Agregar	gr. Edta = 5.498
1570.8	1012	gr. Silicato = 0.785
ETAPA: PEROXIDO 2		
PULPA		
Húmedo (gr)	Consistencia	gr. Secos
485	0.32	155.2
[] H ₂ O ₂	gr. H ₂ O ₂	ml. H ₂ O ₂
34.51	1.862	54.0
[] NaOH	gr. NaOH	ml. NaOH
175	1.862	10.6
Agua (ml)		
Total	Agregar	
1552	1002	

Apéndice 6. Gráfico de conversión de Canadian Fresnes a grados Shopper Riegler.

Apéndice 7. Descripción y densidad aparente básica de los árboles seleccionados.

Eucalyptus grandis

Árbol	Pilodyn	Dap (cm)	Altura comercial (m)	Altura total (m)	Densidad básica (g/cm ³)
G5	18	22.8	16.9	21.5	0.417
G24	18	22.0	15.9	19.4	0.425
G17	17	21.8	15.9	20.2	0.446
G2	17	21.1	16.3	20.4	0.434
G7	17	23.5	17.3	22.4	0.472
G1	18	22.1	17.0	21.3	0.406
G41	18	20.9	16.4	19.9	0.422
G25	17	26.3	18.0	23.3	0.451
G6	17	20.9	16.6	21.3	0.430
G4	17	22.8	16.1	19.9	0.434
G20	18	23.9	17.6	21.6	0.456
G63	18	15.5	13.6	18.1	0.424
G3	17	23.3	17.0	22.7	0.436
G10	17	20.9	15.8	18.7	0.433
G56	18	18.2	16.7	20.1	0.546
Media	17.28(*)	21.7	16.5	20.7	0.442
Desv. std	1.995(*)	2.49	1.02	1.47	0.033
C.V (%)	11.55(*)	11.46	6.21	7.09	7.47

(*): de los 100 árboles seleccionados.

Eucalyptus globulus ssp. maidenii

Árbol	Pilodyn	Dap (cm)	Altura comercial (m)	Altura total (m)	Densidad básica (g /cm ³)
M38	11	21.4	13.7	16.9	0.508
M3	10	14.6	11.0	17.3	0.620
M51	10	16.2	12.9	16.7	0.555
M21	11	16.0	12.3	18.0	0.568
M45	10	16.4	11.1	17.5	0.613
M19	11	25.4	14.0	18.8	0.582
M15	11	22.1	13.1	18.4	0.579
M8	11	22.1	13.4	18.3	0.602
M36	11	17.3	12.9	17.4	0.547
M48	10	16.9	11.3	17.4	0.596
M7	11	22.4	13.5	18.5	0.585
M6	10	16.4	12.2	17.5	0.607
M41	10	21.2	11.8	17.1	0.601
M50	10	20.2	12.7	17.8	0.638
M46	10	15.1	10.9	16.7	0.613
Media	10.36(*)	19.2	12.6	17.7	0.588
Desv. std	0.927(*)	3.40	1.15	0.81	0.033
C.V (%)	8.95(*)	17.71	9.11	4.56	5.61

(*): de los 100 árboles seleccionados.

Apéndice 8. Datos para cálculo de densidad básica de ambas especies.

Eucalyptus grandis

Árbol	Peso sumergido (g)	Peso saturado (g)	Volumen (cm ³)	Peso seco (g)
G5	50.61	1656.7	1606.09	669.95
G24	29.96	1108.3	1078.34	458.83
G17	88.48	1593.7	1505.22	671.19
G2	102.18	1446.0	1343.82	583.45
G7	83.28	1711.3	1628.02	768.56
G1	52.05	1427.8	1375.75	558.89
G41	80.73	1365.1	1284.37	541.76
G25	146.06	2239.1	2093.04	944.19
G6	101.86	1296.8	1194.94	513.42
G4	34.66	836.83	802.17	348.28
G20	75.97	982.64	906.67	413.02
G63	7.71	740.61	732.90	310.87
G3	91.99	1651.5	1559.51	679.55
G10	53.33	1193.7	1140.37	493.58
G56	133.71	1173.3	1039.59	567.54

Eucalyptus globulus ssp. maidenii

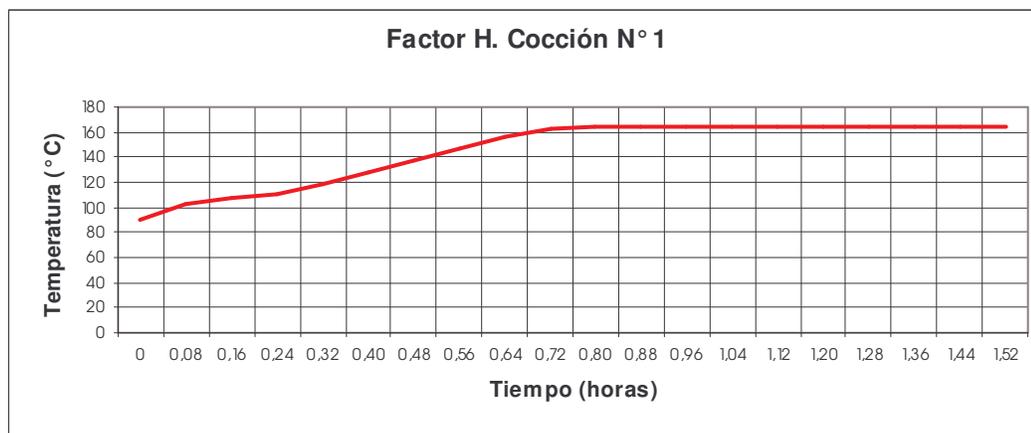
Árbol	Peso sumergido (g)	Peso saturado (g)	Volumen (cm ³)	Peso seco (g)
M38	67.15	479.32	412.17	209.38
M3	77.16	481.48	404.32	250.5
M51	27.06	188.96	161.9	89.82
M21	50.38	382.43	332.05	188.58
M45	92.12	552.85	460.73	282.41
M19	209.13	1473.4	1264.27	735.77
M15	85.40	548.86	463.46	268.27
M8	60.27	356.09	295.82	178.22
M36	85.09	597.89	512.8	280.56
M48	111.81	686.31	574.5	342.38
M7	71.72	476.35	404.63	236.86
M6	114.23	673.53	559.3	339.29
M41	96.53	637.37	540.84	325.06
M50	149.88	962.63	812.75	518.54
M46	231.54	1526.6	1295.06	793.62

