



CARACTERÍSTICAS Y POSIBILIDAD DE EMPLEO DE LA MADERA DEL HÍBRIDO *Eucalyptus grandis x Eucalyptus tereticornis*

Martín Miguel SÁNCHEZ ACOSTA¹

El presente trabajo resume una serie de estudios que se llevaron a cabo bajo la coordinación del INTA Concordia en distintas Universidades y centros especializados y que formaron parte de una tesis Doctoral del suscripto en la Universidad de Valladolid, Campus Palencia, España. Los estudios de la madera de *E. grandis x E. tereticornis* contemplaron las propiedades: anatómicas, químicas celulósicas, físico-mecánicas y energéticas, los que se presentan en forma resumida.

El estudio se genera en un contexto donde en Argentina se introduce un nuevo híbrido *Eucalyptus grandis x Eucalyptus tereticornis*, generado en África, y que se adaptaría mejor a los sitios menos fértiles y con mayores limitantes, particularmente a las zonas más secas, a las condiciones más extremas, como las acontecidas por el cambio climático, lo que permitiría ampliar las fronteras de las plantaciones actuales, como las del *Eucalyptus grandis*, especie que tiene mayores requerimientos. Este híbrido en ensayos está demostrando buenas aptitudes de adaptación, tolerancia y crecimiento, por lo que se hace imperioso conocer las características de su madera y aptitud, para determinar si el Gobierno debe incluirlo en sus planes de fomento a las plantaciones,

1. Los híbridos para ampliación de fronteras de las plantaciones de Eucaliptos

En Argentina, *Eucalyptus grandis* es la especie de eucalipto más difundida, siendo que la obtención de productos sólidos con alto valor agregado a partir de especies de rápido crecimiento ocupa un lugar preponderante entre los objetivos de producción de las pequeñas y medianas empresas forestales. La mayor parte de la superficie fue lograda en sitios donde las condiciones edáficas y climáticas permiten una excelente adaptación para *E. grandis*. Sin embargo, dentro de la misma región algunas áreas presentan limitantes edáficas y/o climáticas para esta especie en forma pura. En este sentido, por ejemplo, en el NE de Entre Ríos dada la necesidad de expandir las fronteras forestales hacia zonas marginales (suelos pesados, mayor intensidad de heladas) la utilización de especies mejor adaptadas como *E. camaldulensis*, *E. tereticornis*, *E. dunnii* o la incorporación de híbridos interespecíficos constituye una alternativa muy importante a desarrollar (Harrand y Schenone, 2002; Harrand, 2005; Marco y Harrand, 2005).

El objetivo de los trabajos de cruzamientos controlados llevado a cabo en la Estación Experimental Agropecuaria Concordia del INTA, dentro del Programa de Producción de Material de Propagación Mejorado Eucaliptos en Mesopotamia (Proyecto de Desarrollo Forestal, SAGPyA-BIRF), es combinar la excelente productividad y forma de *Eucalyptus grandis* con algunas características de interés de otras especies, entre ellas el *Eucalyptus tereticornis*. Dentro del mejoramiento para la región, se han considerado como características prioritarias la disminución de la sensibilidad a las heladas, y a los cambios climáticos, y otorgar mayor rusticidad al *grandis* utilizando especies como el *E. tereticornis*.

El uso de híbridos es una respuesta prometedora para la forestación de áreas consideradas marginales por aspectos edáficos o climáticos, e incluso a las frecuentes condiciones climáticas extremas atribuidas al cambio climático. Los cruzamientos entre especies permiten combinar características favorables y en algunos casos se logra además un plus: vigor híbrido (Harrand, 2005)

El híbrido *E. grandis x E. tereticornis*, denominado comúnmente **EG x ET**, se genera comercialmente en África (Sudáfrica y el Congo) sobre fines de siglo pasado, por una necesidad de recurrir a sitios marginales, de peores suelos y más áridos, pues los mejores suelos se debían destinar a la agricultura, principalmente para la producción de alimentos. Por ello se desarrolló este, y otros híbridos, con mayor tolerancia a las situaciones adversas, en especial a las sequías, donde se destacan los trabajos de Malan y Van Wyk. Respecto a este híbrido en Argentina la primera

¹Ing. Ftal. Martín Miguel Sánchez Acosta; EEA INTA Concordia. sanchezacosta.martin@inta.gob.ar



introducción de semillas fue en 1990 desde Sudáfrica como parte de las actividades del Convenio INTA-CIEF (Centro de Investigación y Experiencias Forestales). Con este material se instala un ensayo en la localidad de Ramallo, Prov. de Buenos Aires, incluyéndose otros híbridos. Sobre este ensayo se realiza una selección temprana de los mejores individuos, para luego propagarlos vegetativamente. (Marcó. 2012).

2. Antecedentes de su madera

En general se cuenta con información exploratoria parcial de su madera obtenida a edades tempranas, usualmente referida sólo a su densidad como parámetro principal, dado el interés de los mejoradores de ir contando con información lo más tempranamente posible, que permitan vislumbrar su potencial, y generar parámetros para la selección temprana. En Argentina el híbrido muestra que se puede elevar la densidad de la madera de *E. grandis* (López, 2007), siendo estos resultados coincidentes con los reportados por Van Wyk *et al.* (1989) quienes indican que la madera del EG x ET a los 33 meses de edad resultó 13,5% más densa que la de *E. grandis* (472 Kg/m³ para el híbrido y 416 Kg/m³ para *E. grandis*).

