



7.2350

**UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
FACULTAD DE AGRONOMIA**

APTITUD PAPELERA EN 4 ESPECIES DE *EUCALYPTUS*
(*E. grandis* W. Hill ex Maiden, *E. dunnii* Maiden,
E. viminalis Labillardière y *E. badjensis* Beuzev & Welch)

por

FACULTAD DE AGRONOMIA



**DEPARTAMENTO DE
DOCUMENTACION Y
BIBLIOTECA**

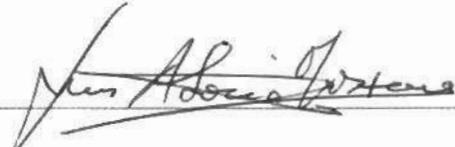
José Carlos DE MELLO GOYEN
Rodrigo FERNANDEZ ABELLA

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

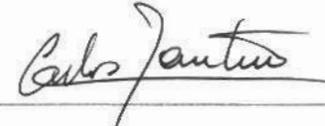
MONTEVIDEO
URUGUAY
2000

Tesis aprobada por

Director:

LUIS SORIA 

Nombre completo y firma

CARLOS MAURICIO 

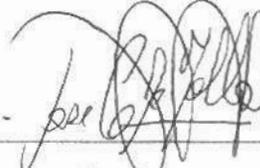
Nombre completo y firma

Fernanda Rosquin 

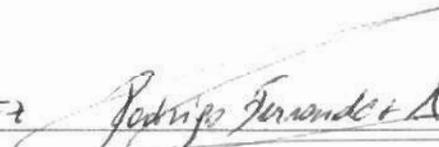
Nombre completo y firma

Fecha:

Autor:

JOSE CARLOS DE MELLO - 

Nombre completo y firma

Rodrigo FERNANDEZ 

Nombre completo y firma

AGRADECIMIENTOS

- Al Dr. Ing. Agr. Luis Soria, director de nuestra tesis, por el asesoramiento para concretar el presente trabajo.
- Al personal de PAMER S.A; especialmente a todos los laboratoristas por su invaluable ayuda, y en particular al Ing. Químico Luis Alvarez.
- Al INIA(Tacuarembó) y al Ing. Agr. Fernando Resquin por habernos suministrado el material para realizar la tesis.
- Al Departamento Forestal, y en especial al Ing. Agr. Carlos Mantero por la orientación y el ofrecimiento de la tesis.
- A familiares y amigos, que de una forma u otra, se sienten partícipes y responsables de la realización del trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PAGINA DE APROBACION.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	IV
1. <u>INTRODUCCION</u>	1
2. <u>REVISION BIBLIOGRAFICA</u>	3
2.1. <u>PROCESO KRAFT</u>	3
2.1.1 <u>Descripción del proceso kraft</u>	3
2.1.2 <u>Química del proceso kraft</u>	4
2.1.3 <u>Propiedades y usos de las pastas kraft</u>	6
2.2. <u>ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL PAPEL</u>	7
2.3. <u>FACTORES DE LA MADERA QUE INFLUYEN EN EL RENDIMIENTO DE PULPA</u>	16
2.3.1 <u>Densidad básica</u>	16
2.3.2 <u>Porcentaje de corteza</u>	21
3. <u>MATERIALES Y METODOS</u>	22
3.1 <u>ENSAYO DE ESPECIES</u>	22
3.1.1 <u>Descripción del ensayo</u>	22
3.1.2 <u>Muestreo de árboles</u>	23
3.2 <u>DESCRIPCION DEL EQUIPO DE LABORATORIO</u>	25
3.2.1 <u>Autoclave</u>	25
3.2.2 <u>Desintegrador</u>	25
3.2.3 <u>Formador de hojas</u>	25
3.2.4 <u>Aparato Schopper-Riegler</u>	26
3.2.5 <u>Molino Lampen</u>	26
3.2.6 <u>Aparato de resistencia al estallido(Mullen Tester)</u>	27
3.2.7 <u>Aparato de resistencia a la tracción(Dinamómetro)</u>	27
3.2.8 <u>Aparato de resistencia al rasgado(Elmendorf)</u>	29
3.2.9 <u>Aparato de porosidad</u>	29
3.3 <u>PROCEDIMIENTOS SEGUIDOS</u>	30
3.3.1. <u>% de corteza y densidad de la madera</u>	30
3.3.2. <u>Chipeado</u>	30
3.3.3. <u>Cocción</u>	30
3.3.4. <u>Lavado de la pulpa</u>	32
3.3.5. <u>Indice Kappa</u>	32
3.3.6. <u>Refino</u>	34
3.3.7. <u>Drenabilidad</u>	37
3.3.8. <u>Formación y secado de las hojas</u>	37

3.3.9. Largo de ruptura, índice de estallido y rasgado.....	38
3.3.10. Porosidad.....	42
3.3.11. Cálculo de rendimiento.....	42
3.3.12. Consumo de NaOH.....	42
4. RESULTADOS Y DISCUSION.....	44
4.1 PORCENTAJE DE CORTEZA.....	44
4.2 DENSIDAD Y RENDIMIENTO.....	46
4.3 CURVAS DE COCCION.....	47
4.4 INDICE KAPPA Y CONSUMO DE REACTIVOS.....	50
4.5 PROPIEDADES PAPELERAS.....	51
4.6 ANALISIS ESTADISTICO.....	59
5. CONCLUSIONES.....	64
6. RESUMEN	66
7 SUMMARY.....	67
8. BIBLIOGRAFIA.....	68
9. ANEXOS.....	71

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro

	Página
Nº 1. Propiedades físicas de las pastas kraft de <i>E. grandis</i> y <i>E. viminalis</i>	8
Nº 2. Valores de long. de ruptura , numero kappa y álcali activo en <i>E. dunnii</i> , <i>E. grandis</i> y <i>E. viminalis</i>	9
Nº 3. DAP y altura en árboles de 7 años de edad de <i>E. dunnii</i> y <i>E. grandis</i>	10
Nº 4. Características papeleras en <i>E. grandis</i> y <i>E. dunnii</i>	10
Nº 5. Propiedades papeleras en <i>E. grandis</i> y <i>E. viminalis</i>	11
Nº 6. Propiedades papeleras encontradas en el ensayo para <i>E. grandis</i>	12
Nº7. Propiedades papeleras a 10000 y 20000 vueltas para <i>E. viminalis</i>	13
Nº 8. Efecto de la viscosidad sobre las propiedades físico-mecánicas de pulpas blanqueadas de <i>Eucalyptus</i>	14
Nº 9. Propiedades papeleras para <i>E. grandis</i> y <i>E. dunnii</i>	15
Nº 10. Densidad y rendimiento en <i>E. viminalis</i> (19 años de edad) y <i>E. grandis</i> (edad no reportada).....	19
Nº 11. Comportamiento de <i>E. grandis</i> y <i>E. dunnii</i> en 2 localidades de Entre Ríos, Argentina.....	21
Nº 12. Orígenes de las especies del ensayo.....	23
Nº 13. DAP de los árboles en estudio.....	24

Nº 14. Cantidad de chips y agua agregada al digestor en cada cocción.....	32
Nº 15. Porcentaje de corteza promedio por troza y por origen.....	44
Nº 16. Porcentaje de corteza promedio por origen y por especie.....	45
Nº 17. Rendimiento bruto de pasta y densidad de la madera por origen.....	46
Nº 18. Rendimiento bruto de pasta y densidad de la madera por especie.....	47
Nº 19. Cálculo de factor H para la cocción nº1.....	49
Nº20. Factor H para cada cocción.....	50
Nº21. Kappa y álcali residual.....	51
Nº 22. Resultados obtenidos para las propiedades a 10000 y 20000 vueltas.....	51
Nº23. Índice en función del °SR promedio por especie para cada tratamiento de refino(10000 y 20000 vueltas).....	59
Nº 24. ANAVA para la propiedad rasgado.....	60
Nº 25. ANAVA para la propiedad estallido.....	60
Nº 26. ANAVA para la propiedad largo de ruptura.....	61
Nº 27. Coeficiente de variación(C.V.) y medias para las 3 características papeleras.....	61
Nº 28. Prueba de Tukey para el índice de rasgado.....	61
Nº 29. Prueba de Tukey para el índice de estallido.....	62
Nº 30 Media por tratamiento y desvío estandar(S).....	62

Gráfica

Nº 1. Distribución del % de corteza.....	45
Nº 2. Grado de refinó en función de las revoluciones.....	52
Nº 3. Comparación del largo de ruptura entre especies.....	54
Nº 4. Comparación del índice de rasgado entre especies.....	55
Nº 5. Comparación del índice de estallido entre especies.....	55
Nº 6. Propiedades físicas para <i>E. dunnii</i>	56
Nº 7. Propiedades físicas para <i>E. grandis</i>	57
Nº 8. Propiedades físicas para <i>E. badjensis</i>	57
Nº 9. Propiedades físicas para <i>E. viminalis</i>	58

Figura

Nº 1. Aparato de resistencia a la tracción y elongación(Dinamómetro a péndulo).....	28
Nº 2. Resistencias según el refinó en el molino Lampen.....	36

1.INTRODUCCION

Cuando se comienza con el empleo de madera destinada a la producción de celulosa, éste corresponde a madera de fibra larga, pues los bosques de los países nórdicos están básicamente compuestos de coníferas de origen autóctono (Faedo, 7).

Con el tiempo, al aumentar el consumo un ritmo superior al de la disponibilidad de pastas de coníferas, se tuvo la necesidad de la búsqueda de nuevas fuentes de materias primas. De allí, surge que árboles frondosos cuya madera normalmente tiene una fibra corta (0,5-1,5 mm) se comenzaran a emplear en la fabricación de papel.

En 1950, Estados Unidos estaba al frente de la fabricación de pastas de fibra corta, la participación de ésta era del 14%; en 1974 alcanza 32%.

El rápido aumento en la utilización de éstas especies para su empleo industrial, ha sido posible por desarrollos técnicos, en los procesos de manufactura de pulpa y papel. Esto ha sido promovido por precios inferiores al de las pulpas de coníferas, obteniéndose así un menor costo. Unido esto a su rendimiento superior, menor consumo de reactivos químicos y mayor facilidad de blanqueo, ha posibilitado la oferta de éstas pastas a un precio inferior que las correspondientes de fibra larga.

Hacia fines de 1984, Brasil era el mayor productor del mundo de pastas de *Eucalyptus*, pero luego de las fuertes inversiones realizadas en España y Portugal, Brasil pasó a un segundo plano (Repetti,15). Según Reuter (17) desde hace algunos años, Brasil encabeza la lista de los países productores de pulpa de *Eucalyptus*; a modo de ejemplo, éste último fue en 1993 el mayor exportador de pastas de *Eucalyptus* (2,4 millones de toneladas).

En Argentina, la elaboración de pasta celulósica de *Eucalyptus* se inicia en 1947, fecha en que la escasez de coníferas impulsó a Celulosa Argentina S.A. a ensayar éste género como materia prima **papelera**. Con el transcurrir de los años, las mejoras tecnológicas y el mayor conocimiento sobre éstas pastas significó que en la actualidad la pasta kraft de *Eucalyptus* pasara a ser componente principal en los papeles de impresión y escritura del mercado argentino.

Por otro lado, en Uruguay, la ley forestal 15.939 del 28/12/87 y sus decretos reglamentarios, han llevado a una política de promoción a la forestación, incrementándose rápidamente la producción de madera con destino pulpable.

Debido a esto, se ha considerado de interés efectuar el estudio comparativo de la aptitud papelera mediante el procedimiento Kraft, a través de las siguientes características: largo de ruptura, índice de estallido, índice de rasgado y porosidad en las especies *E. grandis*, *E. dunnii*, *E. badjensis* y *E. viminalis*. De forma de aportar conocimientos sobre éstas especies poco difundidas en Uruguay, para poder utilizarlas en el proceso kraft a nivel industrial.

Paralelamente, se estudió en la madera utilizada para los ensayos en papel, el % de corteza y la densidad básica. A su vez, se calculó el rendimiento en pulpa obtenido.

En este ensayo se utilizaron árboles de 4 años pertenecientes al INIA (departamento de Tacuarembó); las trozas fueron procesadas en el laboratorio (Sección papel) de PAMER S.A..

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1. PROCESO KRAFT

2.1.1. Descripción del proceso kraft.

Según Smook (20), el objetivo del pulpeado químico es degradar y disolver la lignina, dejando la mayor parte de la celulosa y hemicelulosa en su forma intacta en las fibras. En la práctica, los métodos de obtención de pulpas químicas son capaces de eliminar la mayor parte de la lignina; también degradan una cierta cantidad de hemicelulosas y celulosa, por lo que el rendimiento en pulpa es bajo en relación con el pulpeado mecánico, usualmente entre el 40% y 50% de la madera original.

En el pulpeado químico, las astillas de madera se cuecen con los productos químicos adecuados en solución acuosa a temperatura y presión elevadas.

Los 2 métodos principales son el proceso kraft (alcalino) y el proceso al sulfito (ácido). El proceso kraft ha llegado a ocupar una posición dominante debido a sus ventajas en la recuperación de productos químicos y la resistencia de la pulpa. El proceso al sulfato, que fue el más común hasta 1930, ha experimentado un renacimiento de su interés e importancia.

El proceso kraft involucra la cocción de las astillas de madera en una solución de hidróxido de sodio (NaOH) y sulfuro de sodio (Na₂S). 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.

El proceso kraft se desarrolló hace casi 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 normalmente se utilice el sulfato de sodio como producto químico de reposición es la razón por la que el proceso kraft se denomina también "proceso al sulfato".

La cocción de frondosas es menos afectada por la presencia de sulfuro de sodio en el licor de cocción alcalina, y muchas pulpas de frondosas se producen aún por el proceso a la sosa.

- Comúnmente se producen varios tipos diferentes de pulpas kraft, las calidades crudas para aplicar en el embalaje se cuecen a rendimientos más altos y contienen más lignina que las pulpas para blanquear.

Repetti (16) menciona que la digestión en el proceso kraft puede llevarse a cabo tanto en digestores batch como continuos. En las cocciones batch el digestor se carga con los chips y suficiente licor como para cubrir los mismos. El contenido es luego calentado inyectando vapor directo por la parte inferior del digestor o mediante la circulación forzada del licor a través de un intercambiador de calor.

La temperatura máxima generalmente se alcanza en 1 a 1,5 horas, lo que permite que los chips se impregnen con el licor.

La cocción se mantiene a temperatura máxima (usualmente 170°C) durante 1 a 2 horas para completar la reacción. Después de la digestión, el contenido se descarga en un tanque de soplado donde el cambio brusco de presión desintegra a los chips en fibras.

La pulpa proveniente del tanque de soplado es sometida a una operación de lavado. El método más comúnmente utilizado consiste en una serie de filtros lavadores en contracorriente que logran el máximo desplazamiento de licor con la mínima dilución.

2.1.2 Química del proceso kraft

Repetti (16) destaca que si bien las reacciones que ocurren durante el proceso kraft son complejas, una visión simple del tema indica que la lignina en el medio fuertemente alcalino es fragmentada por la cocción de los iones hidróxilos e hidrosulfuros presentes en la cocción. La lignina fragmentada se disuelve como iones fenolato y carboxilato.

Los carbohidratos, principalmente las hemicelulosas y una fracción de la celulosa, son atacadas y disueltas. Durante una cocción tipo, se puede decir que se disuelve el 80% de la lignina, el 50% de las hemicelulosas y el 10% de las celulosas.

Se ha determinado que la deslignificación kraft procede primero lentamente para luego acelerarse rápidamente. La remoción de la lignina residual se hace sumamente lenta. Las pérdidas de hemicelulosas y celulosa se deben a la disolución de las fracciones de bajo peso molecular, la remoción de grupos ácidos y la degradación provocada por la reacción de "peeling" (causada por la soda, es una reacción de corte de la cadena de carbohidratos con alto grado de polimerización).

La baja pérdida de la celulosa (10%) comparada con las hemicelulosas (50%) se explica por la poca accesibilidad de los grupos OH dentro de la región cristalina de la celulosa.

Aproximadamente el 90% de los extractivos son eliminados durante la cocción. Las sales de sodio de los ácidos grasos y resínicos son eliminadas del licor residual en forma de jabón (tall-oil). Durante la cocción se recupera aguarrás vegetal (trementina) a partir del vapor de alivio del digestor.

Repetti (16), menciona que existen diversos factores variables que determinan la calidad final de la pulpa de madera. Entre éstos, se encuentra:

1) Especie y calidad de madera: las pulpas de fibra corta (1 a 1,5 mm) de frondosas, lógicamente tienen propiedades diferentes que las pulpas de fibra larga (3 a 4 mm) de las 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 de cocción que las maderas suaves.

2) Tiempo y temperatura de digestión: el tiempo de digestión está relacionado con otras variables de la digestión como temperatura, cantidad y 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. La temperatura usual de cocción en las fábricas de pulpa al sulfato es de 170°C. 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. Cualquier combinación de tiempo de cocción y temperatura que dé el mismo factor H, origina pulpas similares. El factor H es de utilidad si se desea cambiar el tiempo de cocción en un digestor, sin cambiar la pulpa resultante. Por ejemplo, si por falta de disponibilidad de vapor la curva de elevación de temperatura tiene otra forma y no es posible llegar a temperaturas superiores a

160°C, se podrá calcular el tiempo de cocción a la máxima temperatura manteniendo el mismo factor H. Con esto se garantiza una pasta del mismo número kappa e iguales propiedades

3) Sulfidez: la velocidad de cocción depende tanto de la alcalinidad 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 pulpa.

4) Relación de productos químicos a madera: 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 relación de reactivos a madera y la relación de licor a madera fijan la concentración inicial de los reactivos de cocción. 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 éstas 2 variables, la concentración inicial de reactivos.

2.1.3 Propiedades y usos de las pastas kraft

Según Repetti (16), durante los últimos años se experimentó un fuerte incremento en el consumo de pastas químicas blanqueadas de eucalipto.

Las múltiples razones en que se basa esta fuerte expansión puede resumirse en 2 puntos salientes: la economicidad en la producción de pastas y la equilibrada versatilidad de sus propiedades papeleras.

La celulosa de eucalipto se obtiene con menos consumo de reactivos en la cocción y el blanqueo, y tiempos de cocción considerablemente más cortos que la celulosa de coníferas. Además, estas fibras se refinan con más facilidad, lo cual implica un ahorro energético importante.

Respecto a las propiedades de los papeles elaborados con estas fibras merece destacarse lo siguiente:

1. Las fibras cortas permiten obtener una hoja más compacta, lo cual se traduce en una mejor formación.
2. La superficie del papel es más homogénea y es posible obtener un buen acabado sin excesivo trabajo mecánico.
3. Debido a que tiene mayor número de fibras por unidad de superficie, presentan una mejor opacidad.
4. Una vez refinadas, las fibras de eucalipto desarrollan una buena resistencia a la tracción y reventamiento, como consecuencia de una mejor unión

interfibrilar. La deficiencia en resistencia al rasgado se compensa con el agregado de un cierto porcentaje de celulosa de fibra larga.

5. La mayor porosidad favorece la absorción de tinta en el proceso de impresión y su posterior secado (Reinoso,13)
6. Las características superficiales también mejoran; disminuye la rugosidad y aumenta la lisura.
7. Exigen un menor consumo de energía en el refino.
8. Se mejora el satinado , el color y la planicidad (desaparece el típico abarquillado de los papeles con demasiada fibra larga.

Repetti (16) menciona que las pastas al sulfato sin blanquear se destinan a la fabricación de papeles liner, cartones y papeles para embalaje, como por ejemplo papeles para boisas multipliegos.

Las pastas semiblanqueadas se emplean en la fabricación de papel periódico, mientras que las blanqueadas se utilizan en la elaboración de papeles de impresión y escritura y también como relleno de productos absorbentes. Para la elaboración de papeles de impresión y escritura resultan más aptas las pastas químicas de fibra corta.

Según Reinoso (13) las pastas de *Eucalyptus* al sulfato blanqueadas son ya conocidas. Se emplean en elevado porcentaje en un gran número de papeles de: impresión y escritura , tissues , revista de gran calidad.

2.2 ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL PAPEL

Tacconi et al (23), llevaron a cabo un estudio donde evaluaron las propiedades físico-mecánicas del papel, así como otras características físicas de las pastas kraft. Las especies utilizadas fueron: *E. camaldulensis*, *E. saligna*, *E. tereticornis*, *E. viminalis* y *E. grandis*, provenientes de la localidad de Ramallo (Provincia de Buenos Aires) las 4 primeras y de Concordia (Entre Ríos) la restante.

La edad de los árboles era de 7 años; las muestras procesadas estaban compuestas por 3 trozas de 3 árboles de cada especie, seccionadas a las partes inferior, media y superior del tronco. Luego del astillado, se mezclaron homogéneamente las astillas correspondientes a cada especie, para su posterior clasificación en zaranda plana vibratoria. Los autores se basaron en la nomenclatura y procedimientos de los métodos de ensayos normalizados TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry).

Las condiciones de cocción para el ensayo fueron las siguientes:

- Temperatura máxima: 170°C.
- Tiempo a temperatura máxima: 90 minutos.
- Alkali activo: 14%.
- Sulfidez: 22%.
- Relación sólido/líquido: 1/5

En el cuadro N°1 se presentan los resultados, con un refino de 40°SR:

Cuadro N° 1. *Propiedades físicas de las pastas kraft de E. grandis y E. viminalis.*

<i>Especie</i>	<i>E. grandis</i>	<i>E. viminalis</i>
N° kappa	18.7	15.6
Indice de tracción(kgNm/kg)	110	94.5
Indice de estallido(MN/kg)	7.8	6.3
Indice de rasgado(Nm ² /kg)	7.6	8.1

Fuente: elaboración personal a partir de Tacconi et al(23).

Repetti (14), presenta los valores citados por Tacconi et al (23), mencionando que la madera más densa de *E. viminalis* afecta las propiedades papeleras que dependen de la cohesión entre fibras, como resistencia a la tracción y al reventamiento, de manera tal que dichos valores resultaron inferiores a los de *E. grandis*.

Si bien desde el punto de vista de resistencia de las fibras los eucaliptos menos densos aparecen como los más apropiados (por ejemplo *E. grandis*), a las especies más densas se las puede utilizar satisfactoriamente en la elaboración de papeles de impresión y escritura. En estos papeles al no ser la resistencia un imperativo, el menor poder de unión entre fibras no constituye una desventaja. (Repetti, 14).

Faedo (7), menciona que aumentando la longitud de fibra se alcanza un mayor estallido, pero éste se ve más influenciado por la unión interfibrilar.

Las pastas de *Eucalyptus* correctamente refinadas llegan a matices comparados a los de fibra larga, por la excelente interrelación de fibras que se produce. Maradei et al (11) estudiaron las propiedades físico-mecánicas de pulpa y papel en 4 especies de *Eucalyptus*: *E. dunnii*, *E. grandis*, *E. viminalis*, *E. tereticornis*. La plantación fue realizada en octubre de 1979 en el INTA Oliveros (Buenos Aires) a 2,5 por 2,5 m. en parcelas de 35 plantas con 6 repeticiones, distribuidas en bloques al azar. El material utilizado de *E. dunnii* era originario de Moleton (NSW, Australia), los testigos locales utilizados son *E. grandis* de Concordia (Entre Ríos) y *E. viminalis* de 25 de Mayo (Buenos Aires).

La temperatura media de Oliveros es de 17° C, con máximas y mínimas absolutas de 42,1°C y -7°C respectivamente. La precipitación es de 1116 mm. anuales y el suelo presenta un horizonte B textural con pH de 6,5. Para pastas kraft se alcanzó una temperatura de 170°C con 25% de sulfidez.

En el cuadro N° 2 se expresan los valores de longitud de ruptura a partir de pastas blanqueadas de árboles de 4 años, con un nivel de drenaje de 40° SR :

Cuadro N° 2. Valores de long. de ruptura, número kappa y álcali activo en *E. dunnii*, *E. grandis* y *E. viminalis*.

Especie	Carga Alc. Act. NaOH %	Indice Kappa	Long. de ruptura (km)
<i>E. dunnii</i>	18	17,2	10,2
<i>E. grandis</i>	18	19,0	10,7
<i>E. viminalis</i>	19	16,3	10,1

Fuente: elaboración propia a partir de Maradei et al (11).

En un estudio preliminar de la aptitud papelera de *E. dunnii* comparado con *E. grandis*, Sparnochia (22) muestreó 2 árboles de 7 años de edad elegidos al azar de cada una de las especies evaluadas. Estos árboles se obtuvieron de un ensayo de orígenes de Celulosa Argentina S.A. (Santa Fé); el material utilizado de *E. dunnii* era originario de Moleton (NSW, Australia) y el de *E. grandis* era de procedencia local.

En el cuadro N° 3 y 4 se describe el ensayo:

Cuadro N° 3. DAP y altura en árboles de 7 años de edad de *E. dunnii* y *E. grandis*.

Especie	Individuo	DAP (cm)	Altura(m)
<i>E. dunnii</i>	1	18.78	21.9
<i>E. dunnii</i>	2	19.59	19
<i>E. grandis</i>	3	16.87	18.9
<i>E. grandis</i>	4	21.33	19.6

Fuente: elaboración propia a partir de Sparnochia (22)

Las normas bajo las cuales se realizó el ensayo fueron las TAPPI, las propiedades del papel, a un grado de refinación en el proceso kraft de 40°SR respondieron bien en condiciones no muy rigurosas.