Apéndice 9. Planillas de cálculo y gráficos de las cocciones de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*.

Eucalyptus grandis

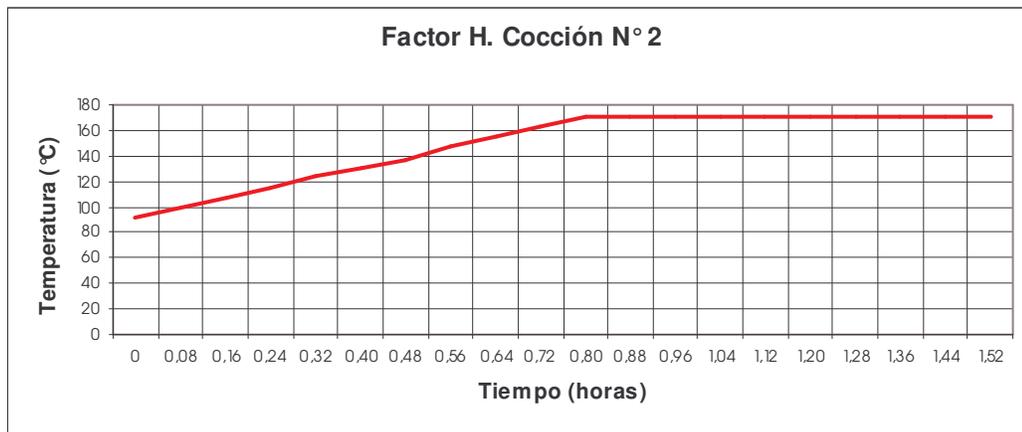
Cocción 1:

Tiempo	Temperatura (°C)	k	Factor H
0	90	0.304699342	
0.08	102	1.261119729	0.06524246
0.08	107	2.219691941	0.14503382
0.08	111	3.452375345	0.23633614
0.08	119	8.128758154	0.48254723
0.08	128	20.44943211	1.19075793
0.08	138	54.3595569	3.11704121
0.08	147	125.9285	7.51200237
0.08	157	307.3253556	18.052244
0.08	163	514.696796	34.250923
0.08	165	609.3109735	46.8336571
0.08	165	609.3109735	50.7759145
0.08	165	609.3109735	50.7759145
0.08	165	609.3109735	50.7759145
0.08	165	609.3109735	50.7759145
0.08	165	609.3109735	50.7759145
0.08	165	609.3109735	50.7759145
0.08	165	609.3109735	50.7759145
0.08	165	609.3109735	50.7759145
0.08	165	609.3109735	50.7759145
0.08	165	609.3109735	50.7759145
		Factor H total	568.87



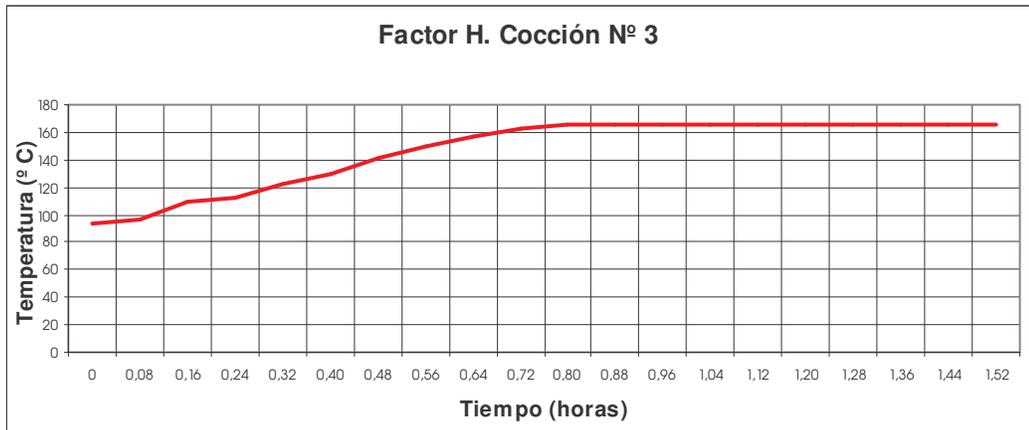
Cocción 2:

Tiempo	Temperatura (°C)	k	Factor H
0	92	0.388599713	
0.08	100	1.001609874	0.0579254
0.08	107	2.219691941	0.13422091
0.08	115	5.320937366	0.31419289
0.08	124	13.64124927	0.79009111
0.08	130	24.96237589	1.60848438
0.08	137	49.40244911	3.09853437
0.08	148	137.9430412	7.8060621
0.08	155	257.9597947	16.4959515
0.08	163	514.696796	32.1940246
0.08	165	609.3109735	46.8336571
0.08	165	609.3109735	50.7759145
0.08	165	609.3109735	50.7759145
0.08	165	609.3109735	50.7759145
0.08	165	609.3109735	50.7759145
0.08	165	609.3109735	50.7759145
0.08	165	609.3109735	50.7759145
0.08	165	609.3109735	50.7759145
0.08	165	609.3109735	50.7759145
0.08	165	609.3109735	50.7759145
		Factor H total	566.32



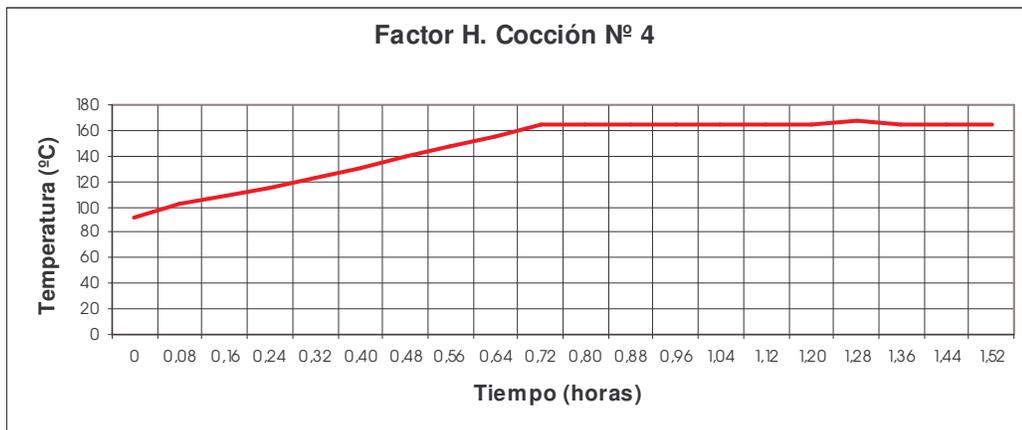
Cocción 3:

Tiempo	Temperatura (°C)	k	Factor H
0	93	0.438414634	
0.08	96	0.627089085	0.04439599
0.08	110	3.094121177	0.15505043
0.08	113	4.290814967	0.30770567
0.08	123	12.31238985	0.6918002
0.08	130	24.96237589	1.55311524
0.08	141	72.21950378	4.04924499
0.08	150	165.3065152	9.89691746
0.08	157	307.3253556	19.6929946
0.08	163	514.696796	34.250923
0.08	166	662.5708945	49.0528204
0.08	165	609.3109735	52.9950778
0.08	165	609.3109735	50.7759145
0.08	166	662.5708945	52.9950778
0.08	165	609.3109735	52.9950778
0.08	165	609.3109735	50.7759145
0.08	165	609.3109735	50.7759145
0.08	165	609.3109735	50.7759145
0.08	165	609.3109735	50.7759145
0.08	165	609.3109735	50.7759145
0.08	165	609.3109735	50.7759145
		Factor H total	583.34



Cocción 4:

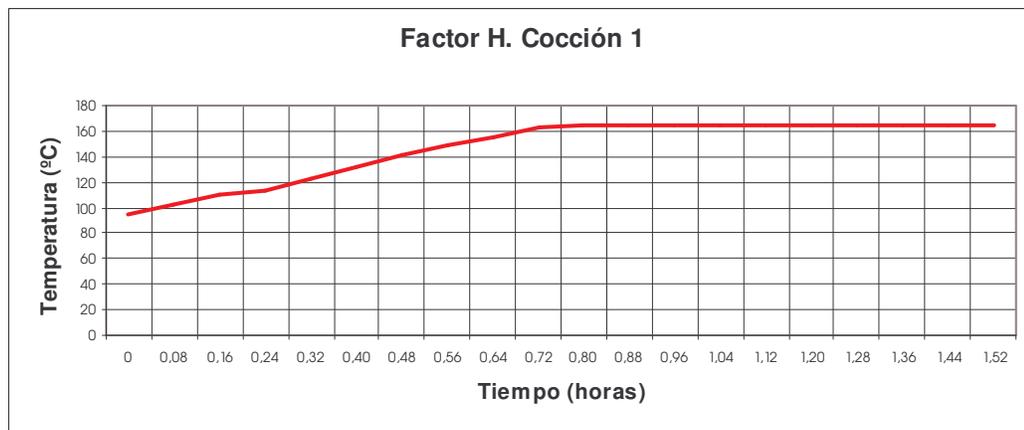
Tiempo	Temperatura (°C)	k	Factor H
0	92	0.38859971	
0.08	103	1.41379361	0.07509972
0.08	109	2.77145299	0.17438528
0.08	115	5.32093737	0.33718293
0.08	123	12.3123899	0.73472197
0.08	131	27.5592059	1.66131649
0.08	140	65.7245258	3.88682215
0.08	148	137.943041	8.48614862
0.08	155	257.959795	16.4959515
0.08	164	560.117427	34.0865509
0.08	165	609.310974	48.7261834
0.08	165	609.310974	50.7759145
0.08	165	609.310974	50.7759145
0.08	165	609.310974	50.7759145
0.08	165	609.310974	50.7759145
0.08	165	609.310974	50.7759145
0.08	167	720.211886	55.3967858
0.08	165	609.310974	55.3967858
0.08	165	609.310974	50.7759145
0.08	165	609.310974	50.7759145
		Factor H total	580.89



Eucalyptus globulus ssp. maidenii.

