

EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE *E. globulus* Y *E. maidenii* DE PLANTACIONES URUGUAYAS PARA PULPA DE CELULOSA.

Javier Doldán
Departamento Proyectos Forestales
LATU - URUGUAY
jdoldan@latu.org.uy
www.latu.org.uy

- RESUMEN:

En este trabajo se resume la información recabada por el Departamento de Proyectos Forestales de LATU sobre la aptitud pulpable de la madera de *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus maidenii* con finalidad comercial, disponible en el Uruguay al 2006. Se establecen características, se discuten posibilidades de mejora en la calidad y su potencial. Las propiedades relevadas son “Densidad aparente básica de las maderas”, “Rendimientos de Celulosa en cocción Kraft” y “Consumo de madera para 1 Tonelada de pulpa”.

- INTRODUCCIÓN:

El sector forestal uruguayo es una de las áreas productivas de mayor crecimiento en los últimos años, habiéndose constatado un incremento significativo en las exportaciones en el último lustro y particularmente en madera con destino a celulosa desde U\$S40: en el 2001 hasta los U\$S117: al 2005 ⁽¹⁾ acumulado en rollos y chips. Este incremento se debe en gran parte a que se ha llegado, a la fecha, a una masa forestal madura que ha permitido un aumento en la exportación de rollos y mediante la instalación de tres plantas de astillado que a partir del 2003, ha logrado acceder a mercados importantes como el japonés y el europeo con un producto de mayor valor agregado. El paso siguiente de la industrialización es la transformación de la madera en fibras lo cual será una realidad para fines del 2007. La producción de madera con destino a pulpa de celulosa de fibra corta tiene sustento en las plantaciones de Eucalipto, con un área total de 480.000 ha. Las especies más importantes destinadas a la producción de pulpa de celulosa son el *Eucalyptus globulus* con 270.000 ha plantadas las cuales se encuentran en un 43% en la zona sur del país, el *Eucalyptus grandis* con 150.000 ha y otras especies como el *Eucalyptus dunii*, *Eucalyptus maidenii* o el *Eucalyptus viminalis* que representan en su conjunto un 9 % del total.

El *E. globulus* es la materia prima de mejor aprovechamiento o con el mejor rendimiento y calidad de fibra corta resultante en los procesos de pulpeo utilizados mundialmente. Sin embargo, existen condiciones externas que influyen en el rendimiento silvicultural como el clima y sitio (suelo) de plantación que puede afectar la calidad de la madera a obtener. Por este motivo, existe una sectorización de las plantaciones de las diferentes especies de Eucalipto

buscando convenientemente las condiciones que maximicen los parámetros de crecimiento y sanidad. Las plantaciones de *E. globulus* se acumulan mayoritariamente en el sur, sur-este del país mientras que las de *E. maidenii* se adapta de mejor forma en zonas del centro y litoral oeste presentando crecimientos interesantes y buena sanidad.

Las proyecciones de consumo interno de madera generadora de fibra corta son alentadoras, la planta de celulosa de Botnia en primera instancia consumirá *E. grandis* y *E. dunii* produciendo 1:000.000 ton/año de pulpa de celulosa blanqueada. De todas formas, las exportaciones de rollos y chips con destino pulpable seguirán captando *E. globulus* y *E. maidenii*.

Se han estudiado las propiedades pulpables y papeleras de plantaciones de las especies de Eucalipto plantadas en el territorio nacional, por lo antes expresado, en este caso se presentan los resultados para:

- *Eucalyptus globulus ssp. globulus*
- *Eucalyptus maidenii*

El Área de Celulosa del Departamento de Proyectos Forestales del LATU ha generado importante información técnica sobre la calidad de madera para pulpa de celulosa. Esto se ha llevado a cabo mediante estudios de investigación, caracterización del material forestal en el marco de actividades con Grupos de Trabajos mixtos (industria, gremiales e institutos de investigación) y servicios técnico analítico a empresas. Se estudiaron las propiedades de las maderas con destino pulpable determinando los siguientes parámetros de calidad:

- **Densidad Aparente básica**
- **Rendimiento pulpable a Kappa 20 por proceso Kraft**
- **Consumo de madera para pulpa m³/t celulosa**