Asimismo, son similares a los informados por Malan (1992) quien al evaluar al quinto año de edad, tres clones híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis* y tres de *E. grandis* x *E. tereticornis* en diferentes sitios de Sudáfrica concluye que ambas combinaciones híbridas produjeron, en general, madera de mayor densidad que la de *E. grandis*, y con un comportamiento intermedio respecto a la densidad de las especies parentales utilizadas.

3. Posibilidad de producción - comercialización

Este factor es de fundamental importancia para el INTA, pues de su aptitud depende que se incorpore como especie recomendada de plantación, y forme parte de los planes futuros de mejoramiento forestal y de promoción de plantación del Estado Nacional. No sólo basta con el crecimiento y tolerancia, dado que las plantaciones están fundamentalmente destinadas a fines comerciales privados, por lo que resulta imperioso que el productor forestal pueda colocar su producción sin mayores inconvenientes, y el industrial debe no sólo poder obtener sus productos principales, sino también colocar sus subproductos y residuos.

Tanto la cosecha, como así también el aserrado producen una gran cantidad de residuos o subproductos, los cuales es imperioso aprovechar, y usualmente se destinan a otros tipos de destinos como son los casos de industria celulósica, tableros de partículas o fibras, y últimamente para energía como biomasa. Por ello se estudió las propiedades y aptitud para estos destinos. Cabe destacar que, en el aserrado, menos del 50% del rollo llega a convertirse en tablas, por lo que los residuos generados deben ser comercializados para que la ecuación económica cierre positivamente.

4. Necesidad del conocimiento de la madera del nuevo híbrido

Para su empleo industrial directo resulta imperioso contar con la información de propiedades físicas y mecánicas, sus características químicas con miras al empleo celulósico, y sus propiedades energéticas para el uso como biomasa. Por otra parte, como información básica interesa conocer la anatomía de esta madera, llegando a la microestructura, la cual en el futuro podrá ser empleada tanto en su identificación, como en la correlación con distintas propiedades, y la interpretación del comportamiento de la madera. Desde el punto de vista genético permitirá además comparar las propiedades con la de sus progenitores para evaluar, en el mejoramiento, los efectos de la hibridación y sus posibles ganancias.

El conocimiento de las propiedades y aptitud de la madera es la base fundamental para ser incluido en los planes de investigación del INTA, y asimismo en los planes de fomento de plantaciones del gobierno nacional. El presente trabajo consta de estudios realizados con institutos relacionados al INTA:

- **Laboratorio del Grupo de Estudios en Madera GEMA**, Facultad de Ingeniería de la Universidad Tecnológica Nacional UTN, Concepción del Uruguay, Entre Ríos: Ensayos físico-mecánicos.



- **Cátedra de Dendroología** de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de la Plata, UNLP, La Plata, Buenos Aires: Estudios anatómicos y de quemado de astillas.
- **Cátedra de Dasonomía** de la Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires- UBA
- **Laboratorio del Programa de Investigación de Celulosa y Papel- PROCYP** de la Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales- Universidad Nacional de Misiones, UNAM, Posadas, Misiones.: ensayos Químico – celulósicos y de fibras
- **Grupo de Energía** del Instituto Nacional de Tecnología Industrial INTI, Buenos Aires: Determinaciones de poder calorífico
- **Centro INTI Madera y Muebles**: Buenos Aires. Ensayos físico mecánicos de referencia.
- **Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca**: Ente Financiador de estudios en proyectos.-

Participaron además las empresas: **Aserradero Ubajay**: aserrado de muestras; **Aserradero Fracalossi Maderas**: aserrado de trozas; **Aserradero Las Marías**: aserrado de trozas; Laminadora y aserradero **Forestadora Tapebicuá**: test dureza; y Secaderos **Gottert** ensayos de color.

En los laboratorios del **INTA Concordia** se llevaron a cabo determinaciones de: densidad, humedad, contenido de cenizas

En todos los ensayos se ha empleado material genético del INTA del híbrido *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden x *Eucalyptus tereticornis* Smith, que se denomina comúnmente “**Híbrido Eg x Et**” o “**GT**”. En la mayoría de los casos se ha utilizado árboles de una parcela de ensayo instalada por el Ing. Luis Carpinetti en el año 1994 en el INTA Concordia, del que se comenzó a extraer muestras a la edad de 9 años, prácticamente la edad de corte en la zona, para luego continuar hasta los 17 años. A estos se les han sumado en algunos ensayos puntuales otros pies más jóvenes plantados por el INTA en la provincia de Entre Ríos, usando árboles de 6 años de edad, (López, 2007). En cada ensayo se aclaró la procedencia del material.

5. Estudios de la madera de *E. grandis* x *E. tereticornis*.

a. Características anatómicas (macroscópicas, microscópicas y ultraestructura

El estudio de las características anatómicas de la madera permite relacionarlas con las propiedades tecnológicas y finalmente con el comportamiento del producto final elaborado (Sparnochia, 2007). A nivel microscópico y de ultraestructura se recurrió a otras Facultades, cuando se requirió equipamiento especializado, como el caso de Microscopios Electrónicos de Barrio de Veterinaria, Museo de La Plata y Ciencias Exactas de la UBA. Los estudios se hicieron en coordinación con las universidades citadas, participando los investigadores Stella RIVERO, Silvia MONTEOLIVA, Juan COCO (UNLP) y Lucía SPARNOCHIA (UBA).