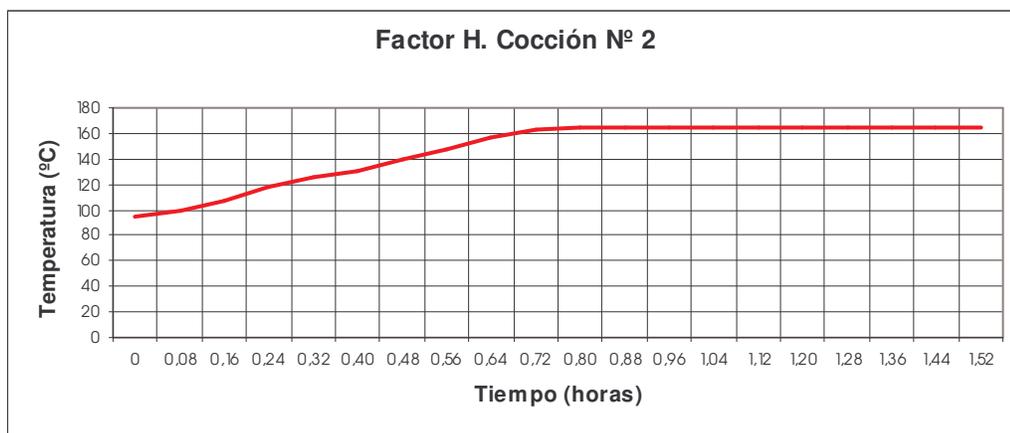
Cocción 1:

Tiempo	Temperatura (°C)	k	Factor H
0	94	0.49429036	
0.083	102	1.26111973	0.07314209
0.083	110	3.09412118	0.18146837
0.083	114	4.7795246	0.32806857
0.083	123	12.3123899	0.7121631
0.083	132	30.4113172	1.78015446
0.083	141	72.2195038	4.27628421
0.083	149	151.038617	9.30242169
0.083	155	257.959795	17.0416005
0.083	163	514.696796	32.1940246
0.083	165	609.310974	46.8336571
0.083	165	609.310974	50.7759145
0.083	165	609.310974	50.7759145
0.083	165	609.310974	50.7759145
0.083	165	609.310974	50.7759145
0.083	165	609.310974	50.7759145
0.083	165	609.310974	50.7759145
0.083	165	609.310974	50.7759145
0.083	165	609.310974	50.7759145
0.083	165	609.310974	50.7759145
		Factor H total	569.71



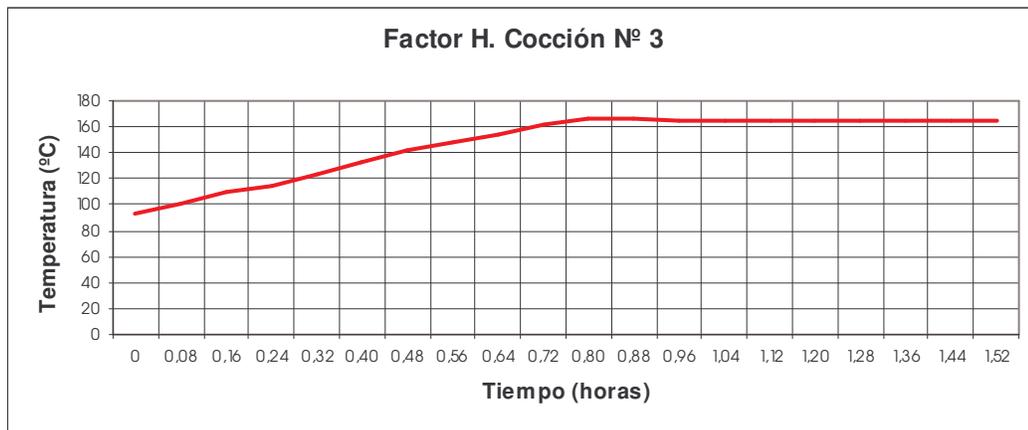
Cocción 2:

Tiempo	Temperatura (°C)	k	Factor H
0	94	0.494290364	
0.08	100	1.001609874	0.06232918
0.08	107	2.219691941	0.13422091
0.08	118	7.31759213	0.39738684
0.08	125	15.10574865	0.93430587
0.08	130	24.96237589	1.66950519
0.08	139	59.78630964	3.53119523
0.08	148	137.9430412	8.23872295
0.08	157	307.3253556	18.5528499
0.08	163	514.696796	34.250923
0.08	165	609.3109735	46.8336571
0.08	165	609.3109735	50.7759145
0.08	165	609.3109735	50.7759145
0.08	165	609.3109735	50.7759145
0.08	165	609.3109735	50.7759145
0.08	165	609.3109735	50.7759145
0.08	165	609.3109735	50.7759145
0.08	165	609.3109735	50.7759145
0.08	165	609.3109735	50.7759145
0.08	165	609.3109735	50.7759145
0.08	165	609.3109735	50.7759145
		Factor H total	571.59