El proceso Kraft utilizado, consiste en la digestión de los chips de madera a presión y temperaturas elevadas en un licor llamado “licor blanco” que consta de hidróxido de sodio (NaOH), Sulfuro de sodio (Na₂S) y agua. El cometido de esta cocción es disolver la lignina componente de la madera (cementante natural) y propiciar de esta manera la separación de las fibras de celulosa. Es importante reseñar que las tecnologías disponibles en este proceso han evolucionado desde el proceso batch al continuo y utilizando el licor resultante (“licor negro”) rico en hidrocarburos para generar energía en calderas y recuperar los químicos utilizados. Esto ha redundado en procesos cada vez más cerrados y por lo tanto menos contaminantes de efluentes. A demás los absorbedores de gases (olores) han llevado a que las plantas de celulosa modernas no sean inconvenientes para la convivencia con los habitantes de ciudades cercanas.

METODOLOGÍA GENERAL:

1) Preparación y acondicionamiento de la muestra:

La muestra se compone de chips de madera, donde se tiene en cuenta la cantidad mínima necesaria a preparar para cada cocción y el contenido de humedad por duplicado.

Acondicionamiento de muestra: para inhibir el ataque de hongos, los chips no pueden exceder un contenido de humedad de 19%. En caso de constatarse un nivel mayor de humedad, se secan en estufa entre 60 a 70°C por aproximadamente dos horas o se dejan secar al aire bajo techo el tiempo necesario.

Clasificación de chips y muestra final: la muestra definitiva debe ser previamente tamizada durante 5 minutos en clasificador de chips conteniendo tamices de abertura circular: 29 y 10 mm. Se seleccionan los chips que quedan entre éstos dos tamices y se rechazan los restantes.

2) Propiedades Físicas de la madera: la relación entre la productividad y rendimiento de la madera de Eucalyptus depende entre otras propiedades de la densidad aparente que esta posea es de suma importancia. Por esta razón se prioriza la determinación de dicha propiedad como la más importante por su influencia directa tanto en el rendimiento real como económico.

Densidad aparente básica (Dab): se determina según técnica LATU basada en Normas Tappi T254 y ASTM 2395.

La densidad aparente básica se mide en discos o en chips obteniendo la relación entre el peso anhidro y el volumen en estado verde. Al tratarse de probetas con formas irregulares, la determinación del volumen es realizada mediante el método inmersión en agua.

3) Digestión de chips por proceso Kraft:

La cocción de chips de madera con licor a base de NaOH y Na₂S (licor blanco) se lleva a cabo en digestores batch rotatorios, donde se eleva la temperatura gradualmente hasta alcanzar una temperatura máxima, la cual se mantiene por un tiempo determinado. En el proceso de cocción, junto con la remoción de la lignina tienen lugar reacciones con la celulosa y las hemicelulosas que producen una degradación de las mismas. Es deseable entonces utilizar condiciones de cocción que produzcan el mayor rendimiento de celulosa con la menor degradación posible.

Licor de cocción: para el del proceso Kraft, el “licor blanco” se obtiene disolviendo completamente NaOH y Na₂S en H₂O. Los parámetros que determinan la concentración de dicho licor y relación entre los químicos utilizados (Sulfidez), los

cuales son importantes para la performance del mismo en la digestión.

Análisis de licor de cocción: Se calcula mediante titulación, los siguientes parámetros:

Álcali efectivo AA = NaOH + ½ Na₂S expresado como g/l de Na₂O

Álcali activo AE = NaOH + Na₂S expresado como g/l de Na₂O

Sulfidez SZ = 100xNa₂S/Álcali activo (%)

Determinación de parámetros de cocción (PROCESO KRAFT):

Se determinan las condiciones de cocción para lo cual en este trabajo se han fijado la totalidad de las mismos menos el “Porcentaje de Álcali Activo” (%AA). Este último, se modifica con el cometido de alcanzar un contenido de lignina residual acorde al índice de Kappa = 20+/-1 en la pulpa resultante de cocción. En la siguiente tabla se presentan los parámetros fijos y variables de cocción:

Parámetro fijo	COCCIÓN
Álcali Activo AA (g/l NaO ₂)	120+/-10
Sulfidez SZ (%)	25+/-1
Temperatura máxima (°C)	157
Tiempo subida/Tmáx (min/min)	30/145
Relación Licor/Madera	3,5
Toma de chips anhidra (gr. o.d.)	200
Porcentaje de Álcali Activo (%AA)	Variable
Equipo utilizado	Cápsula en digestor rotatorio