Cuadro N° 4. Características papeleras en *E. grandis* y *E. dunnii*.

Especie	<i>E. grandis</i>	<i>E. dunnii</i>
N° kappa	20.2	19.6
Índice de tracción(kgNm/kg)	105	92
Índice de estallido(MN/kg)	9.45	6.75
Índice de rasgado(Nm ² /kg)	5.25	5.95

Fuente: elaboración propia a partir de Sparnochia (22)

El mismo autor sostiene que las diferencias en los índices de tracción y estallido entre ambas especies se debe a la influencia de la densidad básica sobre éstas propiedades. Las hojas confeccionadas con *E. grandis* presentan mayores resistencias que *E. dunnii*, dado que la menor densidad de madera de la primera estaría relacionada con fibras de paredes más delgadas y con mayor capacidad de colapso. Mientras tanto, menciona que no existieron diferencias significativas entre los valores de rasgado.

Repetti (15), sostiene que siempre que se comparan propiedades papeleras de diferentes especies debe hacerse a un mismo nivel de grado de refinación (grado de fibrilación e hidratación de las fibras al cual se formaron las hojas de papel) y número Kappa (grado de deslignificación obtenido en la digestión kraft), ya que éstas propiedades varían con ambos parámetros.

El autor en el mismo artículo menciona un ensayo de aptitud tecnológica de la madera de las siguientes especies de *Eucalyptus*: *E.globulus* ssp. *globulus*, *E. grandis*, *E. saligna* y *E. viminalis*; llevado a cabo en el Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (España). Las muestras procedían de Huelva, España; la edad para *E. grandis* no fue reportada, mientras que para *E. viminalis* tenían 19 años.

Los valores presentados para un grado de refinación de 45 °SR, se visualizan en el cuadro N° 5:

Cuadro N° 5. Propiedades papeleras en *E. grandis* y *E. viminalis*.

<i>Especie</i>	<i>E. grandis</i>	<i>E. viminalis</i>
Nº kappa	35	20.8
Índice de tracción(kgNm/kg)	85.3	89.2
Índice de estallido(MN/kg)	6.1	5
Índice de rasgado(Nm ² /kg)	7.7	3.6

Fuente: elaboración personal a partir de Repetti(15).

E. saligna presentó deficiencias en el índice de tracción y reventamiento; el mayor contenido de lignina de éste implicó un mayor consumo de reactivos durante la cocción y un menor rendimiento (44,5%). Con respecto a *E. globulus* ssp. *globulus*, resultó ser una excelente madera para la fabricación de pastas kraft; con bajo contenido de lignina, densidad media y muy buen rendimiento (55%).

Soria*(1992), en un ensayo realizado en el Centro Técnico de Grenoble (Francia) con *E. grandis* proveniente de la Fábrica Nacional de Papel (FANAPEL), realizó ensayos sobre 300 g de madera seca y con los siguientes parámetros de cocción:

- Subida de temperatura hasta 170°C, en 60 minutos.
- A temperatura constante (170°C), durante 45 minutos.
- Relación licor/madera de 1:4.
- Sulfidez del 25%.

* comunicación personal

- AQ de 0.08%
- Alkali activo del 18%.

El índice Kappa resultante fue de 27.3 y se trabajó con un nivel de drenaje de 39°SR. El gramaje de las hojas resultantes fue de 71.1 g/m² y el rendimiento de pulpa fue de 60.5%.

Cuadro N° 6. *Propiedades papeleras encontradas en el ensayo para E. grandis.*

<i>Especie</i>	<i>E. grandis</i>
Largo de ruptura(m)	10030
Elongación(%)	4.5
Índice de estallido(lb/pulg ²)	100.2
Índice de rasgado(gf)	86.1

Fuente: elaboración personal a partir de com. pers.

Carriquiry (6), en su tesis acerca de la aptitud papelerá en 3 especies de eucalyptus (*E. viminalis*, *E. globulus* y *E. globulus ssp. globulus* y *ssp. maidenii*); llevó a cabo cocciones con un kg de madera seca, utilizando árboles de 11 años de edad procedentes de Fábrica Nacional de Papel (FANAPEL).

Las condiciones de las cocciones fueron las siguientes:

- Alkali activo: 16% en equivalentes Na₂O.
- Sulfidez: 20% en equivalentes Na₂O.
- Relación licor/madera: 4:1.
- Temperatura máxima: 160-165 °C.
- Tiempo de subida: 60 minutos.
- Tiempo a temperatura máxima: 60 minutos.
- Tiempo total: 120 minutos.
- Peso seco de la madera: 1.000 g.
- N° kappa: 47.8
- Alkali activo (g/l): 20

Las cocciones fueron realizadas en el laboratorio de PAMER S.A.; la pasta fue refinada a 10000 (23 °SR) y 20000 (32 °SR) vueltas en el Molino Lampen.



DEPARTAMENTO DE
DOCUMENTACION Y
BIBLIOTECA

En el cuadro N°7 se presentan los resultados:

Cuadro N°7. *Propiedades papeleras a 10000 y 20000 vueltas para E. viminalis.*

<i>Propiedades físicas</i>	<i>Grado de refino (°SR)</i>	
	23	32
Largo de ruptura (km)	3.77	4.94
Indice de rasgado (%)	93	92
Indice de estallido (%)	45	60

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

El autor concluye que el aumento de la resistencia al estallido y tracción, que es sustancial a 20000 revoluciones, se debe al efecto del refino sobre la pared de las fibras, que mejora las uniones interfibrilares, por lo que en el caso de *E. viminalis*, se hace necesario el tratamiento adicional para lograr niveles de resistencia adecuados. No se encontraron diferencias entre ambos valores de rasgado, ya que ésta característica depende del espesor de la pared; a su vez *E. viminalis*, sufre las consecuencias de la desproporción entre el espesor de la pared y el diámetro del lumen de sus fibras, provocando una disminución en el estallido y largo de ruptura, siendo aceptable el rasgado por lo dicho anteriormente.

Gonçalves et al (9), estudiaron el efecto de la viscosidad en las propiedades físico-mecánicas de pulpas blanqueadas de eucalipto, a partir de 6 muestras de celulosa con diferentes niveles de viscosidad: 302, 466, 549, 635 y 756 dm³/kg.

Para la evaluación de las propiedades de las pulpas, fueron utilizadas curvas de refino en molino PFI con formación de hojas, acondicionamiento y tests físicos siguiendo las normas SCAN o TAPPI pertinentes.

En el cuadro N° 8 se presentan los valores encontrados:

Cuadro N° 8. Efecto de la viscosidad sobre las propiedades físico-mecánicas de pulpas blanqueadas de eucaliptus.

Propiedades consideradas	Viscosidad de las muestras (dm ³ /kg)					
	302	466	549	597	635	756
Densidad aparente, kg/m ³	492	476	477	476	469	467
Grados Schopper- Riegler, °SR	25	22	21	21	21	21
Indice de Tracción, Nm/g	22,3	18,3	18,9	19,7	18,1	20,2
Elongamiento, %	1,7	1,5	1,6	1,6	1,4	1,6
Porosidad-Gurley, seg/100ml	1,4	0,9	0,9	0,8	0,8	1,0
Indice de rasgado, Nm ² /kg	3,8	3,4	3,4	3,4	3,8	3,7
Indice de estallido, kPam ² /g	1,0	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8

Fuente: elaboración propia a partir de Gonçalves et al (9).

Los resultados obtenidos evidencian tendencias interesantes, en especial para la pulpa con viscosidad de 302 dm³/kg, esta presenta mayores valores de grados Schopper-Riegler, densidad aparente, índices de tracción, estallido y elongación. La pulpa con viscosidad 302 dm³/kg, en relación con las demás, presentó un efecto similar a un leve refino.

De este modo, los factores que actuaron reduciendo la viscosidad a ese nivel, causaron la hidratación de las fibras, creando una fibrilación química de las paredes celulares. Esta fibrilación, por ocurrir internamente en la pared celular, causaría su "adelgazamiento", aumentando su colapsamiento y

flexibilidad. El mayor colapsamiento de las fibras resultaría en un aumento de la densidad aparente, de los grados Schopper-Riegler y de la porosidad.

Con fibras más flexibles, las pulpas presentarían tendencias a aumentar los índices de tracción y estallido, mientras que la mayor fibrilación (aumento en la superficie específica de las fibras) podría explicar los mayores valores de elongación obtenidos a esta viscosidad.

En los casos de reducción de la viscosidad desde 756 a 466 dm³/kg, los efectos descritos arriba también estarían presentes, pero en intensidades menores.

Cuando se compara la evolución de las propiedades de las pulpas con el refino, se observa que las propiedades dependientes del grado de refino (grados Schopper-Riegler y resistencia al aire), así como las que dependen del colapsamiento de las fibras (densidad aparente) son favorecidas en la pulpa de menor viscosidad.

El resultado práctico de este ensayo es la constatación de que para viscosidades iguales o superiores a 466 dm³/kg no son identificadas diferencias significativas en la calidad de la celulosa sin refino, en relación a los valores típicos de las celulosas de mercado.

Bakman y García De León (3) estudiaron las propiedades de pulpa y papel en 6 especies de *Eucalyptus*, que incluían *E. grandis* y *E. dunnii* de 4 años de edad. Para el muestreo se seleccionaron de cada especie 6 árboles codominantes pertenecientes ensayos de orígenes de la compañía Forestal Oriental ubicados en la localidad de Tres Bocas, Uruguay.

Como una muestra representativa del árbol entero se cortaron trozas de 120 cm al DAP, los árboles muestreados presentaban una altura de 17.5 m y un DAP sin corteza de 17 cm para *E. grandis* y una altura de 16.2 m y 16.5 cm de DAP sin corteza para *E. dunnii*.

Las muestras de pulpa fueron realizadas mediante los métodos de ensayo SCAN (Scandinavian Pulp, Paper and Board Testing Committee); para la cocción se utilizó:

- Temperatura: 155 °C
- Alkali activo: 22% (como NaOH)

Se obtuvo un índice Kappa de 20; en el cuadro N° 9 se expresan los resultados para las 2 especies y para un mismo nivel de drenaje (25°SR):

Cuadro N° 9. Propiedades papeleras para *E. grandis* y *E. dunnii*.

Especie	<i>E. grandis</i>	<i>E. dunnii</i>
Índice de tracción (Nm/g)	56.4	63.1
Índice de rasgado (Nm ² /kg)	7.5	8.7

Fuente: elaboración propia a partir de Bakman y García De León (3).

Las fibras de *E. dunnii* producen la mejor resistencia al rasgado y tracción cuando se las compara con las otras especies a un mismo nivel de drenaje. Esto

es debido al menor ancho de las fibras de *E. dunnii*, ya que éstas tienen buena capacidad de unión.

2.3. FACTORES DE LA MADERA QUE INFLUYEN EN EL RENDIMIENTO DE PULPA

2.3.1 Densidad básica

Bustamante y De los Santos (5), mencionaron que las pastas de mejores características físicas proceden, en general, de maderas de baja densidad, lo cual puede atribuirse a la correlación que existe entre la densidad específica con el espesor de la pared y número de vasos; A su vez influye en el "aplastamiento" de las fibras y por consiguiente la facilidad de enlaces. Sin embargo, entre los *Eucalyptus* estudiados, se encuentran algunas excepciones, tal es el caso del *E. paniculata*, que con densidad superior a 0.8 g/cm^3 y espesor de pared mayor de 4 micras, da lugar a una pasta con buen rendimiento y aceptables características para un determinado Kappa.

El costo de la madera necesaria para producir una tonelada de pasta vendrá definido por su densidad específica, sobretodo si se compra por metro cúbico, y por su rendimiento en pasta. Sin embargo, los autores sostienen que han encontrado desviaciones considerables en la densidad, con otros resultados, debido a la influencia que tiene ésta con la edad de corta. Por ésta razón, el criterio más económico para el autor es el rendimiento de la madera en pasta.

Naturalmente, el criterio de selección económico ha de estar necesariamente avalado por una calidad de pasta obtenida. En la selección de los factores que mejor puedan definir la calidad de una pasta los autores consideran en primer lugar el peso específico de las hojas de ensayo, íntimamente relacionado con la superficie de unión de las fibras en el papel, y por tanto con sus características mecánicas como: longitud de ruptura, índice de estallido y desgarro.

Los autores, en su trabajo llevado a cabo para una amplia lista de especies de *Eucalyptus* de procedencia española, midieron el rendimiento útil de pulpa (es decir, el resultante de la madera no cocida), encontrando para *E. viminalis* de 19 años de edad con una densidad básica (medida como peso de la madera anhidra sobre volumen húmedo) promedio de 505 kg/m^3 , un valor de 44.4%. Los resultados de la cocción fueron los siguientes: índice Kappa de 20.8, grado de refinado de 25°SR , consumo de reactivo (% como Na_2O) de 11.87% y viscosidad de $970 \text{ cm}^3/\text{g}$.

Si bien desde el punto de vista de resistencia de las fibras los eucaliptos menos densos aparecen como los más apropiados, a las especies más densas se las puede utilizar satisfactoriamente en la elaboración de papeles de impresión y escritura. En estos papeles al no ser la resistencia un imperativo, el menor poder de unión entre fibras no constituye una desventaja. Por otra parte, las maderas más densas dan pastas de mejor opacidad, lo cual es una ventaja para su utilización en este tipo de papeles (Repetti, 14).

En el proceso kraft *E. dunnii* se deslignificó de igual manera que *E. grandis*, obteniéndose pastas de similar contenido de lignina residual bajo las mismas condiciones de cocción. Con respecto a la blancura de la madera, *E. dunnii* revela que es una especie de madera clara, similar a *E. grandis*. Según estos resultados *E. dunnii* se podría utilizar satisfactoriamente en la fabricación de pastas kraft blanqueadas para papeles de impresión.

Bhat et al (4) estudiaron la relación entre densidad y largo de fibra en *E. grandis* en un ensayo llevado a cabo en Kerala, India, con semilla perteneciente a un área de producción de semilla de Coimbatore (India). Los árboles se encontraban a una altitud de entre 900 y 1100 metros, seleccionándose 20 árboles compuestos por 5 árboles al azar de 4 grupos de edades (3, 5, 7 y 9 años). Se obtuvieron muestras en forma de disco de 3 cm de espesor de: 15 cm del suelo, 25%, 50% y 75% de la altura del árbol; además de una muestra al DAP.

Los autores encontraron una variación de densidad entre los 4 grupos de edades de 420 a 497 kg/m³; la densidad era más baja en árboles de 5 años, mientras que los valores más altos se dieron en árboles de 9 años. No encontraron diferencias significativas entre los grupos de edad de 3, 7 y 9.

No obstante, el valor de densidad a los 5 años está en acuerdo con el determinado por Bamber y Humphreys (1963), citado por Bhat et al (4). La densidad media encontrada de 495 kg/m³ observada en árboles de 3 años está también cercana al valor encontrado por Méndes et al (1980), citado por Bhat et al (4), para árboles de la misma edad correspondientes a una prueba de progenie de árboles plus seleccionados en Brasil.

La densidad de la madera no se correlacionó con la altura ni con el diámetro; a pesar de que a los 9 años se dieron algunas correlaciones débiles positivas. Esto sostiene la observación que crecimientos rápidos, en general, no

necesariamente afectan la densidad de la madera en árboles jóvenes de *E. grandis* (Bamber et al, 1982; mencionado por Bhat et al,4).

Se encontró que el mínimo de densidad en *E. grandis* para la industria de pulpa se logra en árboles de 3 años de edad, a su vez no hubo un incremento significativo entre 3 y 9 años. Esto significa que el rendimiento en pulpa por unidad de volumen en árboles de 3 años no es necesariamente menor si lo comparamos con árboles de 5, 7 y/o 9 años. De esta manera existe oportunidad de reducir la edad de rotación a menos de 9 años, cuando lo que estamos produciendo es pulpa (Ikemori et al, 1986; citado por Bhat et al 4)

Para árboles de 4 años; Maradei et al (11); mencionaron (ver ítem 2.2) los siguientes valores de densidad básica : 0,54 , 0,445 y 0,48 g/cm³ para *E.dunnii*, *E.grandis* y *E.viminalis* respectivamente. El rendimiento de pulpa obtenido en el mismo ensayo fue de 50,2 ; 49,7 y 48,2 % .Con respecto al *E.dunnii*, los autores, concluyen , que es una nueva especie con adecuada adaptación a la región (mayor tolerancia al frío que *E. grandis*) y con rendimientos que lo ubican en una situación similar al *E.grandis* que es la especie básica de la industria brasileña , sudafricana , etc.

Dichos autores concluyen entre otras cosas que *E. dunnii* :

- posee igual densidad y mayor longitud de fibra que *E. grandis*
- menor tenor de lignina que *E. grandis*
- mejor rendimiento de celulosa y superiores características físico-mecánicas de las pastas que *E. viminalis*.

Sparnochia (22) menciona a Hillis y Brown (1984), Vasconcellos (1985) y Scurfield (1986), quienes establecen que entre las características de la madera que tienen influencia sobre las propiedades de la pulpa y el papel, la densidad básica ocupa un lugar preponderante, no sólo porque es una variable de fácil determinación, sino que además es una característica heredable.

Esta propiedad estima el rendimiento en pulpa a un número de kappa dado, y predice ciertas características físicas, tales como rugosidad superficial, resistencia a la explosión , a la tracción y el desgarró.

Repetti (15), en su ensayo trabajando con *E. viminalis* y *E. grandis* (ver ítem 2.2) encontró los siguientes valores de densidad y rendimiento:

Cuadro N° 10. Densidad y rendimiento en *E. viminalis* (19 años de edad) y *E. grandis* (edad no reportada).

Especie	Densidad(kg/dm ³)	Rend.(%)
<i>E. viminalis</i>	0.505	48.5
<i>E. grandis</i>	0.433	50.6

Fuente: elaboración propia a partir de Repetti (15).

Se ha demostrado que la densidad de la madera varía con la edad; el *E. grandis* es una especie de baja densidad y el *E. viminalis* es una especie de densidad media.

Las especies de baja densidad como *E. grandis*, en general presentan madera más clara, una mayor aptitud a los procesos de alto rendimiento: semiquímico, quimimecánicos y quimitemomecánicos. Pero, por otra parte, debe tenerse en cuenta que la menor densidad conspira contra la productividad de los equipos volumétricos del proceso: chiperas, sistemas de transporte de chips, silos, digestores, etc.

En su ensayo, el autor destaca que *E. grandis* presenta tan buenas propiedades de resistencia como *E. globulus*, pero por su menor densidad es de esperarse una menor productividad de los equipos volumétricos del proceso.

E. viminalis da pastas ligeramente menos resistentes, presentando deficiencias en el rasgado, pero que podrían utilizarse satisfactoriamente en la fabricación de papeles de escritura e impresión.

En los *Eucalyptus*, la alta densidad básica de la madera está asociada con la presencia de paredes gruesas, con un índice de Runkel (2 x grosor de pared/diámetro del lumen) mayor a 1,5 lo que significa que son fibras bastante rígidas con baja flexibilidad (Barrichelo y Brito, 1976; citado por Sparnochia,22). En estos casos el papel obtenido va a tener una buena resistencia al desgarrar, pero pobres resistencias a la tracción y al reventamiento (Foelkel y Zvinakevicius,1980; mencionado por Sparnochia,22).

Estas 2 últimas resistencias presentan valores bajos en maderas más densas, porque dependen del grado de conformabilidad lateral y de la unión entre fibras, (Higgins. et al.,1973, Hillis y Brown,1984; citado por Sparnochia, 22).

Además se comprobó que las maderas más densas tienen tendencia a tener más lignina y menos pentosanos (Vasconcellos y Da Silva (1985); citado por Sparnochia, (22).

En su ensayo (ver ítem 2.2), Sparnochia (22), encontró valores de densidad básica y rendimiento de 547 kg/m^3 y $49,75\%$ en b.m.s. (base materia seca) para *E. dunnii*, mientras que para *E. grandis* los valores fueron 405 kg/m^3 y $43,73\%$.

La mayor densidad de la madera de *E. dunnii* podría ofrecer la ventaja de otorgar una buena opacidad al papel, con valores de resistencia adecuados.

Arbuthnot (1) menciona que fibras con paredes celulares densas (de alta densidad de madera) son más rígidas y no colapsan completamente en el refinado. El resultado es un papel con una estructura más abierta, un alisado de hoja menor y con grandes espacios de aire entre fibras.

Un óptimo de densidad de madera puede ser 460 kg/m^3 . A este nivel la resistencia al rasgado es máxima acompañada de un buen comportamiento en las otras propiedades. Densidades más altas producen hojas porosas, más voluminosas mientras que más bajas producen hojas lisas, más densas, más rígidas y con mayor resistencia a la tracción.

Bakman y García De León (3) mencionaron que la densidad básica es un parámetro muy importante para el productor de pulpa, su influencia va desde los costos de carga, propiedades de chipeado hasta productividad de los digestores y calidad de papel. Sin embargo, desde que la pulpa final debe tener una cantidad mínima de lignina y extractivos, para obtener el máximo rendimiento de pulpa posible, es muy importante conocer la composición química del material crudo.

La densidad básica testeada (ver ítem 2.2) en las muestras de chips para *E. grandis* fue de 449 kg/m^3 y para *E. dunnii* fue de 489 kg/m^3 . El *E. dunnii* fue el que rindió más ($50,1\%$) y el que consumió menos reactivos; mientras que el *E. grandis* obtuvo un rendimiento en pulpa de $48,5\%$.

La composición química de los chips mostró que el contenido de carbohidratos (mayor en *E. dunnii*) y lignina (mayor en *E. grandis*) afectaron el rendimiento en pulpa después de la cocción; la lignina negativamente y los carbohidratos positivamente.

El consumo de madera puede ser estimado midiendo la densidad básica de la madera. El mayor factor que afecta dicho consumo, es primero la densidad y segundo el rendimiento en pulpa. Se obtuvo un menor consumo de madera con *E. dunnii* (3,9 m³/tonelada de pulpa blanqueada y seca al aire) que con *E. grandis* (4,3 m³/tonelada de pulpa blanqueada y seca al aire).

2.3.2 Porcentaje de corteza

Taconi et al (23) cita en su ensayo (ver ítem 2.2.) un porcentaje de corteza de 11,92% para *E. grandis* y 14,48% para *E. viminalis*.

Bustamante et al (5) encontraron un porcentaje de corteza de 7,1% para *E. grandis* y 19,1% para *E. viminalis*.

Maradei et al (11) ; encontraron (ver ítem 2.2) los siguientes valores de % de corteza, en árboles de 7 años de edad : 7.21 , 6.7 y 11.52 para *E.dunnii*, *E.grandis* y *E.viminalis* respectivamente.

Por otra parte, Ferrari (8), trabajando con *E. grandis* y *E. viminalis* de 10 años de edad, encontró para un promedio de 4 árboles creciendo en Italia un 20,9% y 22,9% de corteza en volumen, respectivamente.

Marcó et al (12), realizaron un estudio acerca del comportamiento de *E. grandis* y *E. dunnii* en 2 localidades de Entre Ríos, Argentina. Se utilizaron árboles de 9 y 14 años pertenecientes a 2 ensayos de orígenes. Los orígenes provenían de Australia, y la densidad se determinó con el pylodin.

En el cuadro N° 11 se presentan algunos valores encontrados:

Cuadro N° 11. Comportamiento de *E. grandis* y *E. dunnii* en 2 localidades de Entre Ríos, Argentina.

<i>Especie</i>	<i>Edad (años)</i>	<i>DAP (cm)</i>	<i>Altura (m)</i>	<i>Densidad kg/m³</i>	<i>Espesor de corteza (mm)</i>
<i>E. grandis</i>	14	25.1	31.4	456.5	8.75
<i>E. dunnii</i>	14	23.9	30	525.2	10.43
<i>E. grandis</i>	9	22.1	25.4	415.3	7.8
<i>E. dunnii</i>	9	19.7	23.9	516.3	8.8

Fuente: elaboración propia a partir de Marcó et al (12).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. ENSAYO DE ESPECIES

3.1.1. Descripción del ensayo.

Los árboles utilizados para el estudio fueron tomados de un ensayo de especies establecido en el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), ubicado en el departamento de Tacuarembó.

Según la clasificación CONEAT, los suelos del ensayo corresponden al grupo 7.2, los cuales se describen como Inceptisoles Melánicos/Umbricos (Regosoles) moderadamente profundos, de textura franco arenosa, color pardo muy oscuro, fertilidad muy baja y bien drenados. Asociados se encuentran Luvisoles Ocricos/Melánicos Abrúpticos/Típicos (Praderas Arenosas gris amarillentas). El material geológico está constituido por Areniscas de Tacuarembó.

En la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay a escala 1:1.000.000 se encuentran dentro de la Unidad Tacuarembó, los suelos dominantes son Luvisoles Ocricos (Melánicos) Abrúpticos/Típicos de textura arenosa y Acrisoles Ocricos Abrúpticos de textura arenosa. Como suelos asociados se describen Planosoles Dísticos Ocricos/Umbricos de textura arenosa, Acrisoles Ocricos/Melánicos Abrúpticos/Albicos de textura arenosa e Inceptisoles Umbricos/Melánicos de textura arenosa.

El ensayo está constituido por 8 especies: *Eucalyptus globulus ssp. globulus*, *ssp. maidennii* y *ssp. bicostata*, *E. dunnii*, *E. grandis*, *E. badjensis*, *E. viminalis* y *E. saligna*. De estas especies se evalúan 32 orígenes. En el cuadro N° 12 se presentan las especies y orígenes evaluadas en este trabajo.