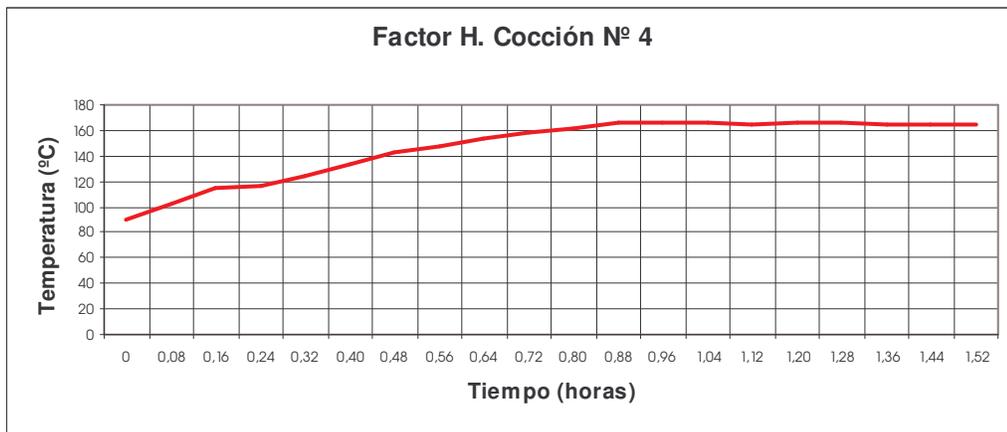
Cocción 3:

Tiempo	Temperatura (°C)	k	Factor H
0	93	0.438414634	
0.08	100	1.001609874	0.06000102
0.08	110	3.094121177	0.17065546
0.08	114	4.779524599	0.32806857
0.08	123	12.31238985	0.7121631
0.08	132	30.41131718	1.78015446
0.08	142	79.32029128	4.57215035
0.08	148	137.9430412	9.05263885
0.08	154	236.1901031	15.588881
0.08	162	472.7755207	29.5402343
0.08	167	720.2118858	49.7078086
0.08	166	662.5708945	57.6159492
0.08	165	609.3109735	52.9950778
0.08	165	609.3109735	50.7759145
0.08	164	560.1174272	48.7261834
0.08	165	609.3109735	48.7261834
0.08	165	609.3109735	50.7759145
0.08	165	609.3109735	50.7759145
0.08	165	609.3109735	50.7759145
0.08	165	609.3109735	50.7759145
0.08	165	609.3109735	50.7759145
		Factor H total	573.46



Cocción 4:

Tiempo	Temperatura (°C)	k	Factor H
0	90	0.304699342	
0.08	103	1.413793611	0.07160387
0.08	115	5.320937366	0.28061379
0.08	117	6.583821716	0.49603163
0.08	124	13.64124927	0.84271129
0.08	133	33.54231855	1.96598199
0.08	142	79.32029128	4.70260874
0.08	148	137.9430412	9.05263885
0.08	153	216.1680983	14.7546308
0.08	158	335.2408363	22.9753723
0.08	162	472.7755207	33.6673482
0.08	166	662.5708945	47.3061006
0.08	166	662.5708945	55.2142412
0.08	166	662.5708945	55.2142412
0.08	165	609.3109735	52.9950778
0.08	166	662.5708945	52.9950778
0.08	166	662.5708945	55.2142412
0.08	165	609.3109735	52.9950778
0.08	165	609.3109735	50.7759145
0.08	165	609.3109735	50.7759145
		Factor H total	562.30



Apéndice 10. Resultados de las cocciones de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*.

Eucalyptus grandis

Número de Cocción	1	2	3	4
Índice Kappa	18.1	19	18.1	18.6
Rendimiento bruto (%)	50.6	52.5	51.3	51.4
Rechazos (%)	0	0	0	0.1
Rendimiento tamizado (%)	50.6	52.5	51.3	51.3
Factor H	568.87	566.32	583.34	580.89

Eucalyptus globulus ssp. maidenii.

Número de Cocción	1	2	3	4
Índice Kappa	19.0	17.2	17.1	18.6
Rendimiento bruto (%)	51.3	50.9	50.9	51.0
Rechazos (%)	0	0	0	0
Rendimiento tamizado (%)	51.3	50.9	50.9	51.0
Factor H	569.7	571.6	573.5	562.3

Apéndice 11. Datos de grado de blanco, opacidad y reversión para ambas especies según secuencia.

Eucalyptus grandis :OD₁EpD₂P

		Grado de blanco	Opacidad	Reversión
Repetición 1	1	87.82	93.84	85.4
	2	86.38	93.48	86.01
	3	86.96	93.72	84.71
	4	87.69	92.90	84.90
	promedio	87.21	93.49	85.26
	corrección	87.80	94.06	85.85
Repetición 2	1	86.29	94.78	81.61
	2	86.52	93.94	84.35
	3	86.33	92.42	84.78
	4	86.29	94.24	83.69
	promedio	86.36	93.85	83.61
	corrección	86.95	94.42	84.20
Repetición 3	1	86.16	93.40	85.66
	2	87.18	92.38	86.97
	3	86.88	92.63	85.94
	4	86.72	94.07	86.04
	promedio	86.74	93.12	86.15
	corrección	87.32	93.70	86.74