Macroscópico

Cuadro 1. Descripción Macroscópica del Híbrido Eg x Et

Porosidad	Difusa distingible con lupa
Disposición de Vasos	Diagonal
Anillos	Sin demarcación
Parénquima	Paratraqueal vasicéntrico y apotraqueal difuso, no visible con lupa
Radios	Angostos
Albura- Duramen	Diferenciación marcada

Microscópico:

Una característica importante a escala de microscopio es detectar la presencia de tilides, responsables de la obturación de los vasos, hecho importante en relación a la impregnación de la madera.



Ultraestructura

Se utilizó un Microscopio electrónico de barrido (MEB) ambiental (ESSEM). Se realizaron observaciones ultraestructurales en vista superficial de los cortes y de los disociados. En el segundo caso se empleó un mismo tipo de MEB.

Cuadro 2. Parámetros de la descripción microscópica del híbrido Eg x Et. [Cocco (2006); Sparnochia (2007)]

Corte Transversal (CT)	
Anillos de crecimiento	Sin demarcación
Porosidad	Difusa
Vasos	Gran número de vasos solitarios, ovales. Con escasas tilides. Disposición diagonal
Radios leñosos	De trayecto recto
Parénquima	Parénquima paratraqueal vasicéntrico. Apotraqueal muy escaso
Fibras	Pared celular relativamente gruesa menor a <i>E. maculata</i>
Corte longitudinal tangencial (Clt)	
Radios	Radios uniseriados casi exclusivamente (97%). También homogéneos
Contenidos	Sin contenidos
Vasos	De trayecto rectilíneo
Corte longitudinal radial(Clr)	
Radios	Homogéneos de células procumbentes, pero más cortas que en <i>E. maculata</i>
Fibras	
Contenidos	No se observan
Traqueidas Vasculares	Medianamente abundantes

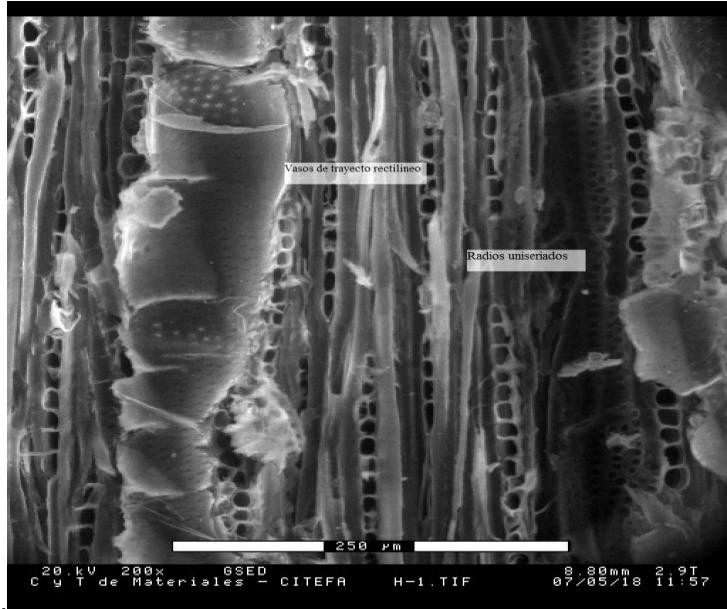


Imagen 1. Corte longitudinal tangencial

Punteaduras intervaskulares: las punteaduras, o puntuaciones intervaskulares ornadas son proyecciones de la pared secundaria que crecen hacia la cámara de la puntuación, (Jansen et al., 1998, 2008). Se efectuaron comparaciones de las punteaduras del híbrido E g x E t, con su progenitor *E. grandis*, pudiendo observarse diferencias, que podrían ser empleadas en el futuro para su identificación.



Resumen de las Características Anatómicas

- De estos trabajos surge como una primera descripción: que *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus tereticornis* presenta: diferenciación marcada entre albura y duramen, variabilidad de color de duramen entre D-E (Daswell); es decir rojizo amarronado a rojizo amarronado oscuro.
- Anatómicamente presenta: porosidad difusa, con una disposición de los poros en diagonal, con poros solitarios en su mayoría (Imagen 1), y con poros reunidos en múltiples cortos y agrupados. Los anillos de crecimiento no están demarcados. Los elementos vasculares presentan perforaciones simples y tabiques levemente inclinados. Las puntuaciones intervасculares son alternas no coalescentes, pequeñas a medianas ornadas con diferencias marcadas entre el testigo *E. grandis* y los híbridos. El diámetro tangencial medio del lumen de los vasos se encuentra en los materiales analizados dentro del rango entre 100-200 μ . El número de vasos/mm² también se encuentra en los materiales dentro del mismo rango entre 5-20 vasos. El parénquima axial se presenta paratraqueal vasicéntrico, confluyente y unilateral, y apotraqueal difuso y difuso en agregados. Hay presencia de traqueidas vasculares y vasicéntricas, y fibrotraqueidas. Los radios en su mayoría uniseriados, presentando el híbrido *E. grandis* x *E. tereticornis* una mayor frecuencia de radios parcialmente biseriados. Las células que componen el cuerpo de los radios son procumbentes con una o dos hileras de células cuadradas o erectas marginales con presencia de tildes.
- Por su similitud podría emplearse en los usos sólidos habituales del *E. grandis*, mejorando en ciertos casos la prestación por ser más denso pero debiendo tenerse en consideración que es más rojizo.