Tamizado de pasta: tiene por objeto el separar los materiales fibrosos no desintegrados con dimensiones mayores a ciertos valores arbitrarios prefijados. Los rechazos del tamiz en el caso de pastas químicas pueden ser blandos o duros. Invariablemente reciben un refinado posterior que reducen su tamaño. En caso de pastas mecánicas los rechazos son duros y la pasta usualmente no recibe tratamiento mecánico posterior. Los rechazos en el caso de pastas químicas permiten estimar la cantidad de aglomerados fibrosos sin digerir al término del proceso de digestión. Se obtiene como resultado el Peso anhidro de pulpa tamizada (PsT) y porcentaje de rechazo (%R) con respecto a la muestra inicial de chips.

Rendimiento de celulosa: relación de masa anhidra entre la pulpa de celulosa resultante de una cocción y la masa anhidra de chips de la carga inicial. Se podrá determinar el Rendimiento Bruto y el Tamizado. El primero incluye los rechazos o in cocidos mientras que el segundo solamente toma en cuenta las fibras resultantes del proceso de tamizado.

En todo el rango estudiado para el *E. globulus* la densidad no presenta una restricción de ningún tipo para la producción de pulpa de celulosa, y por lo tanto, desde el punto de vista forestal es posible encontrar materiales genéticos que produzcan madera de densidad relativamente alta y presenten una performance adecuada en cocciones Kraft. En este sentido, al observar el porcentaje de álcali activo (AA) utilizado (Figura N°4) para las cocciones de las 144 muestras estudiadas se encuentra que la variación es mínima en todo el rango de densidad aparente básica, manteniendo promedio de 13,2% en todo el rango de densidad.

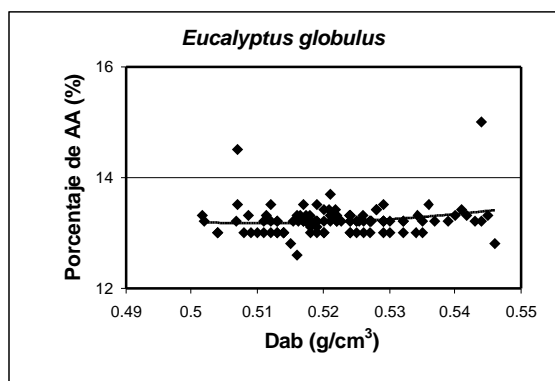


Figura N°4: Porcentaje de álcali activo (AA) vs. Dab para *E. globulus*

Éste factor es significativo en lo que refiere a diferentes temas, pues se encuentra que todo el material estudiado de *E. globulus* responde muy homogéneamente en cocciones Kraft, lo que posibilitaría un manejo de mezclas de distintos materiales genéticos disponibles en Uruguay de la misma especie. Determina que un material de rápido crecimiento mantendrá las propiedades físicas y pulpables dentro de un rango apropiado. De la misma forma, el proceso Kraft utilizado para materiales de *E. globulus* con mayor densidad requieren un similar consumo de químicos a los de baja densidad.

- **Consumo de madera:** es interesante ver el tema económico de diferentes puntos de vista, para el productor forestal, una madera más densa significa que se puede estar produciendo por hectárea una mayor cantidad de materia seca o lo que se da en llamar BDMT (Bond Dry Metric Ton). De la misma forma, se puede ver el consumo de madera para generar luego de un proceso Kraft, una tonelada de pulpa de celulosa marrón anhidra (o.d.). En la siguiente gráfica (Figura N°5) se observa que un material más denso provocará un menor consumo de madera. El consumo de un material promedio de *E. globulus* de Dab = 0,521 g/cm³ es de 3,52 m³/t o.d.

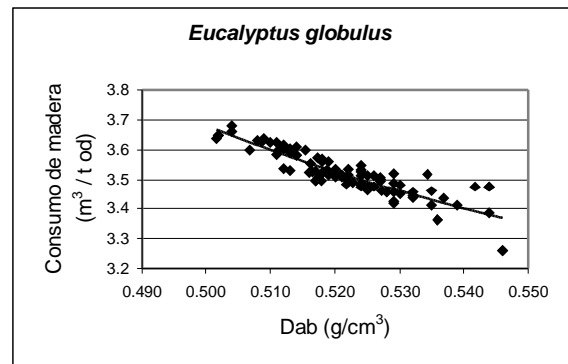


Figura N°5: Consumo de madera para 1 tonelada de pulpa o.d. vs. Dab para *E. globulus*

Eucalyptus maidenii:

-**Propiedades físicas de la madera:** el *E. maidenii* presenta propiedades forestales favorables relativamente al *E. globulus*, mostrando muy buena adaptabilidad al suelo en diferentes zonas del país, sanidad y densidad aparente.