Cuadro N° 12. Orígenes de las especies del ensayo.

<i>Especie</i>	<i>Localidad</i>	<i>Latitud</i>	<i>Longitud</i>	<i>Altura (m)</i>
<i>E. viminalis</i> 14512	Mt. Canobolas NSW	33.24	149.01	900
<i>E. viminalis</i> 11746	55Km NE Orbost VIC	37.24	148.34	600
<i>E. badjensis</i> 17018	4 Km E. Cathcart S.F. NSW	36.5	149.31	900
<i>E. badjensis</i> 16308	Brown Mtn Nimmitabel NSW	36.55	149.26	700
<i>E. dunnii</i> 18264	Yabbra Plains RD NSW	28.37	152.29	500
<i>E. dunnii</i> 17916	Koreelah SF NSW	28.19	152.3	710
<i>E. grandis</i> 18180	Baldy State Forest QLD	17.17	145.23	1000
<i>E. grandis</i> 18273	Wedding Bells Sf NSW	30.1	153.7	100

Fuente: elaborado con información aportada por el Ing. Agr. Fernando Resquin (INIA Tacuarembó).

La plantación se realizó el 17 de marzo de 1994; las labores posteriores a ésta consistieron en reposición de plantas muertas el 4 de abril de 1994 y 2 carpidas en octubre del mismo año, una mecánica y otra manual. La superficie del ensayo es de 1.23 há.

Con respecto al diseño del ensayo, cada especie se ubica en parcelas (4 orígenes por parcela o especie) y a su vez cada origen en subparcelas (4 por especie) formadas por 10 árboles en línea distanciados a 2.5 m en la fila y 2.2 m en la entrefila. Se realizaron 6 repeticiones o bloques (separados entre sí por 4 metros) para cada origen totalizando 1920 plantas en el ensayo (8 especies con 32 orígenes en total).

3.1.2. Muestreo de árboles

Para la elección de los árboles a muestrear, se midieron los DAP (diámetro a la altura del pecho) en todo el ensayo de solamente 2 orígenes por especie considerados los mejores (seleccionados según volumen por el Ing. Agr.

Fernando Resquin) de las 4 en estudio, por lo que se midieron 48 subparcelas (8 orígenes distintos) en los 6 bloques resultando 480 árboles. Se utilizó una forcípula metálica de 65 cm con una precisión de 1 mm.

El promedio de todos los DAP fue de 16.4 cm, por lo que para la elección de los árboles a cortar se tomó un rango de DAP entre 15-17 cm. A continuación en el cuadro N° 13 se presentan los promedios encontrados para cada especie y origen:

Cuadro N° 13. DAP de los árboles en estudio.

Especie	Origen	DAP Promedio (cm)
<i>E. viminalis</i>	14512	15.3
<i>E. viminalis</i>	11746	16.6
<i>E. badjensis</i>	17018	17.7
<i>E. badjensis</i>	16308	17.2
<i>E. grandis</i>	18180	16.1
<i>E. grandis</i>	18273	16
<i>E. dunnii</i>	18264	16.1
<i>E. dunnii</i>	17916	16.2
		PROMEDIO 16.4

En el promedio de DAP no se tuvieron en cuenta árboles muertos ni árboles de menos de 9 cm de DAP.

Se cortaron 16 árboles (ninguno de borde), 4 por especie y 2 por origen. A los árboles cortados se le midió altura total y altura comercial (considerada hasta 10 cm de diámetro), se cortaron 3 trozas de cada árbol, las cuales fueron descortezadas manualmente. El criterio para cortar las trozas en cada árbol fue el siguiente:

- 1^{er} troza: desde el tocón hasta 70 cm.
- 2^{da} troza: a la mitad de la altura comercial, una troza de 70 cm hacia arriba.
- 3^{ra} troza: al 75% de la altura comercial, una troza de 70 cm hacia abajo.

A su vez, de cada extremo de las 3 trozas se separaron "rodajas" de aproximadamente 3-5 cm de espesor para determinar el % de corteza, totalizando 6 rodajas por árbol.

3.2. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE LABORATORIO

3.2.1 Autoclave

Se utilizó un autoclave rotativo de laboratorio con los siguientes datos técnicos:

- Capacidad: 20 l
- Presión máxima de trabajo: 10 kg/cm, regulado por válvula de seguridad.
- Aislamiento térmico
- Instrumentos: *térmometro de aguja con escala de 0 a 300 grados centígrados (apreciación: 5 °C). Manómetro con escala de 0 a 10 kg/cm (apreciación: 0,2 kg/cm²).*

3.2.2 Desintegrador.

Se utilizó un desintegrador de laboratorio; el cual consiste según la norma ISO 5263 en una varilla metálica maciza que tiene anexada en el tope inferior de la misma una "hélice" de 3 aletas que giran en el sentido de las agujas del reloj. Dicha varilla está insertada y centrada dentro de un cilindro contenedor de 19 cm de altura y 15 cm de diámetro aproximadamente.

La pulpa húmeda, para ser desintegrada se diluye en 1-1,5 l de agua. El tiempo utilizado en la desintegración es de aproximadamente 1 minuto.

Se dice que una pasta se desintegra cuando se la somete a una acción mecánica en agua para separar las fibras entre sí, sin cambios apreciables en su estructura.

3.2.3. Formador de hoja.

Se utilizó el de tipo Rapid Koethen; modelo desarrollado especialmente para fabricación experimental de hojas de papel en laboratorio a partir de celulosa en suspensión.

Está constituido por un cilindro plástico y graduado, donde en su parte inferior se coloca una malla metálica.

A 80 cm. por debajo de dicha malla se encuentra la válvula que soporta la columna de agua; al abrirla se genera una depresión evacuando el agua y

formándose la hoja al ser retenidas las fibras en la malla. El diámetro de la hoja formada es de 21 cm. El procedimiento se realiza siguiendo la norma T-205-m-58.

3.2.4 Aparato Schopper-Riegler.

Mide la resistencia que ofrece la pasta al pasaje de agua; y está determinada por el grado de unión de las fibras. Su función es controlar el grado de refinado de la pasta.

Las partes básicas de este aparato son: un recipiente con malla, un cono invertido, un orificio calibrado y otro lateral.

La pasta con agua es depositada en el recipiente donde al provocar un desagüe rápido la malla metálica **retiene** las fibras. Si la trama formada por las fibras es abierta, el agua pasará rápidamente y el orificio calibrado inferior no será suficiente para evacuar ese volumen de agua acumulado casi instantáneamente, por lo tanto parte de esa agua tendrá que salir por el orificio lateral ubicado un poco por encima del anterior, dando un Schopper bajo.

El agua recogida del orificio lateral en una probeta graduada indica directamente los grados Schopper-Riegler (SR°). Una descarga de 1000 ml equivale a 0 SR° y una de 0 ml a 100 SR°

Por el contrario si la trama es cerrada, el agua evacuará con menos facilidad a través de las fibras, hacia el cono inferior dando la posibilidad de que el orificio calibrado evacúe una mayor cantidad de agua siendo por lo tanto menor el volumen recogido por el orificio lateral, dando de este modo un Schopper alto; el procedimiento se realiza en base a la norma AFNOR-NFQ 50/003.

3.2.5. Molino Lampen.

Este aparato de laboratorio se utiliza para refinar pasta cruda, lográndose una buena fibrilación, realiza un trabajo de batido e hidratación, no de corte.

Consta de una caja tórica provista de una tapa con cierre hermético, por la que se introduce la pasta al comenzar la operación y por donde, al terminar, se extrae abriendo dicha tapa. Esta caja lleva en su interior una bola de bronce de 10 kg de peso.

El conjunto de caja con su bola y pasta dentro, colocado en posición horizontal, gira accionado por un motor eléctrico trifásico de 220 voltios, 1HP y transmisión por correa. El aparato va provisto de un cuenta revoluciones. Se realiza en base a la norma AFNOR Q 50-001.

3.2.6 Aparato de resistencia al estallido (Mullen Tester).

Este aparato es particularmente indispensable para el control de calidad de papeles utilizados en embalajes u otras aplicaciones que requieran resistencia al estallido.

En este análisis se mide la resistencia de la hoja de papel, a una fuerza ejercida en su superficie, de tal forma que, cuando esta resistencia es vencida, se provoca la rotura de la hoja en forma simultánea y no gradual

El principio de funcionamiento se basa en la aplicación de una presión hidráulica uniformemente creciente a través de una membrana elástica sobre el papel de ensayo, hasta que ocurra la ruptura del mismo . Esta membrana se deforma por la presión hidráulica ejercida por un fluido (etilenglicol).

La presión máxima resistida por el papel es registrada por un puntero de arrastre montado en el manómetro, la escala utilizada es libras/pulgada². El procedimiento se realiza según la norma TAPPI 403 m 53.

3.2.7 Aparato de resistencia a la tracción (Dinamómetro).

Es el más importante y usual para examinar la resistencia a la tracción de una estructura fibrosa. En su forma perfecta de ejecución todas las fuerzas de tracción externas deben tener la misma intensidad y actúan paralelamente al plano del papel.

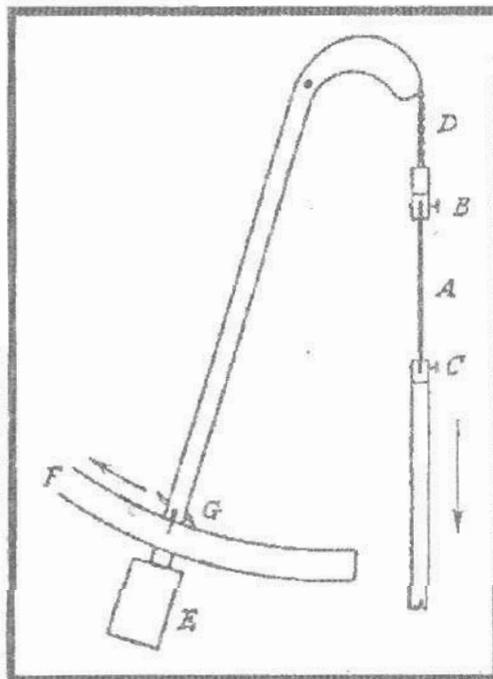
En estas condiciones la resistencia medida dependerá **primariamente** de las fuerzas de adhesión, las cuales son condicionadas por la calidad de la fibra, la densidad y la disposición de ellas en la estructura fibrosa, como también de su largo.

Por lo tanto la resistencia a la tracción aumentará con un incremento de la superficie de las fibras, que provocará un contacto más íntimo y más extenso de las fibras.

Se trabaja según norma la TAPPI 494 os 70; el método establece utilizar un dinamómetro en el cual la velocidad de elongación sea constante.

La figura N° 1 muestra el principio de funcionamiento de un dinamómetro a péndulo. La tira de papel (A) se sujeta entre las mordazas (B) y (C) en forma bien extendida y luego se hace que la mordaza (C) se desplace hacia abajo, estando la mordaza superior unida por medio de un acople flexible (D) a un péndulo con contrapeso (E) que guarde una posición vertical al comienzo de la prueba. A medida que desciende la mordaza inferior, el péndulo es tirado por la probeta siguiendo un arco de circunferencia a lo largo de una escala (F), hasta que el papel se rompe. Un dispositivo de cremallera impide que el péndulo vuelva hacia atrás, pudiéndose leer en la escala (graduada en kgF) la carga que se aplicó hasta la ruptura, ésta carga se aplica sobre una tira de 15 mm, que es el largo comprendido entre ambas mordazas.

Figura N°1. Aparato de resistencia a la tracción y elongación. (Dinamómetro a péndulo).



Fuente: Repetti, R. (15). Introducción a la tecnología de fabricación de pastas celulósicas. ATIPCA. Bs As. (1992).

La elongación, llamada también elasticidad, es la deformación que se produce en una hoja de papel por efecto de la fuerza de tracción, este

estiramiento que sufre la hoja se expresa en % de la medida original, de la pieza sometida al ensayo.

3.2.8. Aparato de resistencia al rasgado (Elmendorf).

Se entiende como la resistencia que ofrece la estructura del papel a la continuación de un corte previamente realizado en el mismo.

Este aparato presenta una parte móvil en forma de sector con movimiento pendular, montado en una parte fija.

Se fijan 4 tiras de papel rectangulares de 6.3 cm de ancho por 7.6 cm de largo, en un par de mordazas (una en la parte móvil y otra en la parte fija), y se libera el freno, para permitir el movimiento del sector pendular. En su caída, éste rasga las hojas y registra el esfuerzo necesario, en una aguja presente en la parte móvil. Por un factor de conversión del mismo equipo se determina la fuerza en gramos aplicada/hoja.

Esa resistencia está relacionada con el largo de fibra. Después del corte inicial de 20mm., el aparato medirá el trabajo necesario para rasgar los remanentes 43mm. obedeciendo a la norma americana TAPPI 414 ts 65.

3.2.9 Aparato de porosidad.

Mide la capacidad que tiene el papel de dejarse atravesar por el aire. En ciertos casos como el de las pastas kraft para bolsas de cemento esto es fundamental.

Se utilizó el porosímetro de Gurley (1967), que permite fijar el tiempo empleado por el papel para dejar pasar 100 cc de aire.

En su parte superior es colocada la muestra de papel de 9 cm de largo por 5 cm de ancho, a través de la cual pasará el volumen de 100 c.c. de aire en un tiempo que será medido en segundos.

El cilindro metálico baja por su propio peso y su volumen interior será desalojado más rápidamente cuanto más poroso sea el papel. El procedimiento se realiza siguiendo la norma TAPPI 460 m 49.

3.3. PROCEDIMIENTOS SEGUIDOS

3.3.1. Porcentaje de corteza y densidad de la madera.

Utilizando un calador de Pressler, de cada troza cortada se extrajo un tarugo de la mitad de cada una, asegurándose que el largo del mismo alcanzara al centro de cada troza.

El método utilizado para determinar la densidad fue el de máximo tenor de humedad de Diana Smith (1954):

$$\text{Densidad básica (g/cm}^3\text{)} = \frac{1/(\text{peso húmedo} - \text{peso seco})}{\text{peso seco} + (1/1.53)}$$

La cifra 1.53 es el peso específico de la madera sólida, el resultado es el peso específico aparente básico.

3.3.2. Chipeado.

Se chipeó la mitad de cada troza en una chipeadora "WIGGER" de 4 cuchillas, a un tamaño aproximado de 40-50 mm de largo, 15-20 mm de ancho y 2-3 mm de espesor; o sea por árbol cortado se chipeó la mitad de cada una de las 3 trozas obtenidas en el ensayo de orígenes de INIA.

3.3.3. Cocción.

Las cocciones se realizaron con un kg de madera seca; el peso seco se obtuvo luego de poner a secar una muestra de chips en estufa durante 24 horas (una por origen).

Los parámetros de cocción fueron:

- Reactivos químicos (expresados como Na₂O):
- Alkali activo (Aa): 18%
- Sulfidez: 25%

Para esto se agregaron en cada cocción 56,6 g de sulfuro de sodio (Na₂S) y 230 cc de hidróxido de sodio (NaOH) a 750 g/l.

- Relación licor/madera: 4:1.

Licor= agua madera + productos químicos + agua a agregar

- Presión: 7.5 Kg/cm².
- Temperatura: 170°C.
- Tiempo:
 - subida de temperatura (hasta 170°C): una hora.
 - temperatura constante (170°C): una hora y media.

Se llevaron a cabo 16 cocciones en total, 2 por origen, o sea 4 por especie.

Sobre el contenido de humedad de las muestras puestas a secar en estufa, se calcula la cantidad de madera necesaria para lograr en el digestor un Kg de madera seca y se determina el agua presente en la madera, que no deberá incluirse en el agua a agregar al digestor.

A continuación se ejemplifica el procedimiento descrito anteriormente:

Ej: *E. dunnii* 17916

- *madera (chips) a agregar:*

1 kg de madera húmeda----- 0.588 kg de madera seca
 x ----- 1 Kg de madera seca

x = 1.7 kg de madera húmeda.

- *Agua presente en los chips:*

1 kg de madera húmeda ----- 0.412 kg de agua
 1.7 kg de madera húmeda ---- x = 0.7 kg = 700ml de agua

De acuerdo con este cálculo, junto a la madera y productos químicos (NaOH y Na₂S), se agregó al digestor 700 ml de agua, que deberán descontarse del agua a agregar en el licor.

Para determinar la cantidad de agua a agregar al digestor, y siguiendo el mismo ejemplo, se procede de la siguiente manera:

$$Aa = AT - (Am + Pq)$$

AT= agua total (4000 ml)
 Am= agua en la madera (700 ml)
 Pq= productos químicos (286.6 ml)
 Aa= agua a agregar (3013 ml)

En el cuadro N° 14 se presentan las cantidades de chips agregados, para cada origen, con su respectivos contenidos de agua:

Cuadro N° 14. Cantidad de chips y agua agregada al digestor en cada cocción.

Origen	% madera seca	Kg de chips agregados al digestor	ml de agua de los chips	ml de agua agregada al digestor	Na ₂ S (g)	NaOH (ml)
<i>E. gran.</i> 18273	71.4	1.4	401	3312	56.6	230
<i>E. gran.</i> 18273*	77.2	1.29	295	3418	56.6	230
<i>E. gran.</i> 18180	60	1.67	668	3045	56.6	230
<i>E. vimin.</i> 14512	59.4	1.68	683	3030	56.6	230
<i>E. vimin.</i> 11746	58.5	1.71	710	3003	56.6	230
<i>E. dunnii</i> 17916	58.8	1.7	700	3013	56.6	230
<i>E. dunnii</i> 18264	63.1	1.58	585	3128	56.6	230
<i>E. bad.</i> 17018	62.5	1.6	600	3113	56.6	230
<i>E. bad.</i> 16308	63.2	1.58	582	3131	56.6	230

*valores que corresponden a un segundo chipeado que se hizo únicamente para ese origen debido a la falta de chips para realizar la segunda cocción.

3.3.4. Lavado de la pulpa.

Se realizó sobre un tamiz hasta obtener un color claro en la pulpa, tomando como referencia que el chorro de agua que caía sobre la pulpa no formara espuma. En algunas de las pastas se verificó que el pH no excediera de 8.

Luego la pulpa fue escurrida y mezclada manualmente para no tener diferencias en contenido de humedad en los muestreos posteriores.

3.3.5. Índice Kappa.

Repetti (16) define el número kappa como un índice del grado de deslignificación o blanqueabilidad de una pasta celulósica; es el volumen (en

ml) de una solución 0,1 N de permanganato de potasio consumido por 1 g de pasta.

Smook (20), menciona que los componentes no celulósicos, especialmente la lignina, reaccionan fácilmente con una solución de permanganato en medio ácido (KMnO_4), el resultado del ensayo guarda una relación lineal con el contenido de lignina.

El ensayo del índice kappa se utiliza en trabajo de control en fábrica con 2 fines específicos:

- 1) Indicar el grado de deslignificación logrado luego de la cocción.
- 2) Indicar el requerimiento de productos químicos para el blanqueo.

En la práctica, los 2 objetivos nunca se combinan en el mismo ensayo, debido a la gran separación existente entre los procesos de cocción y blanqueo.

Libby (10), menciona que el grado de eliminación de lignina depende del uso final de la pulpa. Por ejemplo, la pulpa que se va a usar para cartoncillos "liner" del color natural de la pasta, puede cocerse a un rendimiento alto (numero de permanganato, TAPPI de 30), mientras que la pulpa que se va a blanquear para usarse en papeles blancos, se puede cocer a una calidad más suave, aunque con menos rendimiento, hasta un numero de kappa de 16.

Los pasos a seguir fueron los siguientes (método TAPPI 236 m 85):

- 1) Secar durante 24 horas en la estufa la muestra a ser analizada.
- 2) Pesar 1 g de pasta en la balanza electrónica MEOPTA.
- 3) Poner en la licuadora la pasta con 500 ml de agua destilada y desintegrar durante 1 minuto, con velocidad mínima.
- 4) Pasar el líquido al matraz Erlenmeyer de 2000 ml, enjuagando el vaso de la licuadora con 300 ml más de agua destilada (totalizando 800 ml).
- 5) Agregar 100 ml de ácido sulfúrico aproximadamente 4 N.
- 6) Colocar el agitador stamo con la velocidad mínima.
- 7) Agregar 100 ml de KMnO_4 0.1 N con una pipeta aforada.
- 8) En la mitad del agregado poner en marcha el cronómetro.
- 9) A los 10 minutos exactos, agregar 20 ml de yoduro de potasio 166 g/l.
- 10) Valorar con tiosulfato de sodio 0.1 N.
- 11) Continuar hasta que justo desaparezca el color azul.
- 12) Si el consumo de tiosulfato no está entre 30 y 70 ml, repetir en el ensayo con una cantidad distinta de pasta.

Indice kappa=(Punto blanco - ml de tiosulfato) factor de corrección* n⁰
de la tabla/g de pasta*

3.3.6. Refino.

Smook (20), menciona que en el análisis final, la propiedad más importante de una pulpa es su potencial para la fabricación de papel. Este aspecto se puede evaluar mejor mediante el refinado de la pulpa bajo condiciones controladas y reproducibles, formando después hojas de ensayo normalizadas con la pulpa y, finalmente, realizando ensayos físicos adecuados en las hojas acondicionadas. El objetivo del refinado es acondicionar mecánicamente a las fibras para la fabricación de papel.

Dentro de la acción mecánica del refino se distinguen 3 efectos principales: fibrilación externa con remoción de fibrillas de la lámina S₂; fibrilación interna lograda por la acción de macerar y machacar las fibras, provocando dislocamiento de la estructura fibrilar, y un tercer efecto, el corte de las fibras (Repetti, 16).

Tanto la fibrilación interna como la externa promueven la hidratación de las fibras haciéndolas aún más flexibles. La naturaleza hidrofílica de la celulosa, hace que las fibras absorban agua con facilidad.

Como resultado de la refinación, después de fibrilar y flexibilizar las fibras, se obtiene una mayor superficie de unión entre fibras. Debido a una mejor unión entre fibras, con la refinación se obtiene una hoja de papel más densa y se mejora la resistencia a la tracción y al reventamiento, disminuyendo la porosidad y la resistencia al rasgado.

El rasgado primero aumenta y después disminuye. En una pasta sin refinar las fibras son separadas entre sí cuando se produce el corte del papel por rasgado. A medida que aumenta la refinación cuesta más separar las fibras y por eso el rasgado aumenta hasta un punto en que otros fenómenos entran en juego.

Primero, se acortan las fibras por acción de la refinación. Segundo, aumenta la densidad del papel de tal manera que toda la fuerza aplicada en el ensayo de rasgado se concentra en un punto de menores dimensiones. Tercero, a medida que avanza la refinación disminuye la resistencia intrínseca de las fibras porque se debilita la pared celular, de tal manera que las fibras son seccionadas durante el rasgado en lugar de separadas entre sí.

De todo lo expuesto se desprende que la refinación es la operación en la cual, modificando la estructura de las fibras, es posible modificar las propiedades del papel. De ahí que se la considera una de las principales operaciones en el proceso de fabricación.

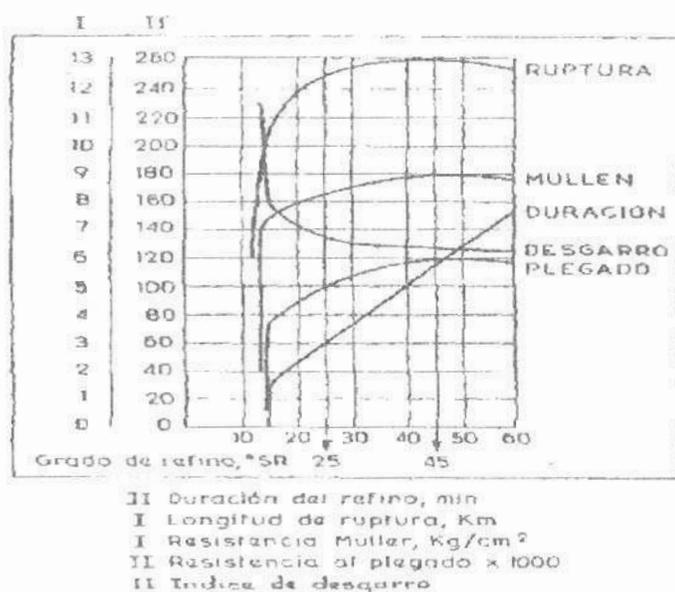
Rodriguez (18), concluye que una curva de refino nos da una información general de todas aquellas propiedades que dependen del refino. Debe indicarse tipo de refino empleado, así como las condiciones de temperatura y humedad a que se han hecho los ensayos.

Hay que tener en cuenta que los valores dados por una curva de refino no se traducen en valores absolutos en la práctica de la fabricación: quiere esto decir que si una pasta a 30°SR da una longitud de ruptura de 10000 m., probablemente no dará 10000 m. al fabricar con ella papel. Sin embargo, la utilidad de la curva es enorme, pues nos permite saber si una pasta es mejor o peor que otra.

Cuando se trata de conseguir simultáneamente buen rasgado y estallido (valores opuestos en cuanto a su relación con el refino), puede deducirse de la curva el °SR óptimo para conseguirlo.

En la figura N°2, se expone una curva de refino correspondiente a un tipo de pasta al sulfato (Kraft), referidos a ensayos en ambiente acondicionando a 65% de humedad, 20°C y gramaje de 60 g/m². En ella podemos ver:

Figura N°2. Resistencias según el refinado en el molino Lampen.