b. Características químico – celulósicas

Desde el año 2004 el INTA EEA Concordia comenzó a realizar actividades conjuntas con el laboratorio del Programa de Investigación de Celulosa y Papel- PROCYP de la Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales, Universidad Nacional de Misiones. En los primeros estudios, con madera de 9 años, cercana al turno habitual de aserrado, se realizó el análisis químico celulósico elemental de la madera, que incluye la determinación de solubles en alcohol, benceno, agua caliente, lignina Klason soluble e insoluble y celulosa Seifert, complementado con mediciones de color. En los últimos años, y como parte de un proyecto de estudio de la morfología fibrosa del *Eucalyptus* de la Mesopotamia Argentina se continúa estudiando al híbrido Eg x Et para lograr información sobre la madera de los primeros años de crecimiento de la especie antedicha, que normalmente se denomina 'madera juvenil'. En estos estudios participaron los profesionales del PROCYP, María Cristina AREA y Carlos NÚÑEZ, con quienes ya se venía trabajando en investigaciones sobre distintos orígenes y procedencias de *E. grandis* por lo que se cuenta también con información para efectuar su comparación. El material empleado han sido ejemplares plantados en la EEA Concordia, y los datos corresponden a las edades de 9 y 20 años. Los discos para su análisis se obtienen a la altura de pecho, al 50 y 75% de la altura total de árbol. En todos los caso se registraron los datos dendrométricos de los ejemplares.

Cuadro 3. Parámetros de luminosidad y color del híbrido E.g. x E.t.

Muestra	Códig	Lumin.	L	a*	b*	Observac.
E.g.x E.t. DAP	7	22,3	65,5	12,1	19,7	Corte nuevo centro
E.g.x E.t. DAP	8	21,9	63,7	7,1	17,7	Corte nuevo cambium
E.g.x E.t. DAP	9	8,2	49,4	13,5	26,8	Corte original cambium
E.g.x E.t. 50%	10	20,5	64,0	14,3	20,2	Corte nuevo centro
E.g.x E.t. DAP	11	21,0	62,7	7,7	17,5	Corte nuevo cambium
E.g.x E.t. DAP	12	10,2	54,2	17,9	28,0	Corte original centro
E.g.x E.t. DAP	13	12,4	56,1	13	25,5	Corte original cambium

- Resultado Color y blancura:

En el Cuadro 3 se trasciben los resultados de las lecturas de color y blancura de las superficies



trasversales de las rodajas. El término 'centro' significa medición cercana a la médula y 'cambium' al borde exterior cercano a la corteza, sin que ello signifique que se pudiera distinguir entre albura y duramen.

- Análisis químico

En el Cuadro 4. se detallan los valores de los análisis químicos obtenidos. En la última fila se muestran los análisis químicos de *E. grandis*, para comparación.

Cuadro 4. Resultados en % del análisis químico acumulativo de *Eg x Et.*, comparado con *E. grandis*

Muestra	Extractivos alcohol-benceno	Extractivos agua caliente	Total extractivos	Lignina insoluble	Lignina soluble	Lignina total	Celulosa	Hemicelulosa (Dif.)
Eg x Et	1,8	1,6	3,4	27,8	2,2	30,0	43,0	23,7
<i>E. grandis</i>	2,0	1,4	3,4	25,1	3,1	28,1	45,7	23,5

Comparando con el rango habitual de la composición química del *Eucalyptus grandis* para la región mesopotámica Argentina, que se muestra en el Cuadro 5., se tiene que los valores encontrados para el híbrido Eg x Et, prácticamente se encuentran todos dentro del rango posible de *E. grandis*, con la única excepción de la lignina que es ligeramente superior.

Cuadro 5. Composición química, rangos de valores *E. grandis* en la Mesopotamia (Nuñez, C)

	Rango %
Solubilidad en alcohol-benceno (ácidos grasos, hidrocarburos, polifenoles parc.,etc.) (1)	1,5 – 2,2
Solubilidad en agua caliente (azúcares, amiláceos, sales parciales, resto polifenoles, etc.) (2)	1,5 – 2,5
Lignina soluble (2)	2,9 – 3,4
Lignina insoluble (2)	24,0 – 27,0
Lignina total (2)	27,0 – 32,0
Celulosa (2)	44,0 – 51,0
Cenizas (1)	0,1 – 0,3

(1) Sobre madera seca sin extraer (2) Sobre madera extraída y referido a madera seca original.

Con respecto al híbrido *E. grandis* x *E. tereticornis*, se observa que posee composición química semejante al *E. grandis*, aunque con un poco más de lignina. Sin ser una norma, es frecuente el aumento de lignina en los híbridos. En particular si tienen más densidad. En la comparación de *E. grandis* con *E. grandis* x *E. tereticornis* no se observaron diferencias significativas por lo que se puede concluir que en las muestras analizadas la biometría morfológica de la especie pura y del híbrido es semejante. Lo hallado indicaría que el híbrido puede poseer mejores características de resistencia que el *E. grandis* puro.

En cuanto al color, al ser más intenso, requerirá mayor trabajo en el blanqueo, lo cual es una característica desfavorable a tener en cuenta en el mejoramiento futuro del híbrido.

- El incremento del contenido de lignina se corresponde con una disminución en el % de celulosa, que desde un punto de vista papelero supondría un rendimiento menor para la obtención de pulpas químicas.

- Se puede afirmar que en las muestras estudiadas el híbrido posee morfología fibrosa similar al *E. grandis* y no presentaría limitantes importantes para el procesamiento celulósico de las otras especies de eucaliptos en Argentina.

En síntesis, en estas primeras determinaciones se tiene que los valores químico celulósicos no presentan mayores limitaciones para entrar en los procesos habituales en Argentina, por lo que cuenta con aptitud para este destino, pudiendo recomendarse su plantación en escala comercial.