Densidad aparente básica: las determinaciones de Dab en chips de madera han mostrado un rango de variación de 0,529 – 0,619 g/cm³ siendo el promedio 0,560 g/cm³. Éste aumenta en un 7,5% con respecto al *E. globulus*. Sin embargo, se encuentran algunas muestras con valores altos mayores a 580 g/cm³ y con un máximo de 619 g/cm³.

Rendimiento pulpable: se realizaron cocciones Kraft en las mismas condiciones hasta obtener pulpa a Kappa 20 para el *E. maidenii*. Se observa que para estas condiciones, el rendimiento pulpable bruto promedio es de 51,4 % lo que en primera instancia es bajo. Se observa en la Figura N°6, el efecto de la densidad, que a diferencia del *E. globulus*, el *E. maidenii* presenta una pendiente negativa o sea que a mayor densidad menor rendimiento pulpable.

En realidad, ésta gráfica muestra que el rango de densidades mayores a 0,570 g/cm³ comienza a generar menores rendimientos, agudizándose hacia los valores extremos mayores. Sin embargo, para valores menores a 0,570 g/cm³ se encuentran valores de rendimiento menos influenciados por la densidad, con un rendimiento promedio de 52,3%.

Tomando estos datos comparativamente con los de *E. globulus*, éste comportamiento definiría preliminarmente una tendencia de selección para mejoramiento genético, de aquellos especímenes de *E. maidenii* que presenten valores de densidad aparente básica menores a 0,570 g/cm³. De esta manera, se podría asegurar los mejores parámetros de calidad pulpable.

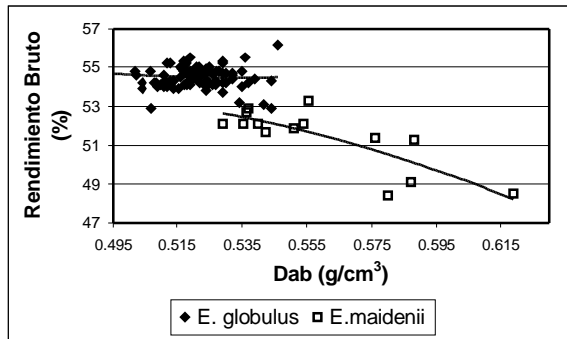


Figura N°6: Rendimiento bruto vs. Dab para *E. globulus* y *E. maidenii*.

Así mismo, éstos valores se presentan en la Figura N°7, para los cuales la carga de Alkali Activo (AA) no se ve influenciada por la densidad, presentando un promedio de 14,5% AA (10% mayor a *E. globulus*). El porcentaje de álcali activo debe aumentarse a medida que aumenta la densidad por encima de 0.570 g/cm³ para llegar a parámetros de deslignificación comparables.

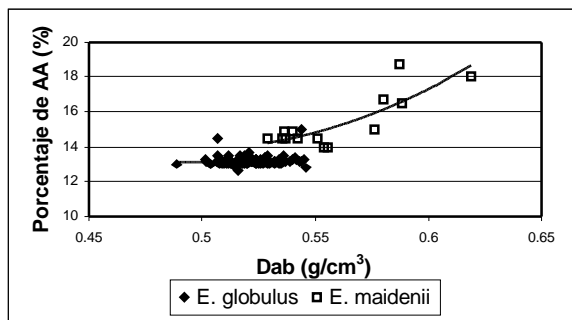


Figura N°7: Porcentaje de álcali activo (AA) vs. Dab para *E. globulus* y *E. maidenii*

Como se ha dicho anteriormente, el aumento de AA produce un aumento de la carga de químicos por lo que el efecto de este parámetro afecta directamente otros parámetros como el económico.

Consumo de madera: consumo de madera para generar (luego de un proceso Kraft, Kappa 20) una tonelada de pulpa de celulosa marrón anhidra (o.d.).