Fuente: Rodríguez, J. (18). Los controles en la fabricación del papel. Barcelona(1970)

- En los primeros 30 minutos de Lampen, el °SR no ha variado: a partir del minuto 30 aproximadamente el °SR aumenta de forma lineal en función del tiempo.
- Al aumentar el °SR disminuye el desgarro, al principio bruscamente y después más lentamente.
- Lo contrario ocurre con el estallido y la carga de ruptura.

Reinoso (13), menciona que los refinadores más apropiados para el *Eucalyptus* son los de discos, consiguiendo la máxima fibrilación. También se usan con buenos resultados los refinadores cónicos de gran ángulo.

En nuestro trabajo el procedimiento utilizado para el refinado consistió previamente en pesar 100 gramos de pasta, formando una hoja, la cual se secó en estufa hasta que el peso no variara en 2 pesadas sucesivas. A partir del peso seco obtenido en esa hoja se llevaron a cabo los cálculos de los gramos de pasta utilizados para obtener la drenabilidad natural (2 gramos de pasta seca calculada mediante regla de tres a través del peso seco de la hoja de 100 g).

El refinado se llevó a cabo con el peso de pasta húmeda equivalente a 30 gramos de pasta seca (calculado a partir del peso seco de la hoja de 100 g),

más un litro de agua, durante aproximadamente 40 minutos para el grado de refinado obtenido a 10000 vueltas y 1 hora con 20 minutos para 20000 vueltas.

3.3.7. Drenabilidad.

La pasta refinada, luego de ser desintegrada, fue llevada a una suspensión de 15 litros de agua para así obtener hojas de 2 gramos de pasta seca/litro de agua.

Se midió la drenabilidad de la pasta natural, con 10.000 y 20000 vueltas en el molino Lampen.

Básicamente para utilizar el aparato Schopper-Riegler se llevaron a cabo 4 pasos principales:

- 1) Desintegrar la pasta y preparar una suspensión de 2 gramos de pasta/litro.
- 2) Colocar el cono de cierre del equipo en su posición inferior, medir 1000 ml de la suspensión, agitarla y verterla en el vaso de drenaje.
- 3) Dejar transcurrir 5 segundos y levantar el cono de cierre.
- 4) Leer en la probeta el valor de °SR sin decimales, una vez que halla drenado toda la suspensión.

3.3.8. Formación y secado de las hojas.

El procedimiento realizado se resume en los siguientes pasos:

- 1) Verter en el cilindro 1000 cm³ de la suspensión fibrosa.
- 2) Cerrar la válvula de desagüe.
- 3) Agregar agua en el cilindro del formador hasta aproximadamente la mitad de éste.
- 4) Abrir la válvula de desagüe del aparato, y dejar pasar toda el agua a través de la hoja de pasta formada sobre la tela.
- 5) Inmediatamente después de levantar el cilindro colocar una hoja de papel secante húmeda y por encima de ésta una chapa metálica que coincide con el diámetro de hoja formada.
- 6) Pasar un rodillo metálico sobre la chapa para que la hoja formada se pegue sobre el papel secante.
- 7) Dejar orear la hoja formada durante 10 minutos y luego colocarla en el secador eléctrico de hojas.

Se formaron 16 hojas por cocción (8 por cada nivel de refino). Las hojas se secaron de a 4, tratando de que la superposición fuera mínima. Luego de secas, se despegaron del papel secante y se identificaron inmediatamente, corroborándose que el peso de las mismas se aproximara a 2 gramos.

3.3.9. Largo de ruptura, índice de estallido y rasgado.

Rodriguez (18), estableció que la resistencia a la **ruptura** por tracción en un papel, se define por la longitud de una banda del mismo que suspendida por uno de sus extremos, se rompe por su propio peso; puede medirse tanto en sentido de máquina como en sentido transversal. Cuando no se dice en que sentido se mide, se entiende que es la media de los 2. En nuestro trabajo en laboratorio la disposición de las fibras en la formadora de hojas fué al azar, no existiendo un sentido definido de fabricación.

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", y vendrá expresada en kilogramos. Este valor variará con el gramaje del papel.

Cuando la tira de papel sometida a un ensayo de tracción aún no se ha roto va sufriendo un alargamiento progresivo, mayor en sentido transversal que longitudinal. En el momento de producirse la ruptura, éste alargamiento será máximo y se denomina "alargamiento a la tracción" (% de elongación), que representa el tanto por ciento de alargamiento que ha experimentado el papel por efecto de la fuerza de tracción a que se haya sometido. Todos éstos resultados, tanto la carga de ruptura como el alargamiento, se leen en las escalas que ya traen los aparatos (dinamómetros).

Aparte de la influencia del gramaje, otros factores que influyen son:

- Humedad 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 (en nuestro caso no existió un sentido de fabricación definido).
- 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. Al respecto, Faedo (7), encontró que las pastas de fibra corta pueden llegar a niveles de 85% de la longitud de

ruptura para pastas de fibra larga, si se establece un nivel de 10 km para éstas.

- Composición del papel: las pastas químicas dan mejor longitud de ruptura que las semiquímicas y éstas mejor que las mecánicas.
- Encolado: favorece la longitud de ruptura.

Será importante una buena longitud de ruptura en un papel de embalaje, un papel para sacos, para envolver cables y para imprimir.

Cuando un papel se somete a una presión uniformemente repartida sobre una parte circular de su superficie, de un diámetro determinado, llega un momento que por efecto de la presión el papel revienta; la presión en Kg/cm² a que se produce el reventamiento, es el valor del **estallido** de ese papel (Rodríguez,18).

Naturalmente, cuanto mayor sea el gramaje de un papel mayor será la presión de reventamiento del mismo; por ésta razón se emplea, más que el valor absoluto del reventamiento, el "índice de estallido."

Además, este índice depende de las siguientes variables:

- Humedad ambiente: al aumentar (dentro de los límites de humedad que son normales en el ambiente en el que vivimos), el índice de estallido disminuye.
- Densidad del papel: el estallido aumenta con la densidad del papel.
- Composición del papel: las pastas químicas dan mejor estallido que las semiquímicas y éstas mejor que las mecánicas.
- Grado de refino: con el aumento de la refinación se obtiene un incremento del estallido, hasta llegar a un máximo, a partir del cual, éste disminuye por destrucción de la unión interfibrilar.

El **rasgado** 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 desgarrar por rasgado es un trabajo (Rodríguez,18).

Igual que ocurre con el estallido y largo de ruptura, no suele darse el valor absoluto de desgarrar (en Nm), sino que, por la influencia del gramaje se emplea el índice de rasgado. Los factores que influyen en el rasgado según el autor, son los mismos que influyen en el estallido, pero, en general, en sentido contrario:

- Sentido de fabricación: el rasgado es mayor en sentido transversal que en el longitudinal (lo contrario que en carga de ruptura).

- Longitud de fibra: con mayor longitud de fibra se obtiene un rasgado superior. Al respecto, Faedo (7) menciona que las pastas de fibra larga presentan un rasgado superior al obtenido con *Eucalyptus* siendo aproximadamente un 100% superior; teniendo presente que éstos índices son más que suficientes para la obtención de buen rasgado para la obtención de papeles de escritura e impresión.
- Humedad ambiente: el rasgado aumenta con la humedad 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.

El desgarro es una propiedad característica de la estructura de la hoja y se emplea ampliamente. Tiene importancia en papel para saco, para envolver, para liner y para toilet.

Bustamante y De los Santos (5), mencionan que normalmente al ser mayor la longitud de ruptura, es menor su resistencia al rasgado. Este, parece depender de:

- Peso específico de la madera: a más peso específico, mayor rasgado.
- Longitud de fibra: a mayor longitud, mayor rasgado.
- Anchura de fibras: a mayor anchura, menor es el índice.
- Espesor de pared: mayor espesor implicaría mayor rasgado.
- Número de vasos: el índice aumenta con el aumento de éste.
- Diámetro de vasos: a mayor diámetro, menor rasgado.
- Espesor de pared de los vasos: a mayor espesor, mayor desgarro.

Es decir, dará un rasgado alto una madera densa, de fibras largas, estrechas y de pared gruesa, con muchos vasos de poco diámetro y pared gruesa. Como se ve estas características son justamente las opuestas a las que precisarían las demás características mecánicas.

En nuestro ensayo, de las 8 hojas formadas para cada nivel de refino, se seleccionaron las 5 mejores según peso (alrededor de 2 gramos) y presencia de "grumos"; eligiendo las más homogéneas. Estas 5 hojas se cortaron en una guillotina en la cual de la parte central de cada hoja se obtuvo una tira de 21 cm de largo y 1,5 cm de ancho; éstas fueron utilizadas para el ensayo de tracción y elongación (dinamómetro). Del resto de cada hoja se obtuvieron 2 semicírculos de cada una, o sea 10 en total. De éstos: 5 fueron utilizados en el Mullen Tester (ensayo de reventamiento), 4 en el aparato Elmendorf (ensayo de rasgado) y una para ensayo de porosidad.

Se obtuvieron 5 valores para el largo de ruptura y elongación por nivel de refino (10000 y 20000 vueltas) para cada cocción; los 5 valores de elongación se expresan en porcentaje, mientras que el largo de ruptura leído (Kgm) fue convertido a metros mediante la siguiente expresión:

$$\text{Largo de ruptura (m)} = 200000 * \text{kgm} / 3 * \text{gramaje}$$

El gramaje es obtenido poniendo a secar las 5 tiras y contenidas entre ambas mordazas (las cuales están distanciadas 15 cm), y aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Gramaje (g/m}^2\text{)} = \frac{\text{peso seco de las 5 tiras} / 5}{0.00225 *}$$

$$* \text{área de la tira entre ambas mordazas} = 0,15 * 0,015 = 0.00225 \text{ m}^2$$

Con respecto al estallido, se realizaron 3 mediciones por semicírculo, utilizando 5 semicírculos de hojas distintas (15 mediciones en total). Una en la parte central y una en cada extremo. Los valores resultantes son en libras/pulgada².

Para la comparación estadística de los valores obtenidos se calculó el factor Mullen o índice de estallido según la norma ISO 2758, a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de estallido (kPa m}^2\text{/g)} = \text{Mullen} / \text{gramaje}$$

Dado que hay una relación directa entre el espesor del papel y la resistencia al estallido, el factor Mullen nos permite comparar resultados de papeles de diferente gramaje, uniformizando los resultados mediante una ponderación.

Para determinar el rasgado se llevó a cabo un ensayo por cada nivel de refino ya que entre las mordazas se colocaron 4 tiras rectangulares (de hojas distintas) de 6.3 cm de ancho por 7.6 cm de largo. Las unidades del aparato son g.fuerza/hoja.

Al igual que el índice de estallido, se aplicó el factor Elmendorf o índice de rasgado mediante la norma ISO 1974, que permite la comparación de resultados en papeles de diferente gramaje. La fórmula es la siguiente:

$$\text{Índice de rasgado (mNm}^2\text{/g)} = \text{resistencia al rasgado} / \text{gramaje}$$

3.3.10. Porosidad.

Se realizó un ensayo para cada refino, utilizándose una tira de 9 cm de largo por 5 cm de ancho, de la mitad de una hoja. Luego de apretar la tira en la parte superior, se sube el cilindro para que toda el agua quede abajo, soltándolo y controlando el tiempo que demora en bajar 100 cm³ de agua. Por lo que las unidades son segundos/100 cm³.

3.3.11. Cálculo del rendimiento.

La pulpa luego de lavada, escurrida y mezclada, fue pesada; el peso seco de la pulpa fue obtenido luego de colocar una muestra pesada previamente (peso húmedo) en estufa durante 24 horas. El rendimiento se obtuvo a partir de una simple regla de tres:

Peso húmedo ----- 100%
Peso seco ----- x= % de seco

Peso total de la pulpa húmeda ----- 100%
x=Peso total de la pulpa seca ----- % de peso seco

1000 g de madera seca ----- 100%
peso total de la pulpa seca ----- x= Rendimiento en %

3.3.12. Consumo de Na OH.

Adaptación de la norma Tappi T625 ts-63.

Este método se realiza para calcular el gasto del licor separado del cocimiento de la pulpa; o sea el álcali residual.

Los pasos a seguir fueron los siguientes:

- 1) Tomar 25 ml de licor negro.
- 2) Agregar 100 ml de H₂O destilada.
- 3) Colocar el agitador magnético.
- 4) Colocar el electrodo del peachímetro.
- 5) Valorar con HCl 0,5 N.

6) Hacer una tabla, anotando el pH inicial y luego el pH de cada ml de HCl agregado.

7) Agregar HCl hasta llegar a un pH de 4,5.

Este procedimiento se repitió para las 16 cocciones. Para el cálculo de consumo de NaOH (expresado como alcalinidad en g/l) se utilizó la siguiente expresión:

$$VLN \times NLN = VA \times NA$$

Donde:

VLN = volumen de licor negro (25 ml)

NLN = normalidad del licor negro

VA = volumen de HCl

NA = normalidad de HCl (0.5N)

Despejando de la fórmula anterior:

$$NLN = VA \times NA / VLN$$

Utilizando como VA el gasto en el cual el pH del licor presenta un punto de inflexión en la gráfica descendente del pH en función de los ml agregados de HCl. Dicho punto de inflexión ronda a un pH de 8.5.

$$\text{Alcalinidad (g/l de NaOH)} = NLN \times 40$$

4) RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. PORCENTAJE DE CORTEZA

En el cuadro N° 15 se presentan los valores de corteza promedio, obtenidos a partir de 4 medidas de diámetro/"rodaja", 2 sin corteza y 2 con corteza. Luego se obtuvo el promedio para cada sección de ambos diámetros. A partir de éstos 2 últimos se calculó el factor de corteza (K) y posteriormente la proporción de corteza en volumen (P). El siguiente cuadro se confeccionó a partir del *anexo 1*, donde se promedió para cada sección los valores de 2 árboles por origen. El cálculo de K y P se realizó de la siguiente forma:

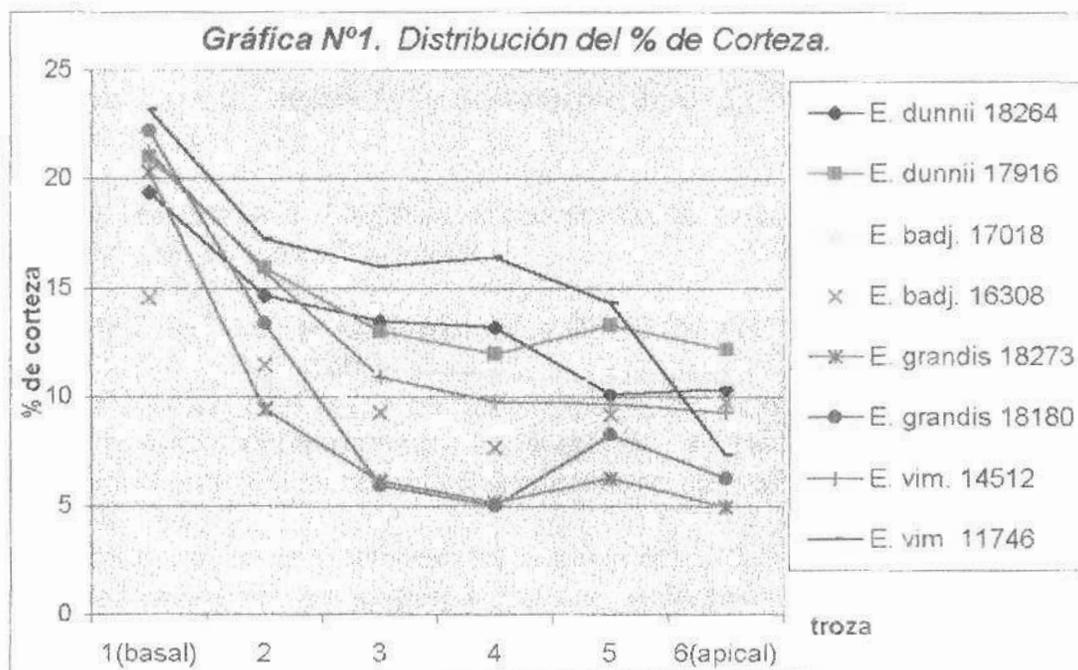
$$K = \text{Diám. con corteza} / \text{Diám. sin corteza}$$

$$P = 1 - 1/K^2$$

Cuadro N° 15. Porcentaje de corteza promedio por troza y por origen.

	6 (apical)	5	4	3	2	1 (basal)
<i>E. dunnii</i> 18264	10.36	10.11	13.17	13.48	14.63	19.38
<i>E. dunnii</i> 17916	12.17	13.27	11.97	12.97	15.9	21
<i>E. badjensis</i> 17018	10.85	10.69	10.95	11.31	10.58	17.33
<i>E. badjensis</i> 16308	9.76	9.2	7.65	9.26	11.49	14.54
<i>E. grandis</i> 18273	4.94	6.23	5.14	6.11	9.42	20.29
<i>E. grandis</i> 18180	6.25	8.25	5	5.9	13.4	22.2
<i>E. viminalis</i> 14512	9.3	9.67	9.78	10.89	15.77	21.25
<i>E. viminalis</i> 11746	7.33	14.29	16.39	15.95	17.22	23.17

A partir del cuadro se confeccionó la gráfica N° 1, con las variaciones obtenidas para cada especie:



Se observa que el % de corteza disminuye abruptamente en forma lineal, para todos los orígenes, desde la troza 1 (basal) hasta la segunda, disminuyendo de forma gradual hasta la troza apical.

Con los datos obtenidos (Anexo N°1) se obtuvieron los % de corteza por especie que se presentan en el cuadro N° 16.

Cuadro N° 16. Porcentaje de corteza promedio por origen y por especie.

Origen	% corteza promedio/origen	% corteza promedio/especie
<i>E. dunnii</i> 18264	13.52	13,46
<i>E. dunnii</i> 17916	13.4	
<i>E. badjensis</i> 17018	11.7	11,02
<i>E. badjensis</i> 16308	10.34	
<i>E. grandis</i> 18273	8.69	9,42
<i>E. grandis</i> 18180	10.15	
<i>E. viminalis</i> 14512	12.78	14,26
<i>E. viminalis</i> 11746	15.73	

Se observa que el orden de mayor a menor, siendo éste el siguiente: *E. viminalis*, *E. dunnii* y *E. grandis*, coincide con lo presentado en la revisión bibliográfica por: Tacconi (23); Bustamante et al (5); Maradei et al (11); Ferrari (8) y Marcó et al (12).

Con respecto a *E. badjensis* el porcentaje de corteza, en nuestro trabajo se situó entre *E. dunnii* y *E. viminalis*.

4.2. DENSIDAD DE LA MADERA y RENDIMIENTO EN PASTA.

Con los pesos de pulpa húmeda y los de las muestras de pulpa puestas a secar en estufa obtenidos para cada cocción, se calculó el rendimiento bruto correspondiente a cada cocción (los cálculos se ejemplifican en el ítem 3.3.11).

A continuación se presentan los cuadros N° 17 y 18 con el rendimiento y la densidad obtenidos por origen y especie respectivamente. la totalidad de los valores de densidad se presentan en el *anexo 2*.

Cuadro N° 17. Rendimiento bruto de pasta y densidad de la madera por origen.

ORIGEN	Rendimiento bruto en pasta (%)		Rendimiento bruto en pasta promedio (%)	Densidad básica media de la madera (g/cm ³)
	Cocción 1	Cocción 2		
<i>E. grandis</i> 18180	53.6	53.8	53.7	0.46
<i>E. grandis</i> 18273	55.6	52	53.8	0.40
<i>E. viminalis</i> 14512	55.9	50.8	53.3	0.45
<i>E. viminalis</i> 11746	51	48.4	49.7	0.49
<i>E. badjensis</i> 17018	52.6	56.5	54.5	0.42
<i>E. badjensis</i> 16308	57.7	55.8	56.7	0.46
<i>E. dunnii</i> 18264	50.2	48.9	49.5	0.45
<i>E. dunnii</i> 17916	52.7	53.7	53.2	0.43

A partir del cuadro anterior, en el cuadro N°18 se promediaron los datos por especie:

Cuadro N° 18. Rendimiento bruto de pasta y densidad de la madera por especie.

<i>Especie</i>	<i>Rendimiento en pasta (%)</i>	<i>Densidad de la madera (g/cm³)</i>
<i>E. grandis</i>	52.8	0.43
<i>E. dunnii</i>	51.4	0.44
<i>E. badjensis</i>	55.6	0.44
<i>E. viminalis</i>	51.5	0.47

El cuadro N° 18 permite comparar los valores obtenidos con los presentados en la revisión bibliográfica, cabe destacar que los ensayos presentados en ésta acerca de densidad y rendimiento fueron dados con árboles de distintas edades, condiciones de crecimiento, etc. Los valores de densidad presentados en los cuadros anteriores, se encuentran por debajo de los recopilados en la revisión bibliográfica para *E. grandis*, *E. dunnii* y *E. viminalis*, según: Bustamante y De Los Santos (5); Maradei et al (11); Sparnochia (22); Repetti (15) y Bakman y García De León (3).

Por lo dicho anteriormente y por la influencia que tiene la edad en la densidad, se podrían explicar estas diferencias. Respecto a *E. badjensis*, no fue posible encontrar referencias bibliográficas acerca de densidad y rendimiento.

Según Repetti (15), *E. grandis* es una especie de baja densidad, mientras que *E. viminalis* es de media densidad; los valores encontrados concuerdan con los citados por el autor.

En nuestro caso, para los valores de rendimiento de pulpa, se observa que éstos se encuentran por arriba de los presentados en la revisión por los autores anteriormente citados, no detectándose una correlación entre densidad y rendimiento.

4.3. CURVAS DE COCCION.

Para cada cocción se graficó temperatura en función de tiempo, a intervalos de 5 minutos (ver anexo 3).

Para expresar el tiempo de cocción y la temperatura como una sola variable, se calculó el factor H para cada cocción; que como ya se mencionó en la revisión éste factor es el área comprendida bajo la curva de velocidad relativa de reacción vs tiempo. La velocidad de reacción (K) se asume que depende de la temperatura (T, en °K) de acuerdo a la ecuación de Arrhenius. Si se asume arbitrariamente que la velocidad de reacción es igual a 1 a 100°C:

$$K = e^{43,2 - 16113/T}$$

Siguiendo con el procedimiento, a cada valor mayor a 100°C tomado cada 5 minutos se le asignó su correspondiente K (extraído de la tabla de velocidad relativa de reacción para el factor H en pulpas kraft). El cálculo del factor H resulta de la siguiente fórmula:

$$H = \sum k_{\text{promedio}} \times T \quad \text{donde} \quad K_{\text{promedio}} = \frac{K_2 - K_1}{\ln K_2/K_1}$$

$$T(\text{hs}) = 5/60 = 0.083$$

A continuación en el cuadro N° 19 se presenta, a modo de ejemplo, el cálculo del factor H para la cocción 1 (*E. dunnii* 17916).

Cuadro N° 19. Cálculo de factor H para la cocción n°1.

Temp. (°C)	Tiempo (min)	Vel. relativa (K)	In K2/K1	K2-K1	K prom.	Intervalo (T)	K x T
52	0	0					
67	10	0					
78	15	0					
89	20	0					
106	25	2		2		0,083	
115	30	5	0,92	3	3,27	0,083	0,27
123	35	12	0,88	7	8,00	0,083	0,66
127	40	18	0,41	6	14,80	0,083	1,23
132	45	31	0,54	13	23,91	0,083	1,98
138	50	54	0,55	23	41,44	0,083	3,44
148	55	138	0,94	84	89,53	0,083	7,43
158	60	336	0,89	198	222,51	0,083	18,47
167	65	716	0,76	380	502,27	0,083	41,69
173	70	1180	0,50	464	928,76	0,083	77,09
172	75	1089	-0,08	-91	1133,89	0,083	94,11
168	80	777	-0,34	-312	924,24	0,083	76,71
166	85	661	-0,16	-116	717,44	0,083	59,55
165	90	610	-0,08	-51	635,16	0,083	52,72
165	95	610	0,00	0	0,00	0,083	0,00
169	100	855	0,34	245	725,62	0,083	60,23
172	105	1089	0,24	234	967,29	0,083	80,28
172	110	1089	0,00	0	0,00	0,083	0,00
170	115	927	-0,16	-162	1005,83	0,083	83,48
167	120	716	-0,26	-211	816,96	0,083	67,81
163	125	511	-0,34	-205	607,75	0,083	50,44
164	130	563	0,10	52	536,58	0,083	44,54
166	135	661	0,16	98	610,69	0,083	50,69
168	140	777	0,16	116	717,44	0,083	59,55
170	145	927	0,18	150	849,79	0,083	70,53
172	150	1089	0,16	162	1005,83	0,083	83,48
							Factor H=1086

Los valores de factor H calculados se resumen en el siguiente cuadro:

Cuadro N°20. Factor H para cada cocción.

COCCION	ORIGEN	FACTOR H
1	D17916	1086.4
2	D17916	1005.1
3	G18180	1028.6
4	G18180	1073.5
5	G18273	1242.3
6	V11746	1651.5
7	V11746	954.8
8	V14512	1450.6
9	V14512	1346.6
10	B17018	1360.7
11	B17018	1680.4
12	D18264	1038.7
13	D18264	1117
14	B16308	901.6
15	B16308	994
16	G18273	1193.7

Si bien existe una variación del factor H, ésta no se tradujo en variaciones importantes del índice Kappa (ver cuadro N° 21).