Eucalyptus grandis :OAP₁P₂

		Grado de blanco	Opacidad	Reversión
Repetición 1	1	66.44	92.94	63.76
	2	66.19	95.09	63.71
	3	66.04	95.79	63.35
	4	65.51	93.06	63.13
	promedio	66.05	94.22	63.49
	corrección	66.68	94.79	64.12
Repetición 2	1	68.32	92.21	66.00
	2	68.28	96.63	65.38
	3	68.04	97.63	65.28
	4	68.67	95.44	65.81
	promedio	68.33	95.48	65.62
	corrección	68.95	96.05	66.25
Repetición 3	1	67.65	95.76	64.55
	2	67.84	98.12	64.58
	3	67.06	95.26	63.67
	4	66.73	95.79	64.12
	promedio	67.32	96.23	64.23
	corrección	67.95	96.80	64.87

Eucalyptus globulus ssp. maidenii: OD₁EpD₂P

		Grado de blanco	Opacidad	Reversión
Repeticón 1	1	87.83	94.23	84.24
	2	88.00	93.69	84.92
	3	87.84	94.26	84.80
	4	87.39	94.51	84.97
	promedio	87.77	94.17	84.73
	corrección	88.35	94.75	85.33
Repeticón 2	1	89.07	91.56	85.74
	2	88.74	91.65	85.54
	3	89.12	91.27	85.85
	4	89.38	90.50	85.96
	promedio	89.08	91.25	85.77
	corrección	89.66	91.82	86.36
Repeticón 3	1	89.53	91.06	86.89
	2	90.02	92.46	86.79
	3	89.71	91.41	86.68
	4	89.34	91.14	86.85
	promedio	89.65	91.52	86.80
	corrección	90.23	92.10	87.39

Eucalyptus globulus ssp. maidenii: OAP₁P₂

		Grado de blanco	Opacidad	Reversión
Repeticón 1	1	70.86	93.76	67.37
	2	70.82	94.65	67.6
	3	71.06	95.31	68.38
	4	70.96	94.79	68.13
	promedio	70.93	94.63	67.87
	corrección	71.55	95.20	68.50
Repeticón 2	1	69.80	93.99	67.17
	2	69.94	92.96	67.29
	3	69.61	94.63	67.54
	4	69.99	92.10	67.55
	promedio	69.84	93.42	67.39
	corrección	70.46	93.99	68.02
Repeticón 3	1	70.08	92.56	67.32
	2	70.73	93.57	68.00
	3	69.99	95.26	67.78
	4	69.97	93.66	67.8
	promedio	70.19	93.76	67.73
	corrección	70.82	94.34	68.35

Apéndice 12. Datos de viscosidad para ambas especies según secuencia.

	Viscosidad menisco 1	Viscosidad menisco 2
<i>Eucalyptus grandis</i> OAP ₁ P ₂	19.45	19.73
<i>Eucalyptus grandis</i> OAP ₁ P ₂	19.92	20.27
<i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i> OD ₁ EpD ₂ P	22.72	23.28
<i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i> OAP ₁ P ₂	24.57	25.08

Apéndice 13. Datos de refinación

Eucalyptus grandis :OD1EpD2P

Repetición 1

Refino (revoluciones)	0	1850	3400
Peso seco (gr)	30	30	30
Consistencia (%)	29.94	29.94	29.94
Toma (gr)	100.20	100.20	100.20
Peso papel filtro (gr)	1.37	1.45	1.47
Peso papel filtro + pasta	4.38	4.55	4.37
Consistencia Fresness	0.30	0.31	0.29
Temperatura	19	21	19
Fresness s/corregir	590	520	360
Corrección temperatura	4	-4	4
Corrección consistencia	0	7	-7
Fresness corregido	594	523	357
° Shopper	19	23	35

Repetición 2

Refino (revoluciones)	0	1850	3400
Peso seco (gr)	30	30	30
Consistencia (%)	30.93	30.93	30.93
Toma (gr)	96.99	96.99	96.99
Peso papel filtro (gr)	1.38	1.46	1.47
Peso papel filtro + pasta	4.22	4.39	4.5
Consistencia Fresness	0.28	0.29	0.30
Temperatura	19	20	18
Fresness s/corregir	590	510	375
Corrección temperatura	4	0	9
Corrección consistencia	-13	-7	0
Fresness corregido	581	503	384
° Shopper	20	24	34

Repetición 3

Refino (revoluciones)	0	1850	3400
Peso seco (gr)	30	30	30
Consistencia (%)	31.56	31.56	31.56
Toma (gr)	95.06	95.06	95.06
Peso papel filtro (gr)	1.4	1.45	1.05
Peso papel filtro + pasta	4.22	4.45	4
Consistencia Fresness	0.28	0.30	0.30
Temperatura	19	19	18
Fresness s/corregir	575	495	375
Corrección temperatura	4	4	9
Corrección consistencia	-13	0	0
Fresness corregido	566	499	384
° Shopper	20	24	34

Eucalyptus grandis: OAP1P2 Repetición 1

Refino (revoluciones)	0	1850	3400
Peso seco (gr)	30	30	30
Consistencia (%)	31.19	31.19	31.19
Toma (gr)	96.18	96.18	96.18
Peso papel filtro (gr)	1.48	1.48	1.38
Peso papel filtro + pasta	4.48	4.61	4.32
Consistencia Fresness	0.3	0.31	0.29
Temperatura	21	22	17
Fresness s/corregir	550	485	335
Corrección temperatura	-4	-8	13
Corrección consistencia	0	7	-7
Fresness corregido	546	484	341
° Shopper	21	23	35