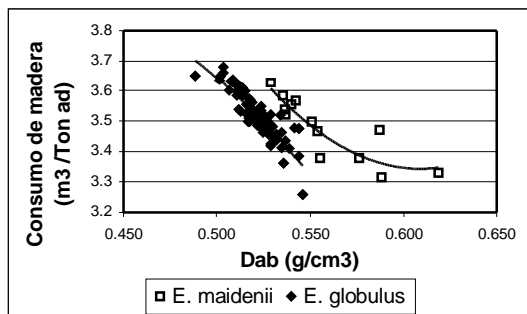


Figura N°8: Consumo de madera para 1 tonelada de pulpa o.d. vs. Dab para *E. globulus* y *E. maidenii*

En la gráfica anterior (Figura N°8) se observa que un material más denso provocará un menor consumo de madera. El consumo de un material promedio de *E. maidenii* de Dab = 0,558 g/cm³ es de 3,45 m³/t o.d.. Sin embargo, tomando solamente los valores de Densidad menores a 0,570 g/cm³, tendríamos un consumo promedio de 3.52 m³/t o.d. idéntica a la de *E. globulus*.

- Resumen de resultados obtenidos:

Se han encontrado los siguientes rangos y promedios de propiedades de las maderas de *E. globulus* y *E. maidenii* con destino pulpa:

	Dab (g/cm ³)
E. globulus	(0,502 – 0,546)
E. maidenii	0,529 – 0,570
E. maidenii (*)	0,570 – 0,619

(*) Rango de Dab que presentan bajos rendimientos.

Rendimiento Bruto (%)	Carga AA (%)	Consumo (m ³ /t o.d.)
54,0 – 55,5	13,2	3,70 – 3,33
51,7 - 53,3	14,3	3,65 – 3,45
48,5 – 51,0	15,0 – 18,7	3,53 – 3,33

- Dificultades en mezclas entre *E. globulus* y *E. maidenii*: dados los resultados expuestos anteriormente, sería realmente contraproducente la comercialización de mezclas de especies como el *E. globulus* y el *E. maidenii*. Las diferencias en las propiedades físicas hacen interesante al *E. maidenii* desde el punto de vista del productor forestal y productores de chips aumentando un 10% y aún más la densidad aparente básica y por consiguiente los BDMT colocados. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el comportamiento en planta de producción de celulosa es completamente diferente para un mismo tipo de cocción. Como se ha visto, el *E. globulus* es delignificado (cocción Kraft) con menor proporción de álcali activo (AA) que el *E. maidenii*. Esto redundaría en que: si se realizara una cocción Kraft con una mezcla y la carga fuese acorde a las necesidades del *E. globulus*, los chips de *E. maidenii* serían parcialmente procesados, teniendo una deslignificación incompleta y generando un gran porcentaje de rechazos. Por el contrario, si la carga de AA fuese nivelada a las características del *E. maidenii*, el material de *E. globulus* sería sobre cocinado, obteniendo parte de la pulpa final con niveles de deslignificación muy altos, lo que generaría una alta degradación de las fibras. Estas diferencias en el comportamiento, pueden crear complicaciones tanto en el proceso de cocción Kraft, blanqueo y por consiguiente, en el producto final.

- Oportunidades para el *E. maidenii*:

El *E. maidenii* implantado en Uruguay ha mostrado cualidades forestales y propiedades físicas fundamentales favorables como la densidad alta, produciendo un buen nivel de BDMT por ha. Teniendo en cuenta que según estudios ⁽²⁾ las propiedades papeleras de *E. maidenii* son satisfactorias para la producción de papeles gráficos de alta calidad, existen oportunidades ciertas para el desarrollo de esta especie en Uruguay.

No obstante, el obstáculo que se debe salvar está centrado en mejorar el comportamiento pulpable; éste material presenta dificultades cuando la densidad es superior a 0.570 g/cm³. Sin embargo, teniendo en cuenta que para densidades menores a 0.570 g/cm³ el comportamiento mejora llegando a rendimientos mayores al 52% con consumos de AA de 1 punto porcentual mayor al *E. globulus*, existen posibilidades ciertas de encontrar condiciones de cocción que se ajusten a las necesidades del *E. maidenii*. Se debería entonces investigar las condiciones óptimas de cocción, variando parámetros como Sulfidéz, tiempo y relación licor/madera.