4.4. INDICE KAPPA Y CONSUMO DE REACTIVOS.

Mediante la observación de las gráficas (ver anexo 5) construidas para cada cocción a partir de la tabla de pH en función de consumo de HCl se determinó el punto donde el pH desciende bruscamente, a partir de ese volumen de ácido (VA) se calculó la alcalinidad en g/l de NaOH (ver ítem 3.3.12).

En el cuadro N° 21 se visualizan los resultados por origen (promedio de 2 cocciones, ver anexo 4):

Cuadro N°21. Kappa y álcali residual (g/l) por origen.

Origen	Alcalinidad (g/l)	Kappa
<i>Grandis 18180</i>	16.4	21.6
<i>Grandis 18273</i>	4	20.3
<i>Viminalis 14512</i>	15.6	19.1
<i>Viminalis 11746</i>	11.2	21.1
<i>Badjensis 17018</i>	12	19
<i>Badjensis 16308</i>	4.8	19.2
<i>Dunnii 18264</i>	8.4	19.8
<i>Dunnii 17916</i>	16	20.7

Los valores de kappa obtenidos se consideran aceptables al estar próximos entre sí y dentro del rango previamente establecido (entre 18 y 25). Esta proximidad de los valores permite comparar con criterio las propiedades físicas de las hojas elaboradas. En todos los casos se observó una alcalinidad residual esperada, minimizándose los riesgos de ataque a la celulosa.

4.5. PROPIEDADES PAPELERAS

En el cuadro N° 22 se presentan los promedios de las propiedades papeleras por especie para los 2 niveles de refino. El detalle de los resultados obtenidos para todas las cocciones se presentan en el *anexo 6*.

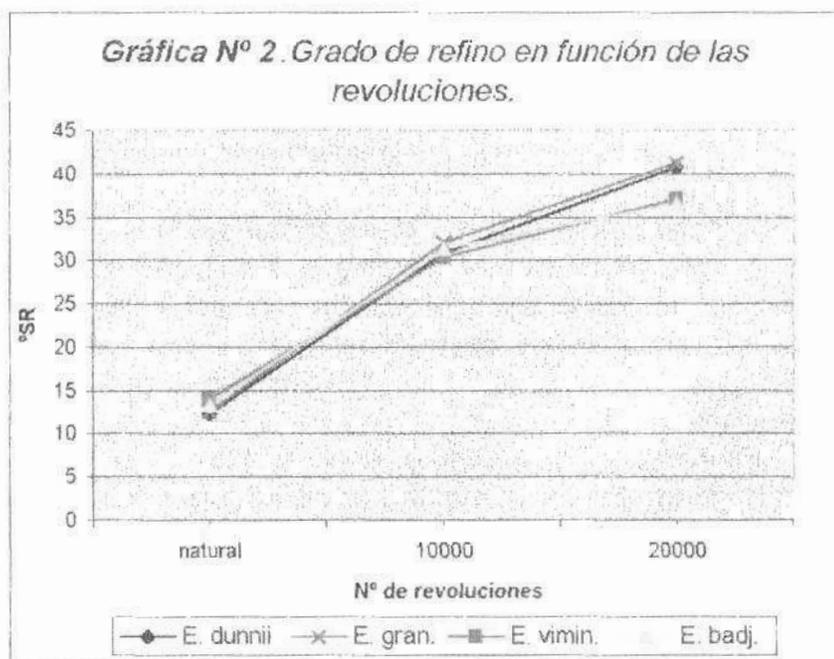
Cuadro N°22. Resultados obtenidos para las propiedades a 10000 y 20000 vueltas.

Especie	Grado de refino (°SR)	Largo de ruptura (m)	Indice de estallido (kPam²/g)	Indice de rasgado (mNm²/g)	Porosidad (seg/100m²)
<i>E. dunnii</i>	31	7678	6.04	6.70	2
	41	8461	6.52	6.31	5
<i>E. grandis</i>	32	8193	5.95	7.73	5
	41	9848	7.45	7.86	9
<i>E. badjensis</i>	31	7781	6.74	7.88	4
	36	9531	7.96	6.84	6
<i>E. viminalis</i>	30	7751	5.73	6.43	3
	37	8065	6.25	6.30	5

Si bien el análisis estadístico se realizó para largo de ruptura, índice de estallido y rasgado, en el cuadro se presenta la porosidad como una característica papelera adicional.

E. grandis presentó mayor resistencia al pasaje de aire, seguido por *E. badjensis*, para los 2 niveles de refinado (10000 y 20000 vueltas); notándose para todas las especies, que el valor de porosidad aumenta con el grado de refinado, lo cual indica una mayor dificultad al pasaje del aire.

Con los promedios por especie (obtenidos a partir del cuadro N°22), se construyó la gráfica N°2 donde se muestra la variación del °SR en función del N° de revoluciones:



A partir de ésta se constata el aumento para todas las especies en el nivel de drenaje (°SR) cuando pasamos de 10000 a 20000 vueltas en el molino Lampen.

El largo de ruptura y el índice de estallido aumentan en las 4 especies cuando se pasa de 10000 a 20000 vueltas, mientras tanto en el índice de rasgado ocurre lo inverso, excepto en *E. grandis* que aumenta 1.7%.

E. grandis y *E. badjensis* mejoran sensiblemente en largo de ruptura e índice de estallido, que por otra parte son las propiedades que es de esperar que aumenten con el grado de refino. *E. badjensis*, a pesar de disminuir 15% para el índice de rasgado, se mantiene por encima de *E. dunnii* y *E. viminalis* aún comparándolo con los valores de éstos a 10000 vueltas.

Los valores presentados en la revisión bibliográfica son comparables con los resultados obtenidos a 20000 vueltas, a efectos de realizar comparaciones de valores, el nivel de drenaje y el N° kappa deben ser similares; salvo los resultados citados por Bakman y García De León (3), quienes trabajaron con una grado de refino de 25°SR.

Cabe aclarar que no fue posible recabar información acerca de las propiedades papeleras en estudio para *E. badjensis*, probablemente por ser una especie no utilizada comercialmente a nivel mundial.

Los ensayos presentados en la revisión concuerdan con lo obtenido en la tesis en lo que respecta a *E. grandis*, tanto para el largo de ruptura como para el índice de estallido, donde ésta especie presentó los mayores índices con respecto a las otras especies, excepto en el índice de estallido cuando lo comparamos con *E. badjensis*.

Maradei et al (11) y Soria (comunicación personal), presentan valores similares para el largo de ruptura al que se encuentra en el cuadro N° 22 (9848 ms en 20000 vueltas) para *E. grandis*. A su vez, para éste último autor, los índices de rasgado y estallido también concuerdan.

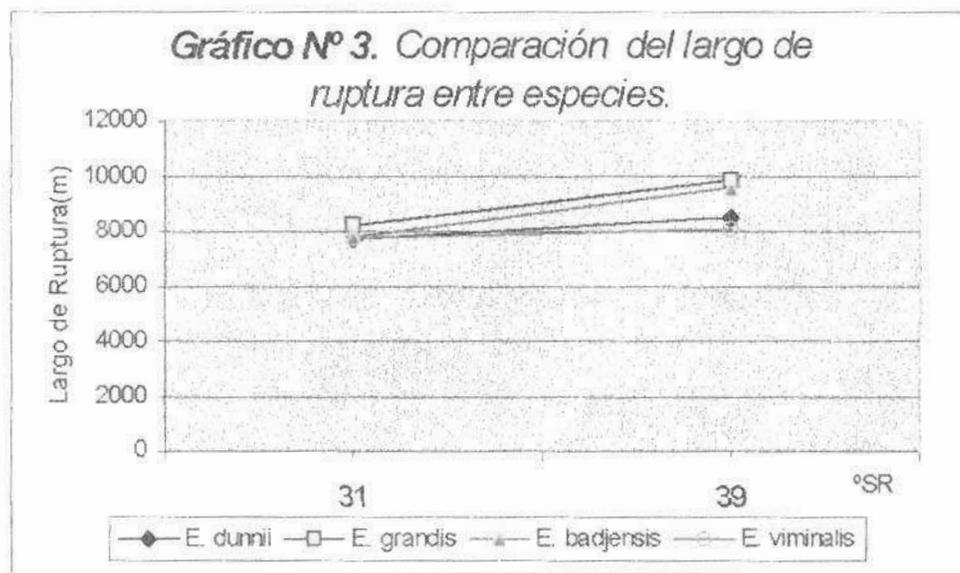
Con respecto a *E. dunnii* y *E. viminalis*, presentaron un comportamiento similar (ver cuadro N° 22), ambos con valores de longitud de ruptura y estallido inferiores a los de *E. grandis*. Estando esto en acuerdo con lo mencionado por los distintos autores; Repetti (14) y Sparnochia (22), explican estos valores inferiores a través de la mayor densidad básica de éstas 2 especies (*E. dunnii* y *E. viminalis*). La menor densidad de *E. grandis* es la responsable de mejores propiedades papeleras que dependen de la capacidad de unión interfibrilar (longitud de ruptura y estallido).

No obstante, Bakman y García De León (3), en su ensayo realizado con un grado de refino de 25°SR, no concuerdan con lo presentado en el cuadro anterior; donde según los autores *E. dunnii* resultó superior a *E. grandis*.

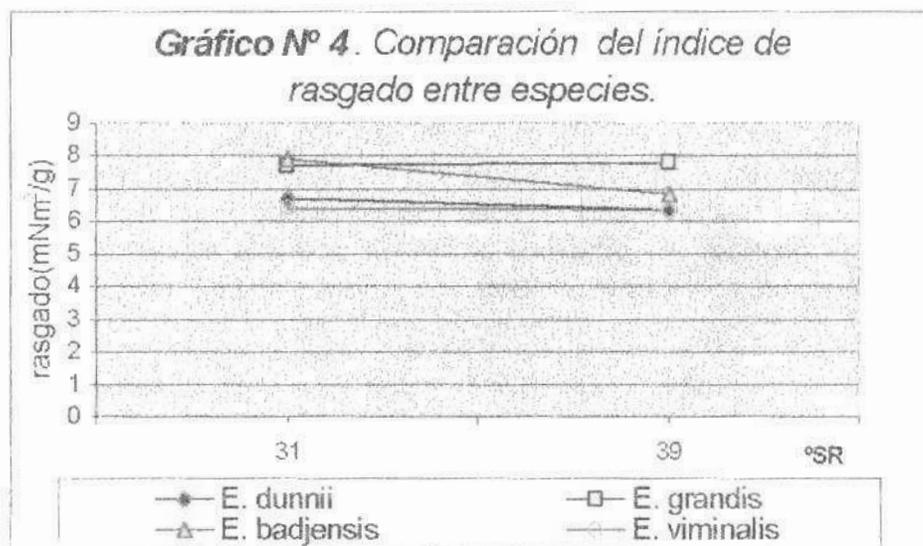
Mientras tanto, Carriquiry (6), explica el comportamiento de *E. viminalis*, debido a la desproporción que existe en éste entre el espesor de la pared y el diámetro del lumen de sus fibras, lo que lleva a una menor capacidad de colapso; por lo que es necesario el tratamiento adicional de refino (20000 vueltas o más), para lograr niveles de resistencia adecuados.

Con respecto al rasgado, los autores mencionados en la revisión, no concuerdan entre sí, observando cierta variabilidad en lo que respecta a la especie que presenta mejor índice.

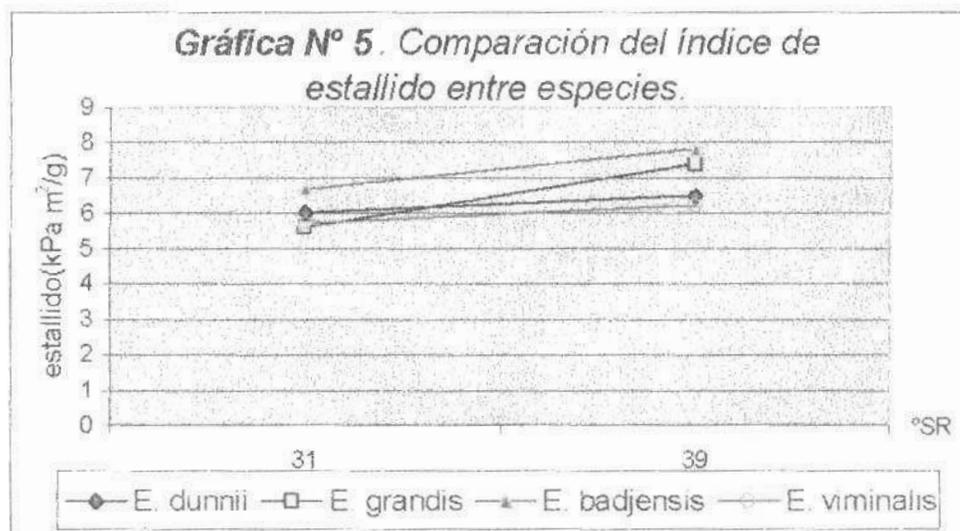
Se adjuntan las gráficas N° 3, 4 y 5, en las cuales se visualiza el comportamiento de las características físico mecánicas en función del aumento en el refino, de 31 a 39 °SR, promedios de todos los valores de drenaje para 10000 y 20000 vueltas respectivamente.



El largo de ruptura aumentó con el grado de refino, siendo éste mayor para *E. grandis* y *E. badjensis*. Mientras tanto, en *E. dunnii* y *E. viminalis* el mayor grado de refino no mejoró sustancialmente el largo de ruptura.

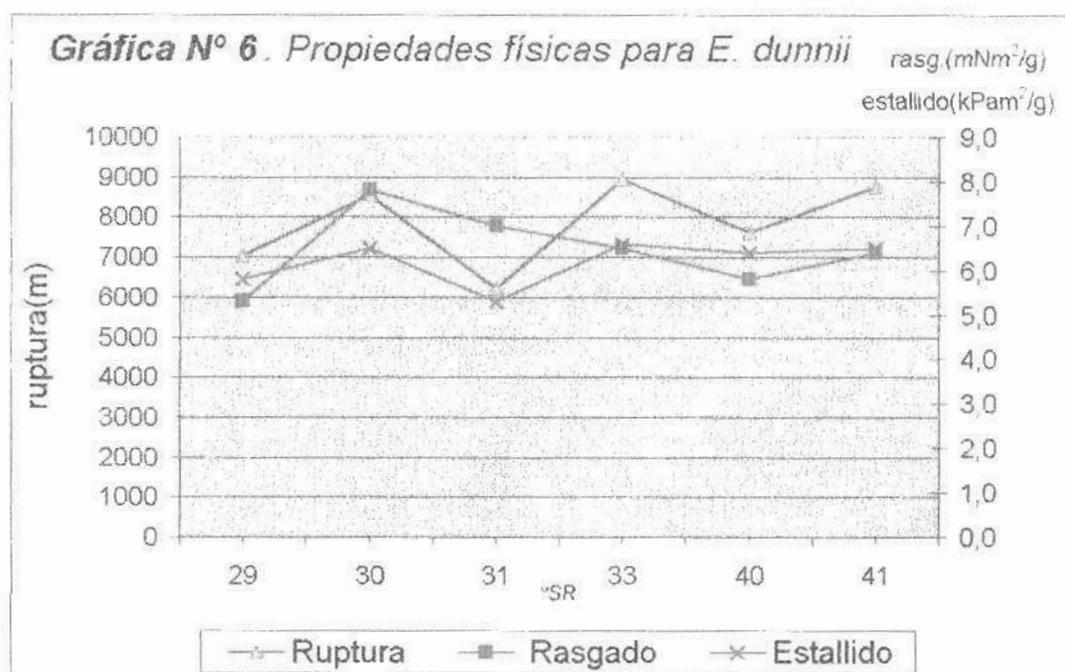


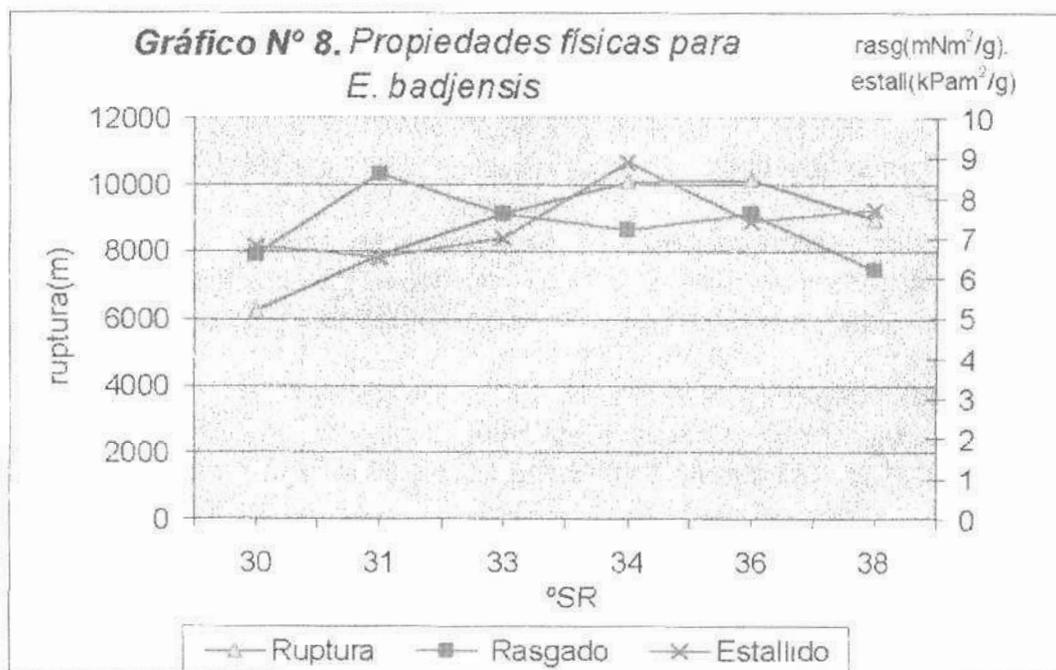
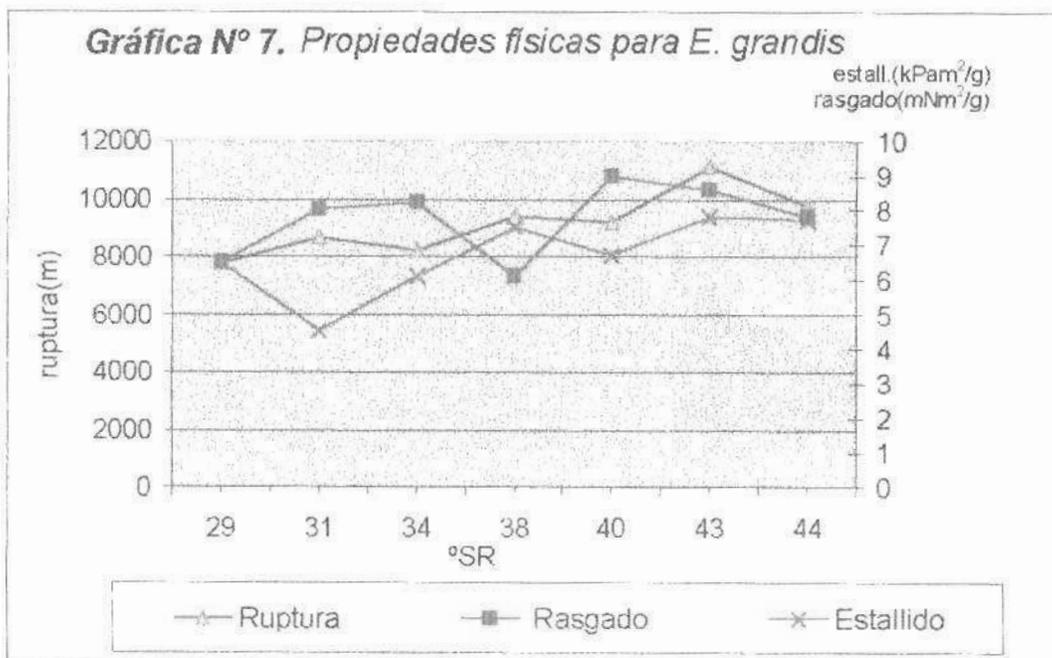
El índice de rasgado disminuyó con el incremento del refino en *E. dunnii*, *E. viminalis* y *E. badjensis*, de manera muy acentuada en éste último. Mientras que para *E. grandis* se mantuvo constante. Por lo tanto no se justifica el tratamiento adicional (20000 vueltas en el molino Lampen) para lograr niveles de resistencia al rasgado adecuados.

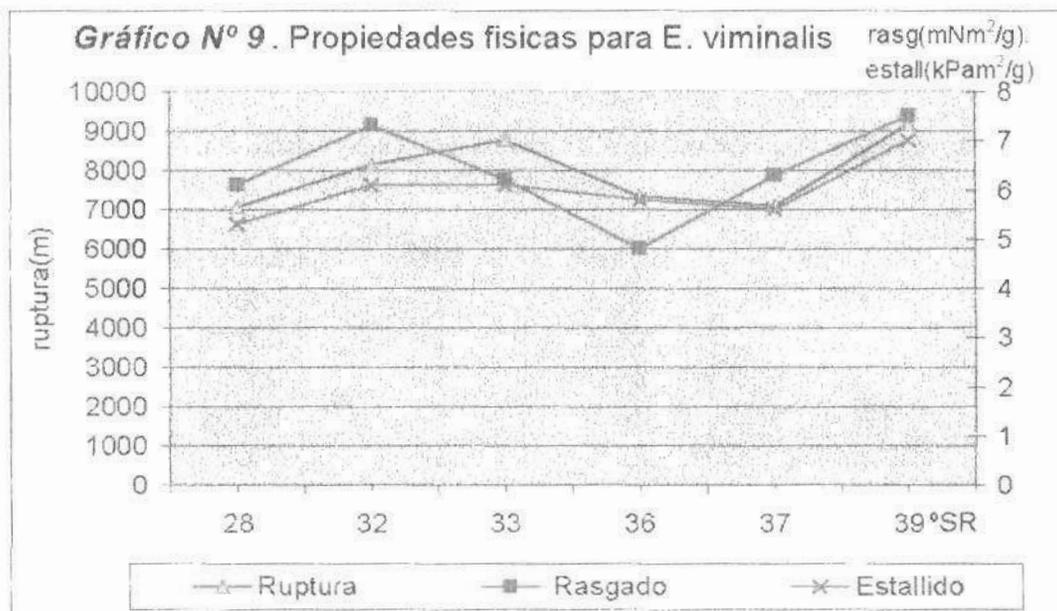


Cuando pasamos de 31 a 39°SR en la gráfica, el índice de estallido aumentó para todas las especies; siendo éste muy marcado en *E. grandis* (5.9 a 7.4 kPam²/g). los valores de *E. grandis* y *E. badjensis* para 20000 vueltas (39°SR), se destacan con respecto a las otras 2 especies restantes.

Para cada especie, se graficó el comportamiento de las 3 propiedades en estudio en un mismo par de ejes, donde los valores utilizados no fueron promedios sino que fueron los obtenidos para un nivel específico de drenaje, resultantes de las 4 cocciones por especie (2 por origen). Cuando en 2 o más cocciones distintas el grado de refinó coincidió, se recurrió al promedio de los valores para las 3 propiedades. Los siguientes gráficos se construyeron a partir del *anexo 6*.







A partir de las gráficas N° 6, 7, 8 y 9, situándonos en 30 °SR se llevó a cabo una comparación entre especies, de las 3 propiedades en estudio. Para los valores correspondientes a este nivel de drenaje (cabe aclarar que el grado de refinado más próximo a 30 °SR para *E. grandis* y *E. viminalis* fue 29 y 32 °SR respectivamente), *E. dunnii* y *E. viminalis* se ubicaron por encima de las restantes especies para el índice de rasgado y el largo de ruptura. Mientras que para el índice de estallido las 4 especies presentaron comportamientos similares.

A través de las curvas de cocción se podrían determinar cuales son las condiciones óptimas de utilización en cuanto al refinado, éste punto óptimo dependerá de la especie y el tipo de papel que queramos obtener.

Por último, con los valores del índice de estallido y rasgado (obtenidos a partir del cuadro N°22), se calculó para las 4 especies, un índice que puede caracterizar el óptimo desarrollo de las principales características mecánicas de un papel.

El índice se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Índice} = \sqrt{I. \text{ rasgado} \times I. \text{ estallido}}$$

Los índices en función del tratamiento de refinado se visualizan en el cuadro N° 23:

Cuadro N° 23. Índice en función del °SR promedio por especie para cada tratamiento de refinado (10000 y 20000 vueltas).

<i>Especie</i>	<i>Nº vueltas</i>	<i>°SR</i>	<i>índice</i>
<i>E. dunnii</i>	10000	31	6.36
	20000	41	6.41
<i>E. grandis</i>	10000	32	6.78
	20000	41	7.65
<i>E. badjensis</i>	10000	31	7.29
	20000	36	7.38
<i>E. viminalis</i>	10000	30	6.07
	20000	37	6.27

Este parámetro es fácilmente controlado por el drenaje de la pasta en estado húmedo, puesto que su óptimo corresponde exactamente para el caso de pastas que en el refinado presentan puntos críticos de desgote.

Correlacionando el cuadro N° 22 con éste último se verifica la superioridad de *E. badjensis* y *E. grandis* frente a las otras 2 especies, para 10000 y 20000 vueltas, por lo tanto el cuadro N° 23 parecería confirmar que éstas 2 especies presentarían mejores características físico-mecánicas en el papel ensayado en nuestro trabajo.