Repetición 2

Refino (revoluciones)	0	1850	3400
Peso seco (gr)	30	30	30
Consistencia (%)	30.97	30.97	30.97
Toma (gr)	96.87	96.87	96.87
Peso papel filtro (gr)	1.48	1.37	1.45
Peso papel filtro + pasta	4.42	4.16	4.35
Consistencia Fresness	0.29	0.28	0.29
Temperatura	21	22	18
Fresness s/corregir	565	495	345
Corrección temperatura	-4	-8	9
Corrección consistencia	-7	-14	-7
Fresness corregido	554	473	347
° Shopper	21	26	36

Repetición 3

Refino (revoluciones)	0	1850	3400
Peso seco (gr)	30	30	30
Consistencia (%)	30.51	30.51	30.51
Toma (gr)	98.33	98.33	98.33
Peso papel filtro (gr)	1.46	1.46	1.39
Peso papel filtro + pasta	4.48	4.08	4.32
Consistencia Fresness	0.30	0.26	0.29
Temperatura	18.5	21.5	17
Fresness s/corregir	555	500	335
Corrección temperatura	6	-6	13
Corrección consistencia	0	-29	-7
Fresness corregido	561	465	341
° Shopper	21	25	37

Eucalyptus globulus ssp. maidenii: OD1EpD2P Repetición 1

Refino (revoluciones)	0	2250	4200
Peso seco (gr)	30	30	30
Consistencia (%)	32.99	32.99	32.99
Toma (gr)	90.94	90.94	90.94
Peso papel filtro (gr)	1.39	1.44	1.49
Peso papel filtro + pasta	4.21	4.29	4.51
Consistencia Fresness	0.28	0.29	0.30
Temperatura	21	18	19
Fresness s/corregir	650	510	390
Corrección temperatura	-4	8	4
Corrección consistencia	-11	-7	0
Fresness corregido	635	511	394
° Shopper	18	23	33

Repetición 2

Refino (revoluciones)	0	2250	4200
Peso seco (gr)	30	30	30
Consistencia (%)	34.24	34.24	34.24
Toma (gr)	87.62	87.62	87.62
Peso papel filtro (gr)	1.4	1.47	1.59
Peso papel filtro + pasta	4.25	4.47	4.49
Consistencia Fresness	0.29	0.30	0.29
Temperatura	21	16	18.5
Fresness s/corregir	660	500	395
Corrección temperatura	-3	17	12
Corrección consistencia	-6	0	-7
Fresness corregido	651	517	400
° Shopper	17	23	32

Repetición 3

Refino (revoluciones)	0	2250	4200
Peso seco (gr)	30	30	30
Consistencia (%)	34.69	34.69	34.69
Toma (gr)	86.48	86.48	86.48
Peso papel filtro (gr)	1.41	1.46	1.48
Peso papel filtro + pasta	4.3	4.41	4.49
Consistencia Fresness	0.29	0.30	0.30
Temperatura	21	16	20
Fresness s/corregir	660	495	410
Corrección temperatura	-3	17	0
Corrección consistencia	-6	0	0
Fresness corregido	651	512	410
° Shopper	17	23	31

Eucalyptus globulus ssp. maidenii: OAP1P2Repetición 1

Refino (revoluciones)	0	2250	4200
Peso seco (gr)	30	30	30
Consistencia (%)	32.34	32.34	32.34
Toma (gr)	92.76	92.76	92.76
Peso papel filtro (gr)	1.44	1.46	1.49
Peso papel filtro + pasta	4.33	4.34	4.53
Consistencia Fresness	0.29	0.29	0.30
Temperatura	19	20	19
Fresness s/corregir	630	480	355
Corrección temperatura	4	0	4
Corrección consistencia	-6	-7	0
Fresness corregido	628	473	359
° Shopper	18	26	35

Repetición 2

Refino (revoluciones)	0	2250	4200
Peso seco (gr)	30	30	30
Consistencia (%)	31.74	31.74	31.74
Toma (gr)	94.52	94.52	94.52
Peso papel filtro (gr)	1.43	1.47	1.04
Peso papel filtro + pasta	4.38	4.5	4.05
Consistencia Fresness	0.30	0.30	0.30
Temperatura	21	16	18
Fresness s/corregir	620	450	360
Corrección temperatura	-4	18	9
Corrección consistencia	0	0	0
Fresness corregido	616	468	369
° Shopper	18	26	34

Repetición 3

Refino (revoluciones)	0	2250	4200
Peso seco (gr)	30	30	30
Consistencia (%)	32.37	32.37	32.37
Toma (gr)	92.68	92.68	92.68
Peso papel filtro (gr)	1.43	1.36	1.57
Peso papel filtro + pasta	4.27	4.32	5.15
Consistencia Fresness	0.28	0.30	0.36
Temperatura	21.5	21	19
Fresness s/corregir	630	480	335
Corrección temperatura	-6	-4	4
Corrección consistencia	-12	0	38
Fresness corregido	612	476	377
° Shopper	18	25	33

Apéndice 14 . Datos promedio de las repeticiones de las propiedades físico-mecánicas