Estudio de las fibras

En el año 2006 se realizaron estudios comparativos de *E. grandis* con *E. maculata*, y por primera vez se analizó una muestra del híbrido Eg x Et, para contar con datos de referencia (Nuñez, C.; Sanchez Acosta, M., 2006), a continuación se citan los resultados de una muestra de Eg x Et de: Longitud, ancho, espesor de pared y coeficiente de filtrabilidad.

Cuadro 6. Resultados en 2006 del estudio de fibras de Eg x Et. Valores en micras. DAP: altura de pecho, 50% corresponde a la altura comercial del fuste. DS: desviación estándar, F: coeficiente de filtrabilidad.

Altura	Longitud		Ancho de fibra		Espesor de pared		F
	μ	DS	μ	DS	μ	DS	
DAP	919	214	13,3	4,5	2,4	0,4	69
50%	982	163	12,7	3,2	4,3	0,7	77
promedio	950		13		3,5		73

Cuadro 7. Diferencia en los parámetros fibrosos entre *Eucalyptus grandis* y E. g x E t

	<i>E. grandis</i>	E.g x E.t.	Diferencia
Long. fibra	931	903	-3,1%
Ancho fibra	15,2	11,5	-24,3%
Espesor pared	2,8	2,9	+3,6%
Filtrabilidad	62	79	+27,4%

Comparando las longitudes de fibra del *E. grandis* con las del híbrido se observa que a la altura de pecho en el primero son algo mayores, un 4,1%, y al 50% de la altura comercial del fuste la relación se invierte teniendo el híbrido 0,5% más. La menor longitud de fibra, si bien no es muy marcada, podría hacer disminuir las propiedades físico mecánicas de la hoja de papel, dado que la longitud es la variable que más aporta a su desarrollo. Estas variaciones para una sola muestras se pueden considerar poca significativas por lo que se puede decir que las longitudes fueron semejantes. Al ser las longitudes semejantes y los anchos menores los coeficientes de filtrabilidad, lógicamente, dieron considerablemente valores más altos. Dado que este parámetro es el segundo en influencia en las propiedades físico-mecánicas de la hoja, después de la longitud de fibra resulta conveniente continuar con más muestras en ensayos futuros.

Teniendo en cuenta la gran cantidad de residuos que genera la industria del aserrado instalada, y la necesidad de su aprovechamiento, los resultados muestran que de aserrar este híbrido, los residuos podrían ser destinados a las mismas plantas que procesan *E. grandis* aunque sus rendimientos podrían ser algo menores, en especial en lo que se refiere a su mayor cantidad de lignina, aunque estas mermas no serían significativas ni limitantes.

Dada su coloración más intensa también puede traer una merma en el rendimiento si se tiene necesidad de blanqueo, aunque estas mermas son de menor magnitud que el de las especies coloradas puras (*E. tereticornis* y *E. camaldulensis*).

c. Características Físico- mecánicas

Las primeras determinaciones que se realizaron en el año 2003 sobre las propiedades del híbrido EgxEt, llevadas a cabo por las estaciones del INTA Concordia y Bella Vista, tuvieron como objetivo el obtener información orientativa sobre la densidad y algunos caracteres organolépticos para contar con parámetros de selección temprana en el mejoramiento genético. Al progresar los ensayos y vislumbrarse como un nuevo material genético factible de ser difundido en plantaciones comerciales la EEA Concordia decidió encarar el contar con información de referencia de la madera de esta especie, que avale su difusión en plantaciones comerciales.

Con el objetivo de contar con una primera ficha con las principales propiedades físico-mecánicas la



EEA Concordia de INTA llevó a cabo un estudio completo con el grupo Estudios de Madera GEMA, de la Universidad Tecnológica Nacional, Regional Concepción del Uruguay, Entre Ríos, que se detalla en primer término.

Cuadro 8. Resumen de los resultados físico mecánicos de híbrido *E. grandis x E. tereticornis* (UTN)

Ensayo	Norma	Unidades	E. g x E. t. (a 20° ± 5 60% ± 5)	Nº Probetas
FLEXION 20x20	IRAM 5510			18
Tensión de Rotura	- 9542	N/mm²	92,31	
Tensión en el límite		N/mm²	60,96	
Módulo de Elasticidad		N/mm²	13.697,9	
Densidad (c/ humedad antes de ensayo)		g/cm³	0,67	
CORTE PARALELO	IRAM 9596			
Tensión de Rotura Tangencial		N/mm²	12,45	6
Tensión de Rotura Radial		N/mm²	11,15	12
Densidad (c/ humedad antes de ensayo)		g/cm³	0,7	18
DUREZA JANKA	IRAM 9570			18
Axial		N/mm²	62,17	
Tangencial		N/mm²	48,38	
Radial		N/mm²	49,22	
Densidad (c/ humedad antes de ensayar)		g/cm³	0,7	
COMPRESIÓN PARALELA	IRAM 9551			10
Tensión de Rotura		N/mm²	53,29	
Tensión en el límite		N/mm²	19,97	
Densidad (c/ humedad antes de ensayar)		g/cm³	0,69	
COMPRESIÓN PERPENDICULAR	IRAM 9547			11
Tensión de Rotura		N/mm²	12,07	
Densidad (c/ humedad antes de ensayo)		g/cm³	0,69	
ARRANCAMIENTO DE CLAVOS	IRAM 9592			7
Axial		N	893,27	
Tangencial		N	1.175,39	
Radial		N	1.305,50	
Densidad (c/ humedad antes de ensayar)		g/cm³	0,7	
ARRANCAMIENTO TORNILLOS	IRAM 9592			3
Axial		N	1.965,60	
Tangencial		N	3.938,03	
Radial		N	3.276,00	
Densidad (c/ humedad antes de ensayar)		g/cm³	0,72	
CONTRACCIÓN	IRAM 9543			
Axial		%	0,69	17
Tangencial		%	7,2	19
Radial		%	11,19	14
HUMEDAD (antes de ensayos)	IRAM 9532			
probetas 20x20		%	14,44	18
probetas 50x50		%	14,82	18
DENSIDAD (c/ humedad antes de ensayar)	ASTM D2395	g/cm³	0,669	18
probetas 20x20		g/cm³	0,703	18

El Cuadro 8 resume el modelo de planilla de caracterización del híbrido, que se toma como referencia y base para comparación con otras especies. Se destacan el Módulo de Elasticidad a Flexión y la densidad, que fueron tomadas a la humedad de equilibrio higroscópico de la región, 14 a 15 %.