4.6 ANALISIS ESTADISTICO

Se realizaron 3 Análisis de Varianza (cuadros N° 24, 25, 26 y 27), uno para cada propiedad papelera y el restante con los coeficientes de variación (CV). La diferencia entre especies se evaluó a través de la prueba de Tukey (cuadros N° 28 y 29), con un nivel de significancia del 5% ($\alpha=0,05$), para 8 valores por especie y por variable.

Cuadro N° 24. ANAVA para la propiedad rasgado.

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F_o	Pr>F
Especie	3	11.41	3.80	3.47	0.0317
N° de vueltas	1	0.997	0.997	0.91	0.3496 ns
N° de vueltas* Especie	3	1.53	0.51	0.46	0.7119 ns
Error	24	26.37	1.10		
TOTAL	31	40.23			

ns=no significativo

Se detectaron diferencias significativas solamente entre especies con una probabilidad de error de 3,17%. Mientras tanto, para el N° de vueltas x especie y N° de vueltas no se verificaron diferencias estadísticas, ya que las probabilidades de error fueron mayores al nivel de significancia del ensayo.

Cuadro N° 25. ANAVA para la propiedad estallido.

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F_o	Pr>F
Especie	3	8.40	2.80	7.72	0.0009
N° de vueltas	1	6.88	6.88	18.97	0.0002
N° de vueltas* Especie	3	1.55	0.52	1.42	0.2615 ns
Error	24	8.65	0.36		
TOTAL	31	25.54			

No existieron diferencias significativas entre la interacción N° de vueltas por especie, o sea que si para determinada especie la media a 20000 vueltas es superior frente a la de 10000, lo es para el resto de las especies.

Cuadro N° 26. ANAVA para la propiedad largo de ruptura.

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	Fo	Pr>F
Especie	3	6406227	21354090	2.05	0.1334 ns
N° de vueltas	1	10132876	101328766	9.74	0.0047
N° de vueltas* Especie	3	2896698	965566	0.93	0.4425 ns
Error	24	24977231	1040718		
TOTAL	31	44413031			

Al igual que en los 2 cuadros anteriores, no se registraron diferencias significativas para la fuente de variación N° de vueltas por especie, por lo tanto no existió interacción entre las 2 variables. Largo de ruptura fue la única propiedad que no presentó diferencias significativas entre especies.

Cuadro N° 27. Coeficiente de variación (C.V.) y medias para las 3 características papeleras.

PROPIEDAD	C.V.	MEDIA
Rasgado (mNm ² /g)	14.94	7.01
Estallido (kPam ² /g)	9.15	6.58
Largo de ruptura (m)	12.13	8413

Los CV encontrados resultaron bajos, donde la mayor variación se registró en el índice de rasgado (15%).

Al no existir interacción entre N° de vueltas x especie para ninguna de las 3 propiedades, las pruebas de Tukey se llevaron a cabo a partir de los promedios en conjunto por especie a 10000 y 20000 vueltas (8 valores para cada propiedad).

Cuadro N° 28. Prueba de Tukey para el índice de rasgado.

ESPECIE	MEDIA (mNm²/g)	
<i>E. grandis</i>	7.80	a
<i>E. badjensis</i>	7.36	a
<i>E. dunnii</i>	6.50	a
<i>E. viminalis</i>	6.36	a

W= 1.446

Las cuatro especies resultaron ser estadísticamente iguales.

Cuadro N° 29. Prueba de Tukey para el índice de estallido.

ESPECIE	MEDIA (kPam²/g)	
<i>E. badjensis</i>	7.35	a
<i>E. grandis</i>	6.70	ab
<i>E. dunnii</i>	6.28	b
<i>E. viminalis</i>	5.99	b

W= 0.827

E. badjensis y *E. grandis* resultaron ser estadísticamente iguales y no se detectaron diferencias significativas entre *E. grandis*, *E. dunnii* y *E. viminalis*

En el cuadro N° 30 se presentan las medias con sus respectivos desvíos para los 2 tratamientos de refino, para cada propiedad:

Cuadro N° 30. Media por tratamiento y desvío estandar (S).

PROPIEDAD	N° DE VUELTAS	MEDIA	DESVIO ESTANDAR
Largo de ruptura (m)	10000	7850	997
	20000	8976	1136
Índice de estallido (kPam ² /g)	10000	6.1	1.0
	20000	7.0	1.3
Índice de rasgado (mNm ² /g)	10000	7.2	1.1
	20000	6.8	1.2

A partir del cuadro se concluye que cuando pasamos de 20000 a 10000 vueltas (o sea, aumento el grado de refino); el largo de ruptura mejora un 12.5% para todas las especies. En tanto el índice de estallido aumenta 12.8%, como contrapartida de esto el índice de rasgado disminuye 5.6%, esto quiere decir que el aumento en el grado de refino disminuye el índice de todas las especies ensayadas.

5.CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- El % de corteza varía de mayor a menor (ver cuadro N° 16), según el siguiente orden: *E.viminalis* (14.26%), *E.dunnii* (13.46%), *E. badjensis* (11.02%) y *E. grandis* (9.42%).
- El índice de rasgado es la única propiedad que disminuyó con el aumento del grado de refinado para todas las especies excepto en *E. grandis*, donde se mantuvo constante; estando en acuerdo con lo presentado en la revisión (ver gráfica N°4).
- El análisis de las gráficas N° 3 y 5 muestra que para un mismo nivel de drenaje (°SR) la variación del largo de ruptura se da en el siguiente orden, de mayor a menor: *E. grandis*, *E. badjensis*, *E. dunnii* y *E. viminalis*; mientras que para el índice de estallido el orden resultó ser: *E. badjensis*, *E. grandis*, *E. dunnii* y *E. viminalis*.
- Estadísticamente, la única diferencia significativa entre especies para las propiedades estudiadas fue la superioridad de *E. badjensis* sobre *E.dunnii* y *E. viminalis* para estallido.
- *E. grandis* presenta excelentes propiedades papeleras, confirmando con lo expuesto en la revisión bibliográfica.
- *E. badjensis* resultó ser una especie promisorio no solamente en cuanto a calidad de papel proveniente de pastas kraft, sino también en rendimiento de pulpa obtenido. Sumado a esto, los árboles de ésta especie presentaron el mayor DAP promedio (17,5 cm) del ensayo de orígenes muestreado.
- Sería conveniente continuar el estudio de aptitud papeleras en *E. badjensis* así como su comportamiento silvicultural, de forma de que en un futuro resulte ser una especie atractiva en la producción de pasta para papel de alta calidad.

- El Análisis de Varianza marca que no se registró interacción para la fuente de variación número de vueltas x especie, para todas las características de aptitud de papel en estudio. Esto significa que si para determinada propiedad una especie es superior al resto a 10000 vueltas, la superioridad se registra también cuando refinamos a 20000 vueltas.
- Se sugiere estudiar las viscosidades de las especies ensayadas para poder realizar un estudio comparativo de aptitud papelera aún más completo.
- De acuerdo al comportamiento similar en la cocción de las diferentes especies, es dable esperar que las mezclas industriales pudieran mejorar las propiedades papeleras de la pulpa resultante con respecto a las propiedades obtenidas cuando utilizamos pastas sin mezclar.

6. RESUMEN.

Se evalúan las propiedades físico-mecánicas del papel a través de pastas obtenidas por el proceso kraft en 4 especies de *Eucalyptus*: *E. grandis*, *E. dunnii*, *E. viminalis* y *E. badjensis*.

En relación a la madera, se estudia el % de corteza y la densidad básica de las 4 especies ensayadas, verificándose que *E. viminalis* es la especie de mayor % de corteza y densidad básica, mientras que *E. grandis* se correspondió con los valores más bajos, en cuanto a éstas 2 características de la madera.

En cuanto a las pastas se analizan las siguientes propiedades:

- Índice Kappa
- Rendimiento

A partir de las pastas obtenidas mediante el pulpeo experimental de la madera, se analizan las características físico-mecánicas del papel fabricado a una intensidad de refino de 10000 y 20000 vueltas. Las características del papel estudiadas fueron:

- Resistencia al rasgado
- Resistencia al estallido
- Largo de ruptura
- Porosidad

7. SUMMARY.

Physical-mechanical properties of paper were evaluated through pulps obtained by the kraft process from 4 species of Eucalypts: *E. grandis*, *E. dunnii*, *E. viminalis* and *E. badjensis*.

In relation to the wood, bark% and the basic density of the 4 rehearsed species were analyzed. The first level for these properties was occupied by *E. viminalis*; *E. grandis* was located in the last place.

As for the pulps the following properties were analyzed:

- Kappa number
- Yield

From the pulps obtained trough out the experimental pulping of the wood, the physical-mechanical characteristics of the manufactured paper were analyzed to a refine intensity of 10000 and 20000 turns. The paper characteristics were analyzed:

- Breaking lenght
- Burst index
- Tear index
- Porosity

8. BIBLIOGRAFIA

- 1) ARBUTHNOT, A.L.1991. The influence of basic wood density of *Eucalyptus* on pulp and paper properties. In IUFRO symposium of intensive forestry (1991, Durban, Australia). pp 966-975.
- 2) BARDANCA, A.; ECHEVERRÍA, R. 1991. Incidencia del almacenamiento de la madera de pino, sobre las propiedades físico-mecánicas de la pasta, mediante el proceso sulfito-neutro antraquinona. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía.74p.
- 3) BAKMAN, M.; GARCÍA DE LEÓN, J.P. 1998. Pulp and paper properties of four-year old *Eucalyptus* trees for early species selection. *Appita*. 52nd Appita Annual General Conference (Volumen 1): pp 7-14.
- 4) BHAT, K.M.; BHAT, K.V.; DHAMODARAN, T.K. 1988. Wood density and fiber length of *Eucalyptus grandis* grown in Kerala, India. *Wood and Fiber Science*. 22 (1): 54-61.
- 5) BUSTAMANTE, L.; SANTOS, J. A. 1983. Aptitudes de diferentes especies del género *Eucalyptus* como materia prima celulósica. Madrid, Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. 378 p.
- 6) CARRIQUIRY, J., 1993. Aptitud papelera en tres especies de *Eucalyptus* (*E. viminalis*, *E. globulus* y *ssp. maidennii*). Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía.66 p.
- 7) FAEDO, H..1979. Empleo de *Eucalyptus* en la fabricación de papel. In Simposio sobre pulpa de celulosa y papel. Cuaderno técnico 39 (LATU). pp 70-76.
- 8) FERRARI, G.1991. Indagine sulle caratteristiche del legno di alcune specie de eucaliitto. *Societa Agricola e Forestale* (1): 1-9.

- 9) GONÇALVES, C.; RUDOLF, T.; MANFREDI, V. 1996. Efeito da viscosidade nas propriedades físico-mecânicas de polpas branqueadas. Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel: 68-69.
- 10) LIBBY, E.; 1962. Ciencia y Tecnología sobre pulpa y papel (Tomo 1). 6^{ta} impresión. México, Editorial Continental. 534 p.
- 11) MARADEI, D.; REPETTI, R.; ZILLI, N., 1989. Eucalyptus dunnii. In 24 Congreso Técnico sobre celulosa y papel. (1989, Buenos Aires, Argentina). Asociación de Técnicos de la Industria Papelera y Celulósica Argentina. pp 95-108.
- 12) MARCÓ, M.A.; LÓPEZ, J. A. 1994. Performance of Eucalyptus grandis and Eucalyptus dunnii in the Mesopotamia región, Argentina. In Eucalyptus plantations: improving fibre yield and quality. IUFRO, Hobart. pp 40-44.
- 13) 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 183- 202.
- 14) REPETTI, R., 1987. Situación y aptitud celulósica del eucalipto en la Argentina. In Jornadas del Mes Forestal de Entre Ríos, (2^o, 1987, Entre Ríos, Argentina). Convenio Forestal INTA-INFONA. pp 1-8.
- 15) _____. 1990. Aptitud tecnológica de los eucalyptus: E. globulus, E. viminalis, E. saligna y E. grandis. In Jornadas sobre eucalyptus para la región pampeana (1990, Buenos Aires, Argentina). Centro de investigación de celulosa y papel (CICELPA). pp 220-229.
- 16) _____. 1992. Introducción a la tecnología de fabricación de pastas celulósicas. Buenos Aires, ATIPCA. 258 p.

- 17) REUTER, H.R., 1994. Madera de eucalipto para celulosa. In IX Jornadas Forestales de Entre Ríos (1994, Concordia, Argentina. INTA Concordia). Sección VII. pp 1 – 17.
- 18) RODRIGUEZ, J. 1970. Los controles en la fabricación del papel. Barcelona, editorial Blume. 359 p.
- 19) SILLY, J., ROMATIER, G., CHIODI, R. 1968. Méthodes pratiques de contrôle du raffinage. ATIP 22 (1):45-48.
- 20) SMOOK, G. A.1990.Manual para técnicos de pulpa y papel.Tappi.Georgia, Editorial Atlanta.396 p.
- 21) SORIA, L., 1979. Aptitud del *Eucalyptus grandis* como materia prima para la obtención de pastas celulósicas. Tesis Ing. Agr. Montevideo,Uruguay. Facultad de Agronomía. 69 p.
- 22) SPARNOCHIA, L. 1990. Estudio preliminar de la aptitud papelera de *Eucalyptus dunnii* comparado con *Eucalyptus grandis*. In Jornadas sobre *eucalyptus* para la región pampeana (1990, Buenos Aires, Argentina). CICELPA. pp 201-207.
- 23) TACCONI, R.A.; DE SUCATTE, S.; GARONE, M. J. 1978. Preparación y evaluación de pastas kraft, al sulfito neutro y semiquímico de diferentes especies de *Eucalyptus*.. In 14 Congreso Técnico sobre celulosa y papel. (1978,Buenos Aires, Argentina).CICELPA. pp 1-15.

9. ANEXOS

ANEXO N° 1. PROPORCION DE CORTEZA

Eucalyptus dunnii 17916. Arbol 7 Bloque 2

SECCION TRANSVERSAL	DIAMETROS CON CORTEZA(cm)	DIAMETROS PROMEDIO C/C (cm)	DIAMETRO SIN CORTEZA(cm)	DIAMETRO PROMEDIO S/C (cm)	% CORTEZA
6 (APICAL)	10.6-10.9	10.75	10-10	10	12.21
5	11.9-12.1	12	11-11.3	11.15	12.73
4	12.2-12.1	12.15	11.3-11.3	11.3	15.01
3	12.7-12.7	12.7	11.9-11.7	11.8	16.78
2	15.2-16	15.6	13.9-14.3	14.26	17.25
1(BASAL)	18.8-17.4	18.1	15.7-17	16.35	20.14

% CORTEZA PROMEDIO=15.68 X

Eucalyptus dunnii 17916. Arbol 9 Bloque 2

SECCION TRANSVERSAL	DIAMETROS CON CORTEZA(cm)	DIAMETROS PROMEDIO C/C (cm)	DIAMETRO SIN CORTEZA(cm)	DIAMETRO PROMEDIO S/C (cm)	% CORTEZA
6 (APICAL)	11.6-11.6	11.6	10.7-11.2	10.95	10.89
5	12.9-12.6	12.75	12.2-11.6	11.9	12.88
4	13.1-13	13.05	12.3-12.4	12.35	10.44
3	13.6-13.2	13.4	12.6-12.5	12.55	12.28
2	17.6-17.4	17.5	16.2-16	16.1	15.36
1(BASAL)	20.3-20.2	20.25	17.4-18	17.7	23.59

% CORTEZA PROMEDIO=14.24

Eucalyptus dunnii 18264. Arbol 7 Bloque 2

SECCION TRANSVERSAL	DIAMETROS CON CORTEZA(cm)	DIAMETROS PROMEDIO C/C (cm)	DIAMETRO SIN CORTEZA(cm)	DIAMETRO PROMEDIO S/C (cm)	% CORTEZA
6 (APICAL)	10.9-11.3	11.1	10.2-10.6	10.4	12.21
5	12.6-11.7	12.15	11.6-11.1	11.35	12.73
4	12.6-13	12.8	11.6-12	11.8	15.01
3	13-13.2	13.1	11.9-12	11.95	16.79
2	15.7-16.4	16.05	15-14.2	14.6	17.25
1(BASAL)	18.9-18.7	18.8	17-16.6	16.8	20.14

% CORTEZA PROMEDIO= 15.69

Eucalyptus dunnii 18264. Arbol 9 Bloque 2					
SECCION TRANSVERSAL	DIAMETROS CON CORTEZA(cm)	DIAMETROS PROMEDIO C/C (cm)	DIAMETRO SIN CORTEZA(cm)	DIAMETRO PROMEDIO S/C (cm)	% CORTEZA
6 (APICAL)	11.4-11.6	11.5	11-11	11	8.51
5	12.7-10.9	11.8	12.3-10.4	11.35	7.48
4	12.3-11.7	12	11.5-11.1	11.3	11.33
3	12.7-12.2	12.45	12.1-11.5	11.8	10.17
2	15.9-16.4	16.15	14.9-15.4	15.15	12
1(BASAL)	17.8-19	18.4	16-17.2	16.6	18.61
% CORTEZA PROMEDIO= 11.35					

Eucalyptus badjensis 16308. Arbol 10. Bloque 2					
SECCION TRANSVERSAL	DIAMETROS CON CORTEZA(cm)	DIAMETROS PROMEDIO C/C (cm)	DIAMETRO SIN CORTEZA(cm)	DIAMETRO PROMEDIO S/C (cm)	% CORTEZA
6 (APICAL)	11.6-11.1	11.35	11-10.5	10.75	10.29
5	12.1-12.3	12.2	11.5-11.8	11.65	8.81
4	12.6-13.2	12.9	12-12.8	12.4	7.61
3	13.5-13.4	13.45	12.6-12.8	12.7	10.84
2	17-17.1	17.05	16.1-15.9	16	11.94
1(BASAL)	18.5-18.7	18.6	17.2-17.2	17.2	14.49
% CORTEZA PROMEDIO=10.66					

Eucalyptus badjensis. 16308. Arbol 3 Bloque 2					
SECCION TRANSVERSAL	DIAMETROS CON CORTEZA(cm)	DIAMETROS PROMEDIO C/C (cm)	DIAMETRO SIN CORTEZA(cm)	DIAMETRO PROMEDIO S/C (cm)	% CORTEZA
6 (APICAL)	11.4-11.4	11.25	10.5-10.9	10.7	9.53
5	12.1-12.3	12.2	11.5-11.7	11.6	9.59
4	12.5-13	12.75	12-12.5	12.25	7.69
3	13.9-14.2	14.05	13.4-13.6	13.5	7.68
2	16.4-17	16.7	15.4-16.1	15.75	11.05
1(BASAL)	17.4-18.2	17.8	16-16.9	16.45	14.59
% CORTEZA PROMEDIO=10.02					

Eucalyptus badjensis 17018. Arbol 6. Bloque 3					
SECCION TRANSVERSAL	DIAMETROS CON CORTEZA(cm)	DIAMETROS PROMEDIO C/C (cm)	DIAMETRO SIN CORTEZA(cm)	DIAMETRO PROMEDIO S/C (cm)	% CORTEZA
6 (APICAL)	12-11.2	11.6	10.9	10.9	11.7
5	13.1-13	13.05	12.25	12.25	11.88
4	12.2-12.4	12.3	11.6	11.6	11
3	12.6-13.7	13.16	12.1-12.9	12.5	9.77
2	16.4-17	16.7	15.2-16.1	15.65	12.17
1(BASAL)	19-18.1	18.55	17.2-16.2	16.7	18.95
% CORTEZA PROMEDIO= 12.57					

Eucalyptus badjensis 17018. Arbol 2. Bloque 3					
SECCION TRANSVERSAL	DIAMETROS CON CORTEZA(cm)	DIAMETROS PROMEDIO C/C (cm)	DIAMETRO SIN CORTEZA(cm)	DIAMETRO PROMEDIO S/C (cm)	% CORTEZA
6 (APICAL)	11.6-11.7	11.65	11.1-11	11.05	10
5	12.3-12.3	12.25	11.7-11.6	11.65	9.5
4	13.5-13.2	13.35	12.6-12.6	12.6	10.9
3	14-13.9	13.95	13.1-13.3	13.2	10.46
2	16.1-17.1	16.73	15.7-16.2	15.96	9
1(BASAL)	18.4-18.2	18.3	17.4-16.2	16.8	15.72
% CORTEZA PROMEDIO=10.92					

Eucalyptus grandis 18273. Arbol 6. Bloque 2					
SECCION TRANSVERSAL	DIAMETROS CON CORTEZA(cm)	DIAMETROS PROMEDIO C/C (cm)	DIAMETRO SIN CORTEZA(cm)	DIAMETRO PROMEDIO S/C (cm)	% CORTEZA
6 (APICAL)	11.3-12.2	11.75	11.9-11	11.45	5.04
5	11.6-12.3	11.95	11.2-11.9	11.55	6.58
4	12.55-12.55	12.55	12.3-12.3	12.3	3.94
3	13.3-13	13.15	12.8-12.6	12.7	6.73
2	16.6-16.5	16.55	15.6-15.7	15.65	10.19
1(BASAL)	18.1-18.2	18.15	16.1-16.5	16.3	19.35
% CORTEZA PROMEDIO=8.64					

Eucalyptus grandis 18273. Arbol 8. Bloque 2					
SECCION TRANSVERSAL	DIAMETROS CON CORTEZA(cm)	DIAMETROS PROMEDIO C/C (cm)	DIAMETRO SIN CORTEZA(cm)	DIAMETRO PROMEDIO S/C (cm)	% CORTEZA
6 (APICAL)	11.5-11	11.25	11.2-10.75	11.97	4.83
5	11.7-11.8	11.75	11.4-11.4	11.4	5.87
4	12.6-12.2	12.4	12.2-11.8	12	6.34
3	12.7-12.5	12.6	12.3-12.2	12.25	5.48
2	16-15.7	15.85	15.3-15	15.15	8.64
1(BASAL)	17.5-17.2	17.35	15.6-15.2	15.4	21.22
% CORTEZA PROMEDIO= 8.73					

Eucalyptus grandis 18180. Arbol 5. Bloque 3					
SECCION TRANSVERSAL	DIAMETROS CON CORTEZA(cm)	DIAMETROS PROMEDIO C/C (cm)	DIAMETRO SIN CORTEZA(cm)	DIAMETRO PROMEDIO S/C (cm)	% CORTEZA
6 (APICAL)	11.65-11	11.33	11.4-10.85	11.13	3.5
5	12.4-12.6	12.5	11.8-12	11.9	9.3
4	13.8-12.8	12.8	12.9-12.3	12.6	3.1
3	14.1-13.5	13	13-13.7	13.35	6.7
2	18.8-17.9	17.5	17.5-16.6	17.05	13.66
1(BASAL)	20.1-21.5	18.3	18.3-19.9	19.1	15.67
% CORTEZA PROMEDIO=8.6					

Eucalyptus grandis 18180. Arbol 6. Bloque 3					
SECCION TRANSVERSAL	DIAMETROS CON CORTEZA(cm)	DIAMETROS PROMEDIO C/C (cm)	DIAMETRO SIN CORTEZA(cm)	DIAMETRO PROMEDIO S/C (cm)	% CORTEZA
6 (APICAL)	12.6-11.2	11.9	12-10.7	11.35	9
5	12.25-12.3	12.25	11.8-11.8	11.8	7.2
4	12.1-13.4	12.25	12.8-11.8	12.3	6.9
3	13.4-13	13.2	13-12.7	12.85	5.2
2	16.8-17	16.9	15.7-15.6	15.75	13.14
1(BASAL)	19.9-20.8	20.35	17.1-17.2	17.15	28.9
% CORTEZA PROMEDIO=11.7					

Eucalyptus viminalis 14512. Arbol 3. Bloque 2

SECCION TRANSVERSAL	DIAMETROS CON CORTEZA(cm)	DIAMETROS PROMEDIO C/C (cm)	DIAMETRO SIN CORTEZA(cm)	DIAMETRO PROMEDIO S/C (cm)	% CORTEZA
6 (APICAL)	11.6-11.2	11.4	11.1-10.8	10.95	7.74
5	11.8-12.3	12.05	11.1-11.6	11.35	11.28
4	13-12.6	12.8	11.9-12.2	12.05	11.37
3	13.2-13.3	13.25	12.5-12.6	12.55	10.29
2	16.1-16.2	16.15	15-15.1	15.05	13.16
1(BASAL)	19.1-20.5	19.8	16.8-18.5	17.65	20.54
% CORTEZA PROMEDIO= 12.4					

Eucalyptus viminalis 14512. Arbol 9. Bloque 3

SECCION TRANSVERSAL	DIAMETROS CON CORTEZA(cm)	DIAMETROS PROMEDIO C/C (cm)	DIAMETRO SIN CORTEZA(cm)	DIAMETRO PROMEDIO S/C (cm)	% CORTEZA
6 (APICAL)	10.8-10.7	10.75	10.1-10.2	10.15	10.85
5	12.1-12.2	12.15	11.7-11.6	11.65	8.06
4	11.9-12	11.95	11.4-11.5	11.45	8.19
3	12.8-12.5	12.65	11.9-11.9	11.9	11.5
2	16.4-15.7	16.05	14.9-14.1	14.5	18.38
1(BASAL)	19.1-19.5	19.3	17-17.1	17.05	21.96
% CORTEZA PROMEDIO= 13.16					