Eucalyptus grandis: OD1EpD2P

Repetición 1

Grado de refino	0	1850	3400
Canadian S. Freesness (CSF)	594	523	357
Índice de Desgarro (mN.m2/g)	9.24	9.28	9.27
Índice de Reventamiento (Kpa.m2/g)	3.44	5.72	7.87
Índice de Tracción (N.m/g)	49.53	73.14	102.78

Repetición 2

Grado de refino	0	1850	3400
Canadian S. Freesness (CSF)	581	503	384
Índice de Desgarro (mN.m2/g)	9.61	9.67	8.82
Índice de Reventamiento (Kpa.m2/g)	3.53	6.00	7.83
Índice de Tracción (N.m/g)	51.36	76.35	95.02

Repetición 3

Grado de refino	0	1850	3400
Canadian S. Freesness (CSF)	566	499	384
Índice de Desgarro (mN.m2/g)	9.36	9.19	9.17
Índice de Reventamiento (Kpa.m2/g)	3.36	6.43	7.73
Índice de Tracción (N.m/g)	47.29	78.05	96.97

Eucalyptus grandis: OAP₁P₂

Repetición 1

Grado de refino	0	1850	3400
Canadian S. Freesness (CSF)	546	484	341
Índice de Desgarro (mN.m2/g)	9.24	9.15	8.46
Índice de Reventamiento (Kpa.m2/g)	4.39	6.51	8.04
Índice de Tracción (N.m/g)	62.55	81.11	98.70

Repetición 2

Grado de refino	0	1850	3400
Canadian S. Freesness (CSF)	554	473	347
Índice de Desgarro (mN.m2/g)	8.98	9.06	8.13
Índice de Reventamiento (Kpa.m2/g)	4.32	6.61	8.46
Índice de Tracción (N.m/g)	60.24	83.94	94.55

Repetición 3

Grado de refino	0	1850	3400
Canadian S. Freesness (CSF)	561	465	341
Índice de Desgarro (mN.m2/g)	10.02	9.04	9.26
Índice de Reventamiento (Kpa.m2/g)	4.46	6.31	8.09
Índice de Tracción (N.m/g)	61.82	85.69	101.73

Eucalyptus globulus ssp. maidenii : OD₁EpD₂P

Repetición 1

Grado de refino	0	2250	4200
Canadian S. Freesness (CSF)	635	511	394
Índice de Desgarro (mN.m ² /g)	8.09	10.32	10.20
Índice de Reventamiento (Kpa.m ² /g)	2.71	6.28	7.57
Índice de Tracción (N.m/g)	41.51	80.47	91.92

Repetición 2

Grado de refino	0	2250	4200
Canadian S. Freesness (CSF)	651	517	400
Índice de Desgarro (mN.m ² /g)	8.47	9.94	10.42
Índice de Reventamiento (Kpa.m ² /g)	2.74	6.16	7.30
Índice de Tracción (N.m/g)	43.01	83.39	93.56

Repetición 3

Grado de refino	0	2250	4200
Canadian S. Freesness (CSF)	651	473	410
Índice de Desgarro (mN.m ² /g)	8.74	10.41	10.21
Índice de Reventamiento (Kpa.m ² /g)	2.78	6.06	7.22
Índice de Tracción (N.m/g)	45.63	84.78	90.73

Eucalyptus globulus ssp. maidenii : OAP₁P₂

Repetición 1

Grado de refino	0	2250	4200
Canadian S. Freesness (CSF)	628	473	359
Índice de Desgarro (mN.m ² /g)	8.22	10.11	9.84
Índice de Reventamiento (Kpa.m ² /g)	3.16	5.93	7.36
Índice de Tracción (N.m/g)	47.55	83.41	99.51

Repetición 2

Grado de refino	0	2250	4200
Canadian S. Freesness (CSF)	616	468	369
Índice de Desgarro (mN.m ² /g)	9.62	10.30	10.07
Índice de Reventamiento (Kpa.m ² /g)	2.97	6.00	7.21
Índice de Tracción (N.m/g)	49.16	85.67	90.83

Repetición 3

Grado de refino	0	2250	4200
Canadian S. Freesness (CSF)	612	476	377
Índice de Desgarro (mN.m ² /g)	8.06	9.79	9.60
Índice de Reventamiento (Kpa.m ² /g)	3.08	5.84	7.34
Índice de Tracción (N.m/g)	48.31	82.02	97.64

Apéndice 15: Índice = $\sqrt{\text{Índice de Desgarro} \times \text{Índice de Estallido}}$: índice óptimo de desarrollo de características del papel, según grado de refino.

<i>Especie</i>	<i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i>			<i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i>		
Secuencia de blanqueo	OD ₁ EpD ₂ P			OAP ₁ P ₂		
Revoluciones (N° vueltas)	0	2250	4200	0	2250	4200
Shopper Riegler (SR°)	17	23	32	18	26	34
Índice = $\sqrt{\text{Índice de Desgarro} \times \text{Índice de Estallido}}$	4.81	7.94	8.74	5.15	7.72	8.48
<i>Especie</i>	<i>Eucalyptus grandis</i>			<i>Eucalyptus grandis</i>		
Secuencia de blanqueo	OD ₁ EpD ₂ P			OAP ₁ P ₂		
Revoluciones (N° vueltas)	0	1850	3400	0	1850	3400
Shopper Riegler (SR°)	20	24	34	21	25	36
Índice = $\sqrt{\text{Índice de Desgarro} \times \text{Índice de Estallido}}$	5.08	7.61	8.18	5.37	7.33	7.93