En el estudio descripto realizado en la UTN la densidad a edades de corte (9 años de Eg x Et, y de 9 a 12 años en *E. grandis*, (Sanchez Acosta, 2005) se tiene una diferencia en la densidad de 33% más a favor del Eg x Et, esto se corresponde con una diferencia del 29% en el caso del Módulo de



elasticidad, y un 29% en el caso de la dureza Janka, lo cual marca una consistencia en los resultados.

En cuanto a densidad los resultados de los estudios en la UTN (Sanchez Acosta, 2007) sumados a los del INTA EEA Bella Vista son coincidentes con los reportados por Van Wyk *et al.* (1989) quienes indican que la madera del híbrido es más densa que la de *E. grandis* (472 kg/m³ para el híbrido y 416 kg/m³ para *E. grandis* a edad de 33 meses). Asimismo, son similares a los informados por Malan. (1992) quien al evaluar al 5° año de edad tres clones híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis* y tres de *E. grandis* x *E. tereticornis* en diferentes sitios de Sudáfrica concluye que ambas combinaciones híbridas produjeron, en general, madera de mayor densidad que la de *E. grandis*, aunque con un comportamiento intermedio respecto a la densidad de las especies parentales utilizadas. No obstante, también fueron detectadas diferencias altamente significativas entre sitios y entre clones dentro de híbridos.

En cuanto al color los ensayos muestran una tonalidad intermedia entre *E. grandis* y *E. tereticornis*, aunque con mayor semejanza a *E. grandis*, con lo que sus productos sólidos podrían entrar en los mismos rubros que López (2007) comenta en su información presentada; si bien se refiere a un único clon, permite inferir un prometedor potencial para usos sólidos del híbrido de *E. grandis* x *E. tereticornis* en relación a densidad y color de la madera. Sin embargo, la mayor proporción de albura y la mayor contracción volumétrica de su madera lo posicionan desventajosamente frente a *E. grandis*. De acuerdo a las tablas comparativas, según las clasificaciones de denominaciones usuales en Argentina (Labate, Tinto, 1975) se hizo una comparación general del híbrido Eg x Et, con sus progenitores, con datos de Argentina.

Consideraciones a las Características Físico -mecánicas

-De lograrse la implantación a escala comercial del Eg x Et surgiría como la madera de mejor comportamiento estructural dentro de todas las especies de rápido crecimiento plantadas en Argentina.

- De los análisis físico mecánicos se puede concluir que el híbrido *E. grandis* x *E. tereticornis* se destaca por su mayor densidad y resistencia, comportándose como las maderas semiduras del mercado nacional, superando al *E. grandis* en densidad y dureza, y al resto de las maderas implantadas de rápido crecimiento

Esto las hace más propicias para su empleo en pisos, o usos que requieren mayor resistencia (muebles especiales, marcos de puertas y ventanas, etc. y muy especialmente para usos estructurales, como el caso de viviendas, debido a su relación peso/resistencia).

-Posee las cualidades típicas de los eucaliptos en cuanto a contractibilidad, aunque tiene valores individuales más desfavorables de contracción tangencia y radial, tiene una menor relación T/R que el resto de los eucaliptos citados. Esto podría ser optimizado con el mejoramiento genético.

-La mayor dureza y densidad que presenta hace que se deba pensar en adecuar el equipamiento y hojas de sierra si se quiere trabajar con la misma maquinaria empleada en *E. grandis*.

-Por el momento viene presentando un menor índice de rajado (fendas de cabeza) que el *E. grandis*, lo cual deberá refrendarse con estudios futuros.

- Su coloración más elevada puede ser un efecto negativo en el caso que se necesite maderas claras.

- Los valores muestran que las propiedades resultantes son intermedias entre sus progenitores, *E. grandis* y *E. tereticornis*, y que no presentan características que puedan tomarse como limitantes.

- Sus propiedades la hacen apta para la mayoría de los usos sólidos actuales del *E. grandis*, siendo más adecuadas cuando se requiere dureza, en cuanto a sus residuos o madera de poco diámetro en ese sentido también es más favorable para la fabricación de paneles de astillas (aglomerados), de fibra de mediana densidad MDF, y muy particularmente para los de fibra de alta densidad HDF, que prefieren la madera de más densidad y de tono más oscuro.