Eucalyptus viminalis 11746. Arbol 6. Bloque 2

SECCION TRANSVERSAL	DIAMETROS CON CORTEZA(cm)	DIAMETROS PROMEDIO C/C (cm)	DIAMETRO SIN CORTEZA(cm)	DIAMETRO PROMEDIO S/C (cm)	% CORTEZA
6 (APICAL)	10.4-11.7	11.05	10-11.3	10.65	7.11
5	13.1-11.9	12.5	11.9-11	11.45	16.09
4	13.4-12.7	13.05	11.5-12.5	12	15.44
3	14.3-13.1	13.7	13.1-12	12.55	16.08
2	16.3-17.8	17.05	14.9-16.3	15.6	16.29
1(BASAL)	18.4-19.3	18.85	17.4-16	16.7	21.51
% CORTEZA PROMEDIO= 15.42					

Eucalyptus viminalis 11746. Arbol 2.Bloque 2

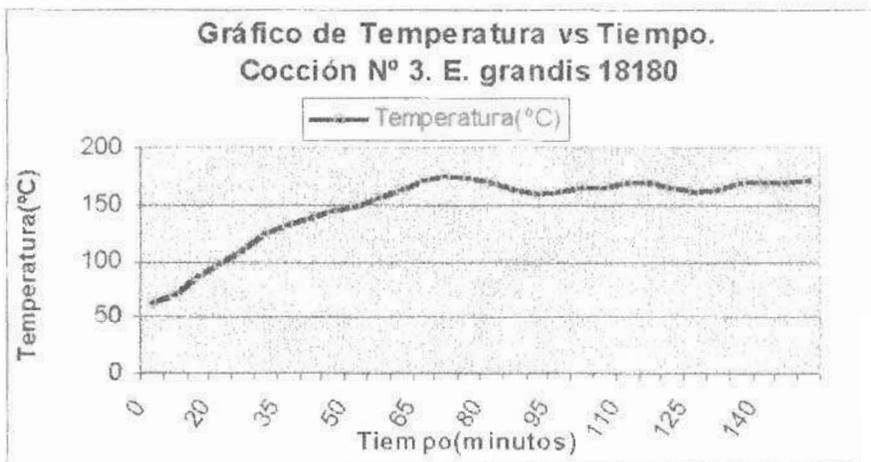
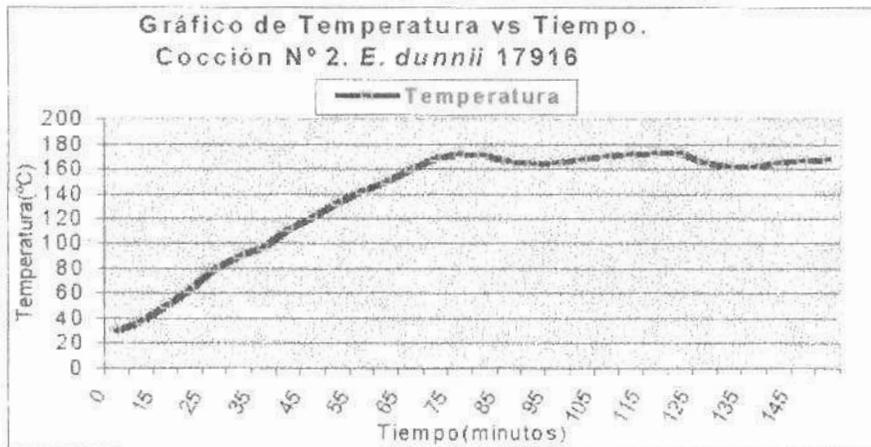
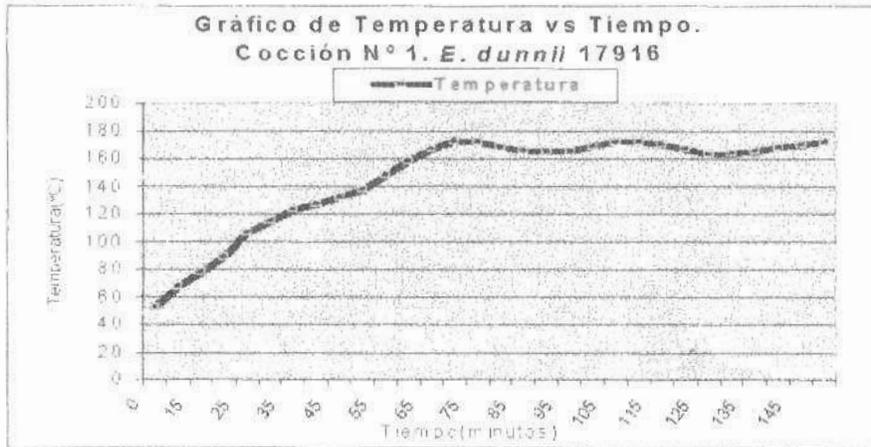
SECCION TRANSVERSAL	DIAMETROS CON CORTEZA(cm)	DIAMETROS PROMEDIO C/C (cm)	DIAMETRO SIN CORTEZA(cm)	DIAMETRO PROMEDIO S/C (cm)	% CORTEZA
6 (APICAL)	11.4-12	11.7	10.9-11.6	11.25	7.54
5	12.2-12.6	12.4	11.6-11.6	11.6	12.49
4	12.5-13.9	13.2	11.9-12.1	12	17.35
3	14.1-13.8	13.95	13.1-12.5	12.8	15.81
2	16.5-17.1	16.8	15.5-14.9	15.2	18.14
1(BASAL)	17.6-18.05	18.05	15.4-15.9	15.65	24.82
					% CORTEZA PROMEDIO= 16.03

ANEXO Nº 2. DENSIDAD BASICA

CODIGO	ARBOL	TROZA	P. VERDE(g)	P.SECO (g)	DENSIDAD (g/cm ³)	MEDIA(g/cm ³)
B16308	3	1	1,93	0,79	0,48	0,46
B16308	3	2	1,45	0,55	0,44	
B16308	3	3	2,22	0,9	0,47	
B16308	10	1	1,81	0,68	0,43	
B16308	10	2	1,30	0,53	0,47	
B16308	10	3	1,60	0,65	0,47	
B17018	2	1	2,13	0,78	0,42	0,42
B17018	2	2	1,64	0,56	0,39	
B17018	2	3	1,90	0,69	0,42	
B17018	6	1	1,69	0,67	0,46	
B17018	6	2	1,68	0,59	0,40	
B17018	6	3	1,44	0,53	0,42	
D17916	7	1	1,45	0,48	0,37	0,43
D17916	7	2	1,41	0,49	0,40	
D17916	7	3	1,38	0,5	0,41	
D17916	9	1	1,94	0,88	0,54	
D17916	9	2	2,00	0,75	0,43	
D17916	9	3	1,29	0,5	0,45	
D18264	7	1	1,28	0,53	0,48	0,45
D18264	7	2	1,37	0,56	0,48	
D18264	9	3	1,37	0,55	0,47	
D18264	9	1	1,53	0,54	0,40	
D18264	9	2	1,31	0,48	0,42	
D18264	9	3	1,34	0,5	0,43	
G18180	5	1	1,82	0,81	0,53	0,46
G18180	5	2	1,12	0,39	0,40	
G18180	5	3	1,93	0,73	0,44	
G18180	6	1	1,66	0,61	0,42	
G18180	6	2	2,01	0,71	0,40	
G18180	6	3	1,25	0,58	0,55	
G18273	6	1	1,80	0,64	0,41	0,40
G18273	6	2	1,84	0,64	0,40	
G18273	6	3	0,94	0,36	0,44	
G18273	8	1	1,67	0,56	0,38	
G18273	8	2	1,51	0,49	0,37	
G18273	8	3	1,95	0,68	0,40	
V11746	2	1	1,96	0,82	0,49	0,49
V11746	2	2	1,35	0,53	0,45	
V11746	2	3	1,88	0,88	0,56	

CODIGO	ARBOL	TROZA	P. VERDE	P. SECO	DENSIDAD	MEDIA
V11746	6	1	1,96	0,77	0,45	
V11746	6	2	1,53	0,69	0,53	
V11746	6	3	1,74	0,69	0,46	
V14512	5	1	1,96	0,75	0,44	0,45
V14512	5	2	1,39	0,54	0,45	
V14512	5	3	1,49	0,6	0,47	
V14512	9	1	1,89	0,71	0,43	
V14512	9	2	1,48	0,57	0,44	
V14512	9	3	1,65	0,65	0,46	

ANEXO N° 3. CURVAS DE COCCION.



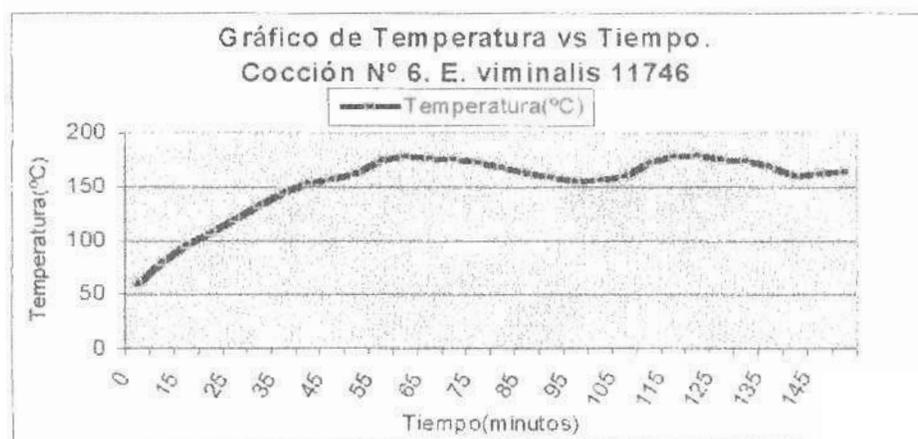
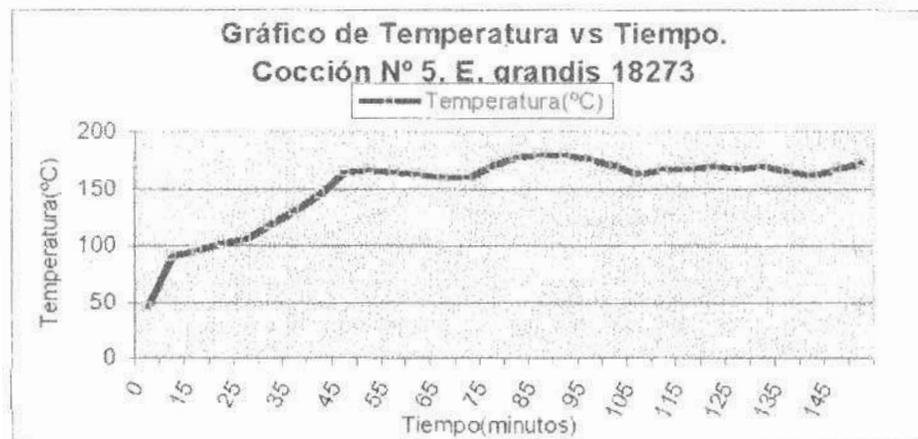
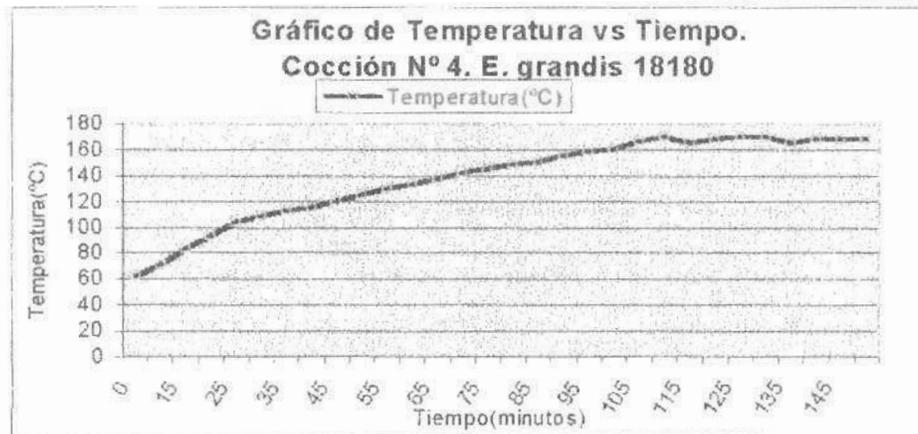


Gráfico de Temperatura vs Tiempo.
Cocción N° 7. E. viminalis 11746

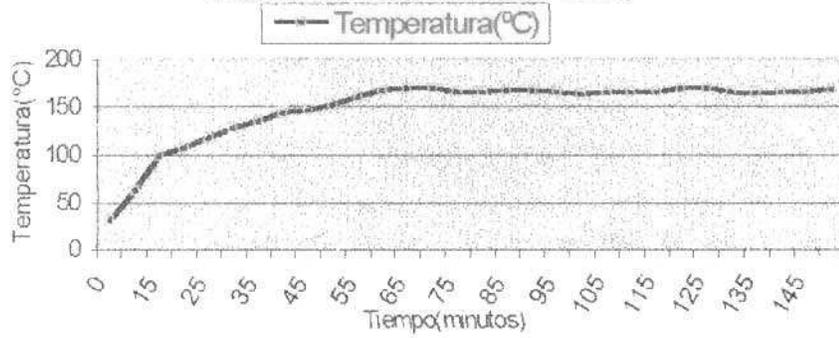


Gráfico de Temperatura vs Tiempo.
Cocción N° 8. E. viminalis 14512

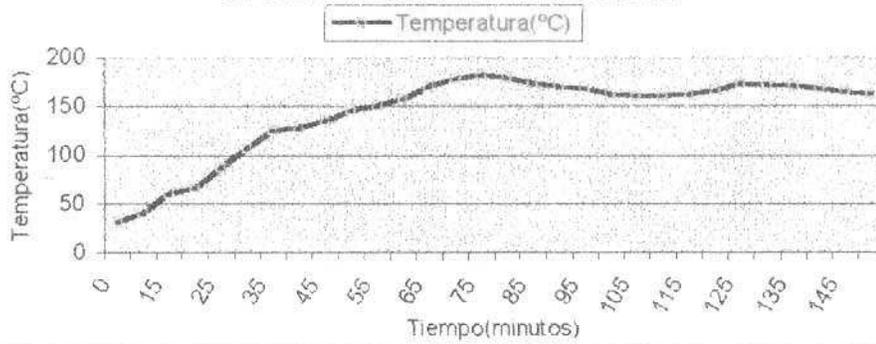
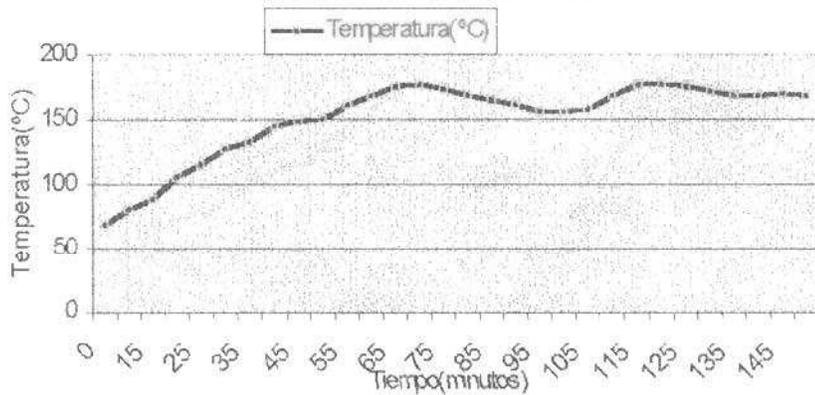
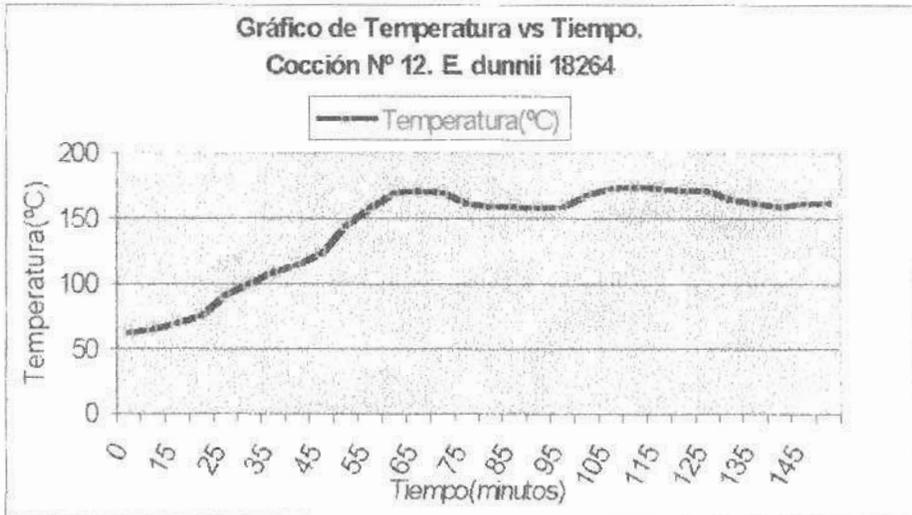
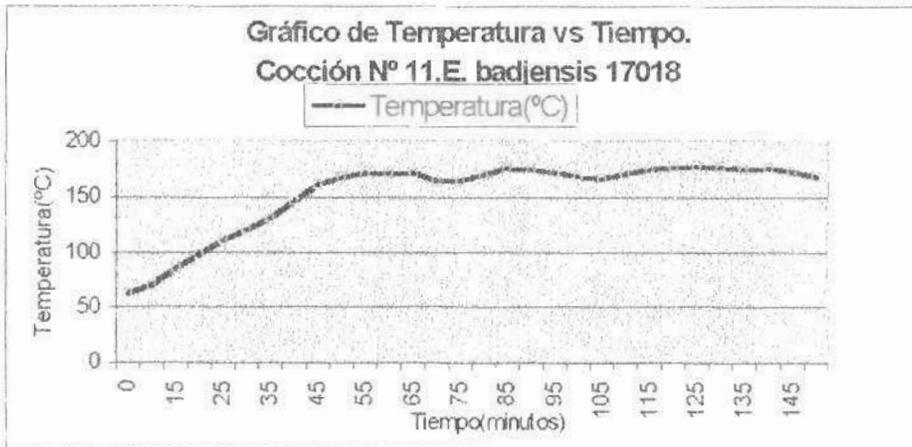
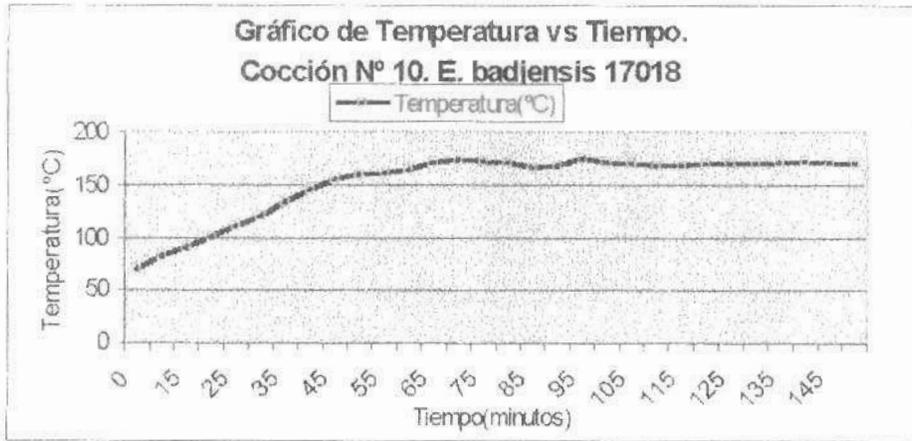


Gráfico de Temperatura vs Tiempo.
Cocción N° 9. E. viminalis 14512





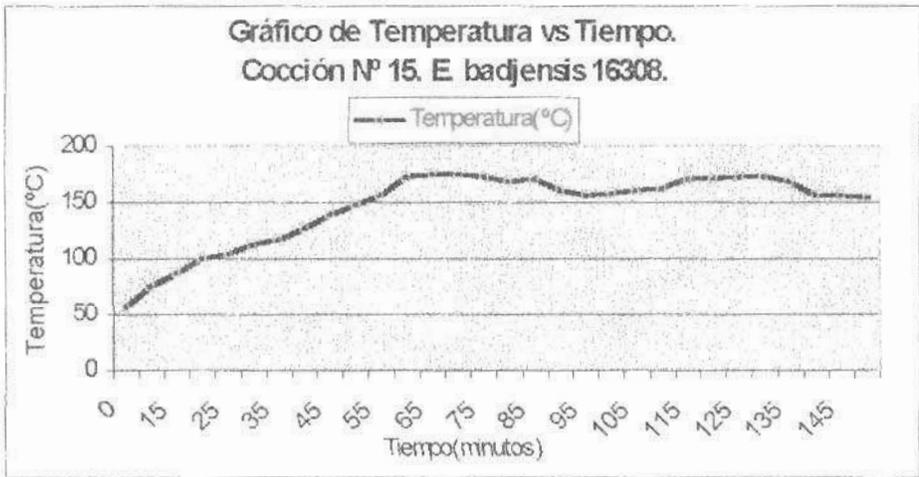
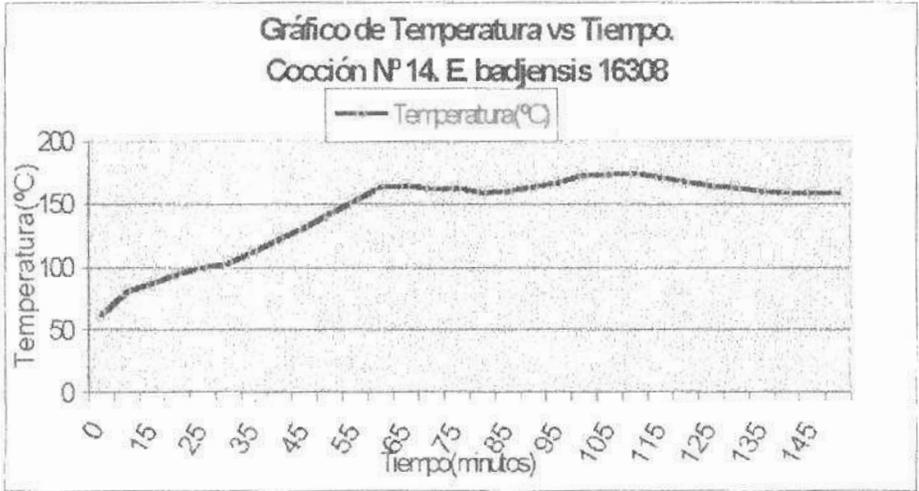
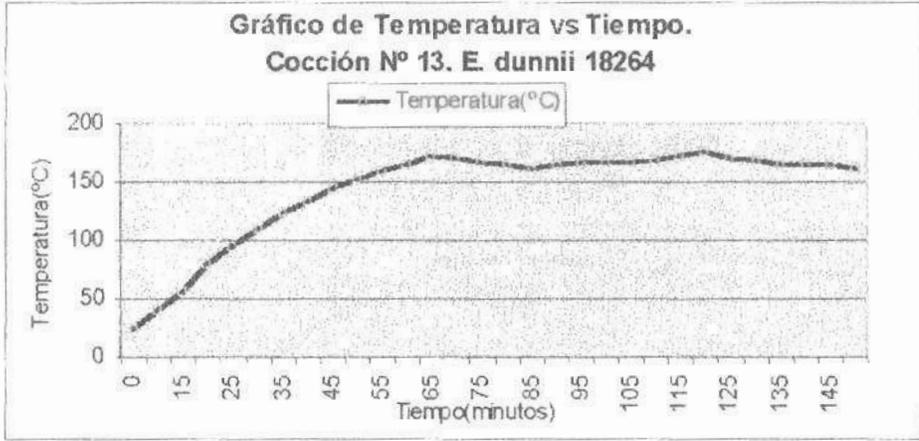
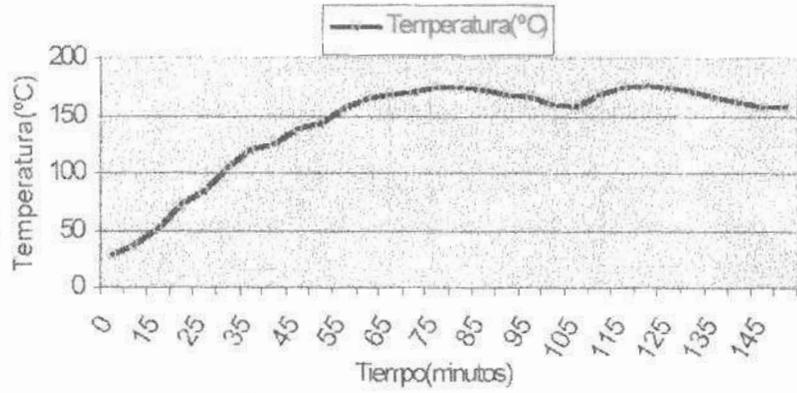