En lo que refiere a la posibilidad de un mejoramiento genético del *E. maidenii*, es interesante ver que la tendencia de elección de árboles plus debería ser (al contrario del *E. globulus*) a bajar la densidad aparente básica a valores por debajo de los 0.570 g/cm³. Esto produciría una materia prima que llegue al producto final con un mayor rendimiento y con menor gasto de productos químicos.

- Revalidación del *E. globulus*:

El *E. globulus* ha demostrado estar entre las mejores especies generadoras de fibra corta, por la calidad de sus fibras y por los altos rendimientos. No es un descubrimiento ni mucho menos, pero los resultados mostrados en este trabajo corroboran que el material obtenido de plantaciones Uruguayas *E. globulus* son lo suficientemente confiables como para entrar en mercados exigentes como el japonés, europeo y escandinavo.

En efecto, existen empresas Uruguayas que con un gran esfuerzo han logrado acceder a ellos y mantener la calidad y confianza en sus productos. Existe un desafío en este sentido y es la posibilidad de mejoramiento genético del *E. globulus*, introduciendo (además de temas como el sanitario y el crecimiento) el rendimiento pulpable y propiedades de la fibra como indicadores de calidad de la madera.

CONCLUSIONES

Ø El *E. globulus* de plantaciones comerciales Uruguayas estudiadas ha presentado cerca del 80% un rango reducido de **Densidad Aparente Básica** (Dab) de entre 0,510 a 0,530 g/cm³ y presentando un valor medio representativo de **0,521 g/cm³**.

Ø El **rendimiento bruto pulpable** para el *E. globulus* no es influenciado por la Dab y presenta un

valor promedio de **54,6%**, con un consumo de álcali activo (AA) promedio de 13,2%. Se puede asegurar entonces que en el rango de Dab estudiado, NO EXISTE relación entre la densidad y estos dos parámetros de calidad de madera.

Ø Todo el material estudiado de *E. globulus* responde muy homogéneamente en cocciones Kraft, lo que determina un posible manejo de mezclas de distintos materiales genéticos disponibles en Uruguay de la misma especie. Será entonces posible desarrollar mediante mejoramiento genético, materiales de rápido crecimiento que produzcan madera de densidad relativamente alta y mantengan las propiedades físicas y pulpables dentro de un rango apropiado.

Ø Para el *E. maidenii* estudiado de plantaciones comerciales Uruguayas se ha encontrado un rango amplio de Dab de entre 0,529 a 0,619 g/cm³. Se ha observado que existen dos materiales bien diferenciados dentro de esta especie: menores y mayores a 0,570 g/cm³.

Ø En el rango de Dab mayores a 0,570 g/cm³, existe para el *E. maidenii* un efecto del aumento de la densidad negativo o sea que a mayor densidad menor rendimiento pulpable. En extremos de densidades mayores a 0,600 g/cm³ se llega a rendimientos de 48,5% con gastos de AA muy altos.

Ø Para *E. maidenii* con Dab menores a 0,570 g/cm³, se encuentran valores de rendimiento menos influenciados por la densidad, con un rendimiento promedio de 52,3% y con menor gasto de productos químicos. Éste debe ser el rango buscado para la elección de árboles plus para mejoramiento genético.

Ø Es primordial continuar el estudio de condiciones de cocción ideales se ajusten a las necesidades del *E. maidenii*.

- REFERENCIAS:

- (1) Boletín estadístico SPF N°43; Febrero de 2006.
- (2) "Complejo de producción y exportación de astillas para pulpa en Uruguay – Análisis de preinversión y perspectivas"; PRAIF – FASE II; Dirección General Forestal, MGAP.
- Boletín estadístico Diciembre 2005; Dirección General Forestal, MGAP.
- J.L. Comide, H. Fantuzzi Neto, H. García Leite; "Técnica para establecimiento de qualidade tecnologica de madeira de Eucalipto visando produção de celulosa Kraft"
- "Mejoramiento genético, silvicultura y sanidas de *Eucalyptus globulus* en región Sureste", INIA-Tacuarembó, N°289, Junio 2002.
- I. Miranda, M.H Almeida, H.Pereira; "Influence of provenance, subspecies, and site on Wood Density in *Eucalyptus globulus* Lanill" Word and Fiber Science, Jan. 2001, V. 33(1)