Se considera que con este paquete de información generada, sobre el conjunto de las propiedades, y su comportamiento mecánico, hacen que se visualice como una especie que no tiene mayores limitantes, y hasta puede ser más adecuada en ciertos casos que las empleadas actualmente, y que debería ser contemplada en la producción privada, y en los planes de fomento del Estado.

d. Características energéticas

El empleo de la madera para producción de energía se conoce hace largo tiempo, pero dada su importancia actual en el empleo industrial ha generado toda una ciencia denominada "dendroenergía". Este recurso, dado su origen biológico y factible de manejar a perpetuidad en forma sustentable, se lo califica como "*combustible renovable*" entrando además en la categoría de "*alternativo*" a los tradicionales derivados del petróleo u otros no renovables, Tal es su importancia ambiental, que hoy día en Argentina los proyectos más factibles de los denominados "mecanismos limpios" -MDL- para la obtención de bonos de carbono, son aquellos relacionados con las energías alternativas de sustitución de las tradicionales. Además se cuenta con la Ley de Energía que ya va previendo la sustitución gradual obligatoria principalmente de los combustibles fósiles, fomentando económicamente a las energías alternativas. (Castillo Marin, 2006.)

En los últimos años las plantaciones forestales (especies de rápido crecimiento) están tratando de reemplazar o complementar en usos a las maderas de bosques nativos, procurando bajar la presión de tala que existe sobre ellos, con la finalidad de lograr la recuperación de bosques degradados, frenar la deforestación, llegando a un correcto manejo sustentable, que permita el empleo de la madera nativa para usos más nobles. La provincia de Misiones en el 2011 ha anunciado su Plan de Leña, llegando a una sustitución total de leña nativa para el año 2016. Para ello tiene previsto la plantación de más de 5000 ha de eucaliptos

También es muy incipiente el tema de los pellets, existiendo ya 4 plantas en el país, uno de los cuales se radica en la ciudad de Concordia, Entre Ríos. Uno de los destinos dados a la madera de eucalipto a nivel internacional es el de dendroenergía, un caso cercano típico es el de Brasil, donde a partir de la crisis del petróleo de 1973 el gobierno tomó la decisión de generar recursos energéticos a partir de eucalipto, y es así como hoy día cuenta con casi 5 millones de ha forestadas con esta especie, y numerosas fábricas que se abastecen de leña y carbón, siderurgias que emplean carbón de eucalipto para la fabricación del acero, y un interesante consumo interno de carbón de eucalipto para la preparación del "churrasco" o barbacoa (nuestro asado).

En otro sentido, usualmente para estos destinos se prefiere madera con más densidad, por lo que se espera que el Híbrido Eg x Et al ser más pesado mejore las condiciones de la madera de *E. grandis* para este destino.

Por ello durante el 2011 el INTA ha encarado ensayos referidos al poder calorífico, el contenido de cenizas en madera y corteza, y complementariamente un ensayo de quemado de astillas. Los mismos se han realizado en laboratorios del INTA EEA Concordia, en el laboratorio de energía del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), y en la Cátedra de Dendrología de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la UNLP. Intervinieron en los mismos el Ing. Mario OGARA, y el técnico Fabio DI BENDETTI del INTI, la Ing. Stella RIVERA de la UNLP, y los Ing. Ciro MASTRANDREA y Martín SANCHEZ ACOSTA del INTA EEA Concordia.

Resultados

De acuerdo a la norma se efectuaron dos mediciones para cada caso, siendo que para el duramen intermedio se realizó una tercera para corroborar si los valores seguían siendo superiores. Debido a lo costoso de estas determinaciones usualmente se realizan pocas mediciones, con el fin de referenciar la especie, sólo se llega a nivel de enunciar los resultados. En el Cuadro 9 se consignan los valores en la unidades habituales (antiguamente en Kcal/kg, y actualmente en J/g), consignando las medias y a qué determinación corresponde.

Este ensayo se realizó en 2011 en el laboratorio del grupo Energía del INTI en Buenos Aires.

**Cuadro 9.** Determinación del poder calorífico superior del híbrido *E grandis* x *E tereticornis*

Determinación	unidad	Albura	Duramen interm.	Duramen médula
Muestra 1	J/g	18.475	18.408	18.308
	Kcal/kg	4.413	4.397	4.373
Muestra 2	J/g	18.446	18.839	18.404
	Kcal/kg	4.406	4.500	4.396
Muestra 3	J/g		19.333	
	Kcal/kg		4.618 (*)	
Promedio	J/g	18.460	18.860	18.356
	Kcal/kg	4.409	4.505	4.384

(*) Se realizó una medición adicional para corroborar que el duramen da valores superiores

En el Cuadro 10 puede observarse que para porcentaje de ceniza los resultados son los normales para eucaliptos, con valores inferiores al 1% en madera, y valores altos, superiores al 5% en corteza.

Cuadro 10. Determinación de cenizas en madera y corteza del híbrido Eg x Et

Ceniza albura duramen			Ceniza en corteza		
muestra	% ceniza	Observaciones	muestra	% ceniza	Observaciones
1	0,18	albura	4	10,4	corteza
6	0,30	albura	5	9,59	corteza
2	0,42	duramen			
7	0,17	duramen			
3	0,37	medula			
8	0,28	medula			
promedio	0,29				9,82

Test de quemado de astillas

Como actividad complementaria en el laboratorio de Dendrología de la Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de La Plata, se llevó a cabo un test de quemado de astillas de la madera del híbrido Eg x Et, comparado con *E. grandis* y el híbrido *E grandis* x *E. camaldulensis*, en el 2011. Este test muestra la forma de quemar de las maderas, lo que se toma como un índice para su diferenciación y sus posibles destinos. Las maderas que quedan prácticamente intactas como carbonizadas indican su aptitud para la carbonización de tipo industrial, como por ejemplos los eucaliptos pesados, por el contrario las que se desmaterializan sin dejar residuos son aptos para quemar en calderas, por sus bajos residuos y contenidos.