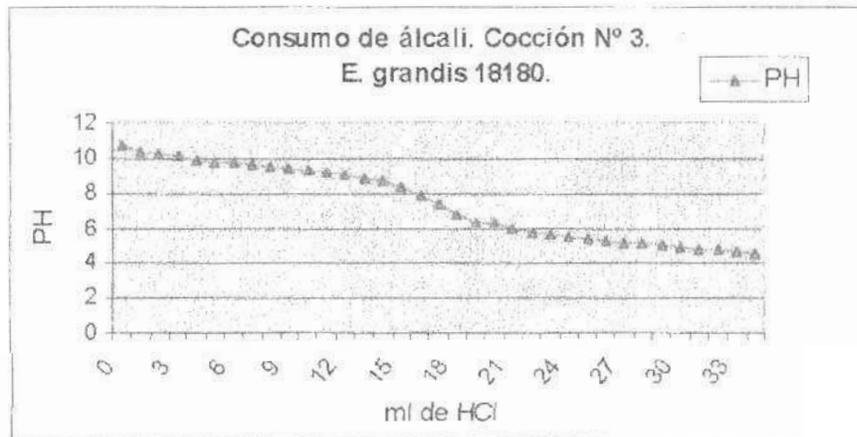
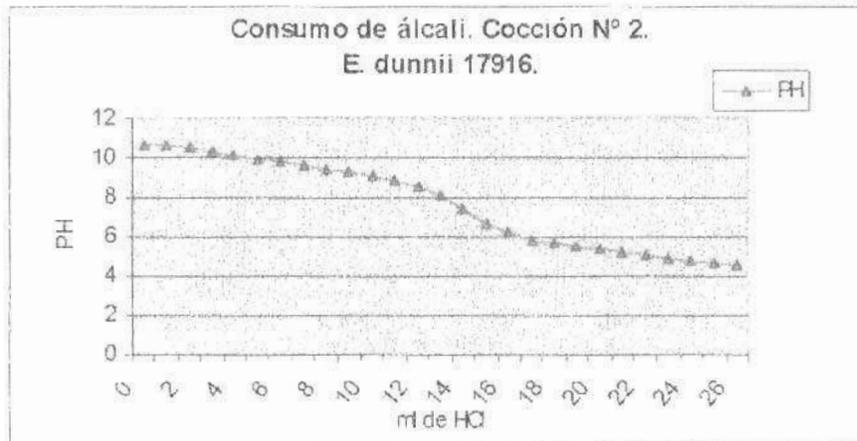
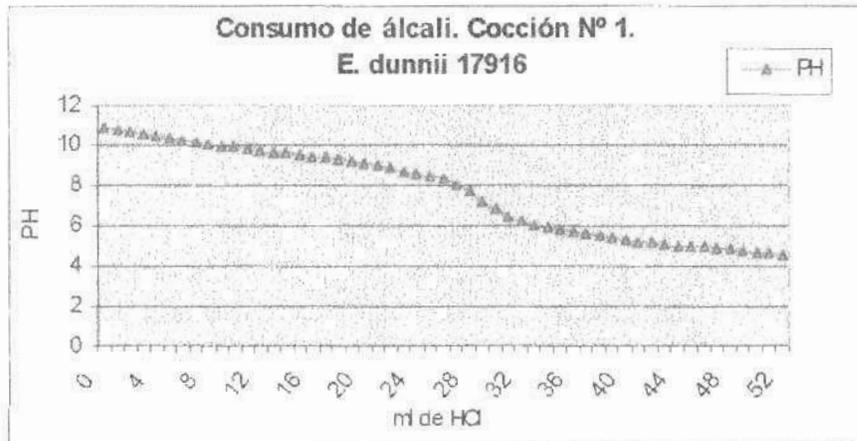
Gráfico de Temperatura vs Tiempo.
Cocción Nº 16. E. grandis 18273

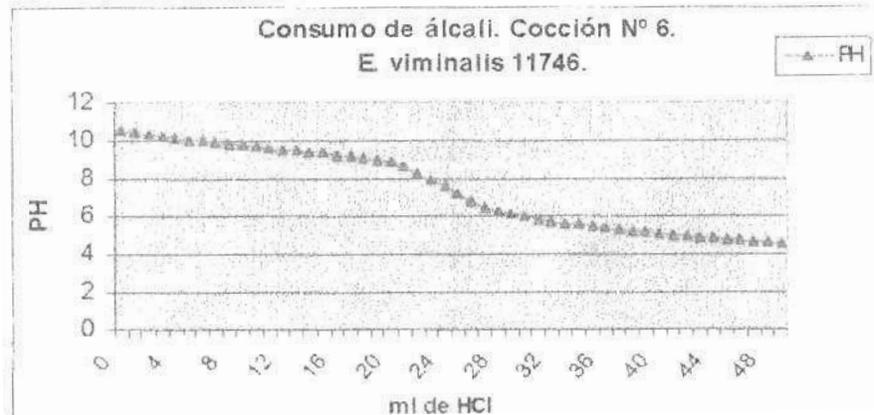
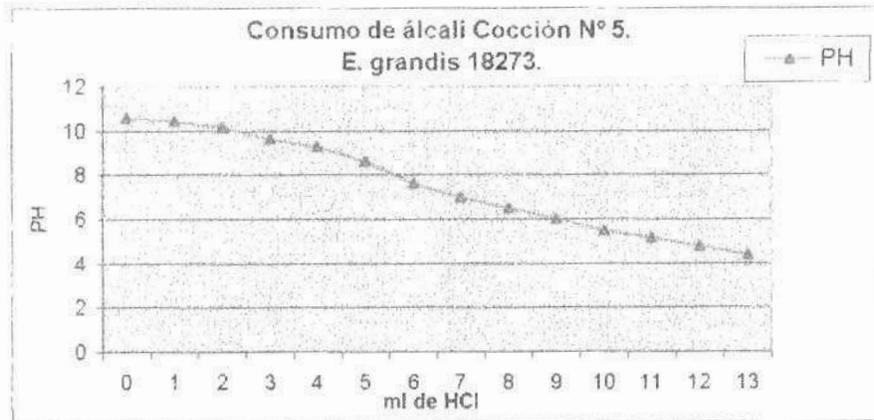
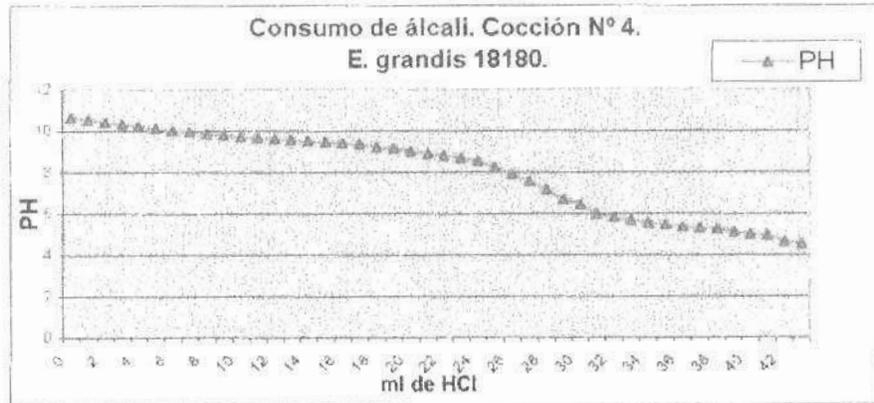


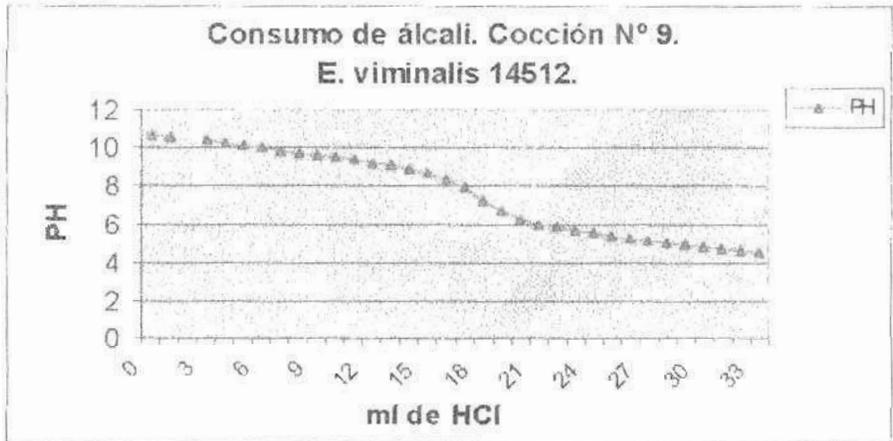
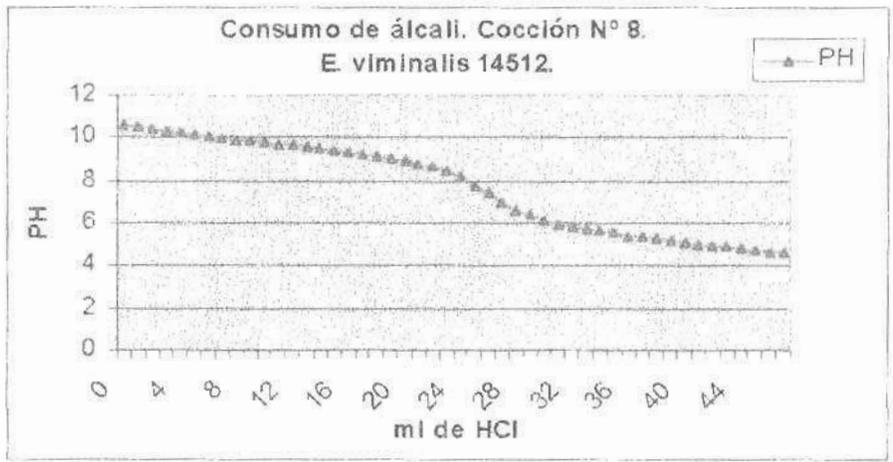
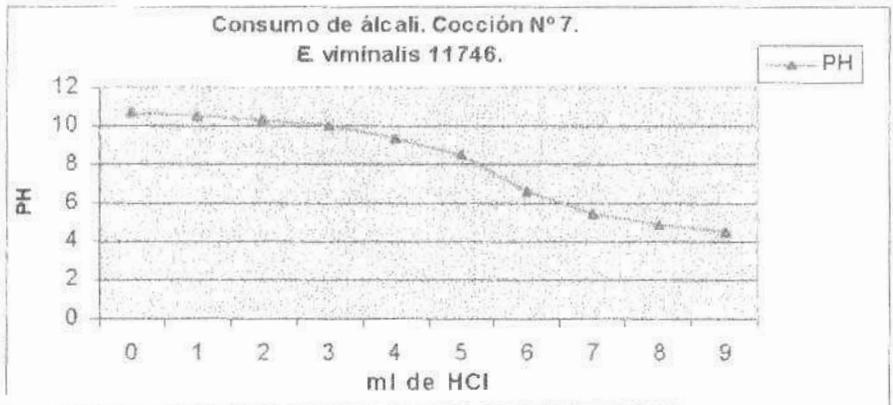
ANEXO N° 4. ALCALI RESIDUAL Y N° KAPPA.

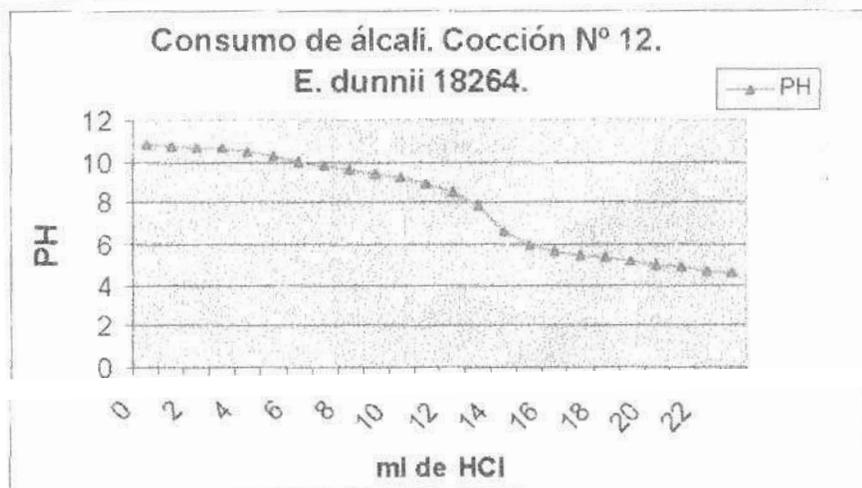
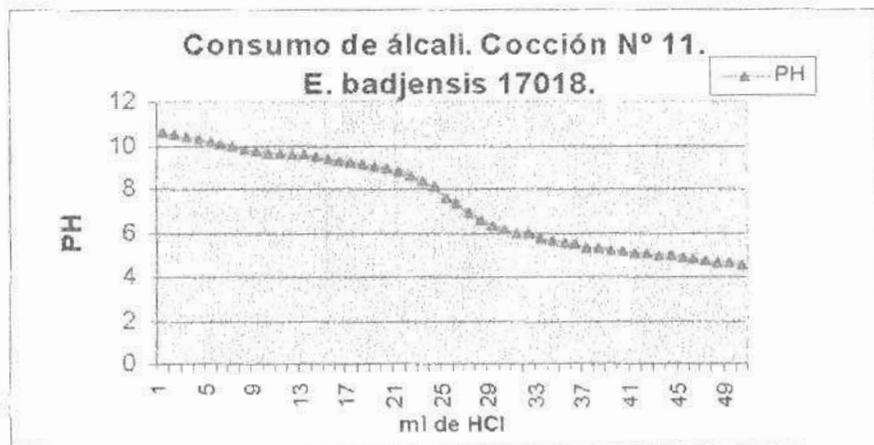
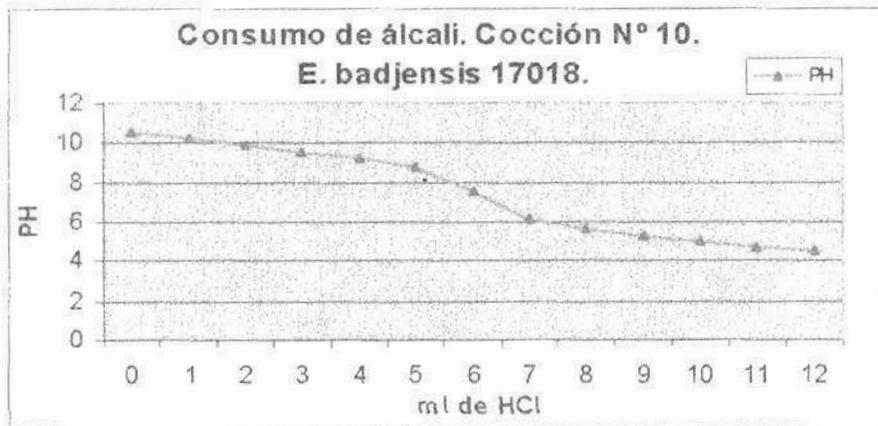
Origen	Cocción	Alcalinidad(g/lt)	Kappa
<i>E. grandis</i> 18180	3	12.8	21
<i>E. grandis</i> 18180	4	20	22.1
<i>E. grandis</i> 18273	5	4.8	19.4
<i>E. grandis</i> 18273	16	3.2	21.1
<i>E. viminalis</i> 14512	8	18.4	19.3
<i>E. viminalis</i> 14512	9	12.8	18.9
<i>E. viminalis</i> 11746	6	18.4	19.4
<i>E. viminalis</i> 11746	7	4	22.8
<i>E. badjensis</i> 17018	10	4.8	18.7
<i>E. badjensis</i> 17018	11	19.2	19.3
<i>E. badjensis</i> 16308	14	6.4	19.6
<i>E. badjensis</i> 16308	15	3.2	18.7
<i>E. dunnii</i> 18264	12	10.4	20.4
<i>E. dunnii</i> 18264	13	6.4	19.2
<i>E. dunnii</i> 17916	1	20.8	19.6
<i>E. dunnii</i> 17916	2	11.2	21.9

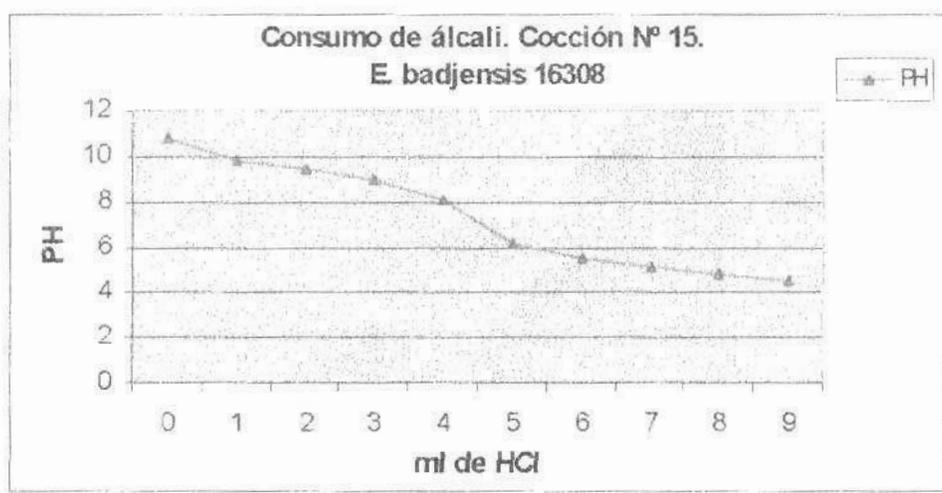
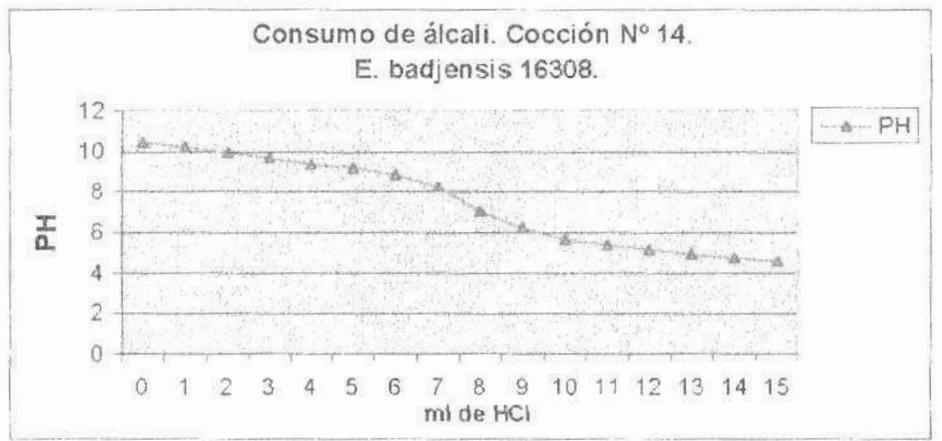
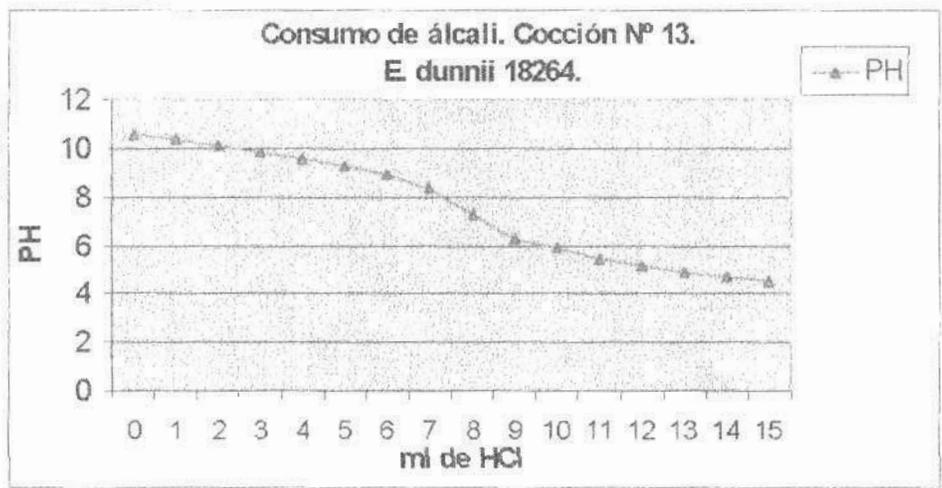
ANEXO N° 5. CONSUMO DE LICOR



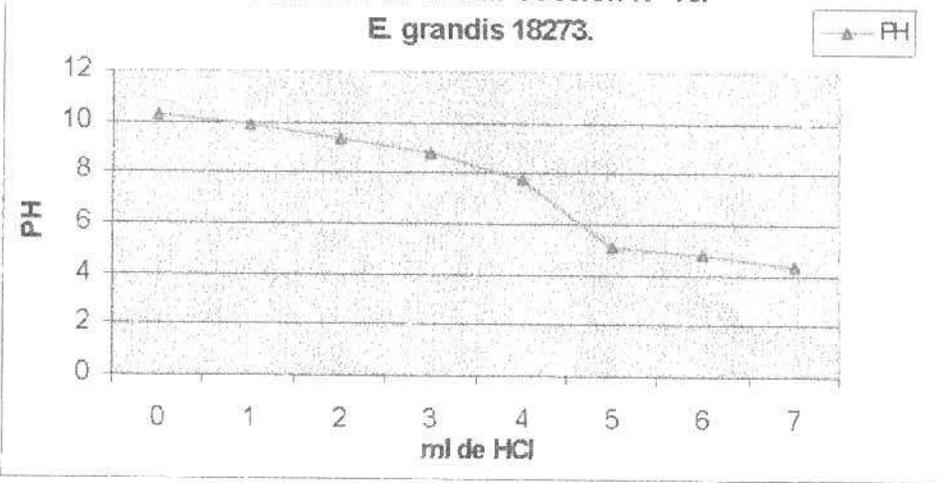








Consumo de álcali. Cocción N° 16.
E. grandis 18273.



ANEXO N° 6. PROPIEDADES PAPELERAS

INDICE DE RASGADO

Origen	Cocc.	Rasgado(mNm ² /gr)		Nivel de drenaje(°SR)		Gramaje (g/m ²)	
		10000 vueltas	20000 vueltas	10000 vueltas	20000 vueltas	10000 vueltas	20000 vueltas
E. grandis 18180	3	8.82	8.98	34	40	57.8	52.4
E. grandis 18180	4	6.51	7.80	29	44	54.2	60.4
E. grandis 18273	5	7.57	8.58	34	43	62.2	64
E. grandis 18273	16	8.02	6.11	31	38	58.7	57.8
E. viminalis 14512	8	6.21	4.82	33	36	56.9	56.9
E. viminalis 14512	9	7.36	7.57	32	39	58.7	62.2
E. viminalis 11746	6	6.06	6.47	28	36	51.8	51.2
E. viminalis 11746	7	6.11	6.30	28	37	57.8	49.8
E. badjensis 17018	10	9.65	7.65	31	38	56.9	66.7
E. badjensis 17018	11	7.60	4.9	33	38	51.6	56
E. badjensis 16308	14	6.58	7.24	30	34	59.6	56.9
E. badjensis 16308	15	7.71	7.58	31	36	56	56.9
E. dunnii 18264	12	6.51	6.31	33	41	54.2	56
E. dunnii 18264	13	7.84	6.68	30	41	55.1	58.7
E. dunnii 17916	1	5.34	6.44	29	41	58.7	57.8
E. dunnii 17916	2	7.07	5.85	31	40	61.3	60.4

LARGO DE RUPTURA.

Origen	Cocc.	Largo de ruptura(m)		Gramaje (g/m ²)		°SR	
		10000 vueltas	20000 vueltas	10000 vueltas	20000 vueltas	10000 vueltas	20000 vueltas
E. grandis 18180	3	7174	9186	57.8	52.4	34	40
E. grandis 18180	4	7749	9735	54.2	60.4	29	44
E. grandis 18273	5	9218	11104	62.2	64	34	43
E. grandis 18273	16	8631	9366	58.7	57.8	31	38
E. viminalis 14512	8	8764	7311	56.9	56.9	33	36
E. viminalis 14512	9	8132	9175	58.7	62.2	32	39
E. viminalis 11746	6	7465	8705	51.8	51.2	28	36
E. viminalis 11746	7	6644	7068	57.8	49.8	28	37
E. badjensis 17018	10	7682	10076	56.9	66.7	31	38
E. badjensis 17018	11	9147	10146	51.6	56	33	38
E. badjensis 16308	14	6219	9115	59.6	56.9	30	34
E. badjensis 16308	15	8071	8786	56	56.9	31	36
E. dunnii 18264	12	8930	9667	54.2	56	33	41
E. dunnii 18264	13	8542	9177	55.1	58.7	30	41
E. dunnii 17916	1	7041	7382	58.7	57.8	29	41
E. dunnii 17916	2	6199	7616	61.3	60.4	31	40

POROSIDAD

Origen	Cocc.	Porosidad (seg/100 cm ³)		°SR		Gramaje (g/m ²)	
		10000 vueltas	20000 vueltas	10000 vueltas	20000 vueltas	10000 vueltas	20000 vueltas
E. grandis 18180	3	4	7	34	40	57.8	52.4
E. grandis 18180	4	4	8	29	44	54.2	60.4
E. grandis 18273	5	8	10	34	43	62.2	64
E. grandis 18273	16	4	10	31	38	58.7	57.8
E. viminalis 14512	8	4	8	33	36	56.9	56.9
E. viminalis 14512	9	4	7	32	39	58.7	62.2
E. viminalis 11746	6	2	3	28	36	51.8	51.2
E. viminalis 11746	7	2	3	28	37	57.8	49.8
E. badjensis 17018	10	6	9	31	38	56.9	66.7
E. badjensis 17018	11	5	4	33	38	51.6	56
E. badjensis 16308	14	3	5	30	34	59.6	56.9
E. badjensis 16308	15	4	7	31	36	56	56.9
E. dunnii 18264	12	2	3	33	41	54.2	56
E. dunnii 18264	13	2	5	30	41	55.1	58.7
E. dunnii 17916	1	3	5	29	41	58.7	57.8
E. dunnii 17916	2	2	7	31	40	61.3	60.4