Los resultados obtenidos corresponderían al Código 217 “Quemado de astilla a carbón, considerando Carbón el residuo carbonizado o ennegrecido de una astilla a la que, en general, se quema lentamente y/o con dificultad. Puede quedar adherida al residuo carbonizado de la astilla, una capa fina de ceniza negra o gris”.

Consideraciones a las Características energéticas

- Los valores del poder calorífico del híbrido Eg x Et lo ubican en una situación similar a *Eucalyptus grandis*, contando con la ventaja de tener mayor densidad, aunque es menor que su otro progenitor *E. tereticornis*.
- Es notable su bajo porcentaje de cenizas en madera, 0,29 %, lo que se tiene como un aspecto positivo en cuanto a exportación de nutrientes del monte, y por los pocos residuos que deja al ser empleado en calderas. En contrapartida la corteza tiene un alto tenor de cenizas (9%), lo que



indicaría la conveniencia de tratar de dejarla en el monte durante la cosecha.

- Sus valores permiten tenerlo como materia prima apta para los procesos energéticos que actualmente están en funcionamiento en Argentina, por lo que su aprovechamiento con este fin permitiría aprovechar residuos, o subproductos de otros procesos industriales, en particular el aserrado y sus reprocesamientos

Estas características son un elemento más que se suma a la posibilidad de fomentar su inclusión en los planes de fomento de plantaciones del estado y que podría ser parte de programas dendroenergéticos como energía alternativa renovable

6. Consideraciones - conclusiones generales

Es tal vez en lo concerniente a lo físico mecánico donde puede llegar a destacarse, dado que no sólo posee aptitud para mismos destinos que el *E. grandis* sino que en algunos empleos, en especial cuando se requiera más densidad y dureza, puede llegar a superarlo, tal es el caso de envases, embalajes, pisos, techos, muebles de jardín, vigas laminadas y entramadas y muy particularmente un mercado que el INTA está tratando de desarrollar como es el de construcciones y viviendas de madera, con sistemas livianos.

Dada su mayor densidad y dureza, y en la medida que se cuente con material adulto será recomendable estudiar las tecnologías más aptas para esta madera en el aserrado, donde seguramente habrá que adecuar el ángulo de ataque y paso de los dientes, y todo lo atinente a su secado posterior

De las consideraciones de cada temática se llega a las siguientes conclusiones generales

- En lo referente a propiedades anatómicas, el híbrido Eg x Et se encuadra dentro de las características normales de los eucaliptos, no existiendo alguna peculiaridad que lo destaque favorable, ni desfavorablemente.
- Se abre un panorama interesante en el estudio de elementos que puedan llegar a ser empleados como parámetros para correlacionar su comportamiento a stress hídrico, como así también el estudio de la ultraestructura de la punteaduras puede colaborar en la identificación.
- En cuanto a propiedades físico mecánicas, se ubican en forma intermedia entre los correspondientes de sus progenitores *E. grandis* y *E. tereticornis*. Cabe destacar un aumento de la densidad y la dureza en un 35 % para un material de tan rápido crecimiento, y el aumento del Módulo de elasticidad, de más del 30% respecto a los progenitores, lo que le abre buenas perspectivas para usos estructurales.
- En la medida que se tengan más plantaciones será conveniente estudiar su comportamiento al aserrado y la adecuación de las tecnologías para el mismo.
- Sus características lo hacen apto para todos los usos sólidos y paneles reconstituidos del mercado actual de *Eucalyptus grandis*, mejorando las propiedades de dureza y resistencia, aunque con colores más subido de tono lo que puede ser inconveniente o no según el caso.
- En cuanto a su aptitud celulósica no presenta mayores limitantes, puede tener mayor rendimiento en procesos que necesitan de más densidad, o ser menos eficiente cuando esto es una limitante, o por su tonalidad oscura, temas estos que podrán ser abordados por el mejoramiento forestal en el futuro. Los residuos de monte y aserradero pueden ser destinados a las fábricas que actualmente procesan *Eucalyptus grandis*.
- Como material xioloenergético, su poder calorífico y características de mayor densidad lo posicionan mejor que el *Eucalyptus grandis*, aunque con valores menores a los eucaliptos colorados. Esto no sería limitante para su empleo con este destino para diversos procesos, lo que también permitiría enviar residuos con esta finalidad.



- Sintetizando todas las propiedades y apuntando al objetivo de este trabajo, por los valores obtenidos se tiene que esta nueva madera no presenta mayores limitantes, y que sus rasgos menos favorables pueden ser encarados en el futuro con tecnologías adecuadas y por el mejoramiento genético. Sería conveniente continuar con estudios que traten ya de forma particular los temas en que puede ser optimizada esta madera.
- En general, las propiedades resultan en valores intermedios entre sus progenitores, *E. grandis* y *E. tereticornis*, correspondiéndose con su densidad intermedia que fluctúa entre 600 y 700 kg/m³. Las aplicaciones de su madera serían similares a *E. grandis* aunque con ventaja para los destinos que requieran mayor densidad, y con desventajas cuando la mayor coloración o su mayor densidad sea un inconveniente,
- En función de sus propiedades, y su aptitud a los procesos industriales al que hoy día se destina la madera de eucalipto en Argentina, se considera que es un híbrido apto para ser considerado en los planes de fomento de las plantaciones forestales del Gobierno, como así también en los futuros planes dendroenergéticos.

Trabajo completo: Caracterización de la madera del nuevo híbrido *Eucalyptus grandis*, Hill ex *Maiden* x *Eucalyptus tereticornis*, Smith, su aptitud de usos en Argentina; en https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/1708/1/TESIS211_121025.pdf