

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**CARACTERIZACIÓN ANATÓMICA DE LA MADERA  
DE HÍBRIDOS DE *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus dunnii*  
Y EVALUACIÓN DE SU POTENCIAL PARA LA  
PRODUCCIÓN DE CELULOSA Y PAPEL**

**por**

**Vera TORRES IBÁÑEZ  
Manuela María VALDÉS PÉREZ**

**Trabajo final de grado  
presentado como uno de los  
requisitos para obtener el  
título de Ingeniero Agrónomo**

**MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2024**

**PÁGINA DE APROBACIÓN**

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

---

Dra. Ing. Forestal Ana Paula Coelho

---

Dra. Lic. Marianella Quezada

Tribunal:

---

Lic. Biol. (Dra.) Marianella Quezada

---

Ing. Ind. For (MSc.) Julia Saenz

---

Ing. Agr. Damián Duarte

Fecha: 28 de noviembre de 2024

Estudiantes:

---

Vera Torres Ibáñez

---

Manuela María Valdés Pérez

## AGRADECIMIENTOS

A las directoras de este trabajo final de grado Dra. Ing. Forestal Ana Paula Coelho y Dra. Lic. Marianella Quezada por la guía y el apoyo durante todo este proceso.

A Eugenia Campón por acompañarnos durante las mediciones y a Nathalia Ferraz por su ayuda con el análisis estadístico.

Al Departamento Forestal por facilitarnos el equipamiento de trabajo y a Fernando por su amabilidad.

Gracias a la Agencia Nacional de Investigación e Innovación de Uruguay que financió el proyecto del cual surge este trabajo. Y a UPM por permitirnos formar parte de este estudio y facilitarnos el trabajo.

Gracias a nuestras familias y amigos, principalmente a Guillermo y Phillip, por acompañarnos y apoyarnos durante toda la carrera.

Y, por último, pero no menos importante, a todos los profesores que han formado parte de toda nuestra formación en los últimos años.

## TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	2
AGRADECIMIENTOS .....	3
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS .....	6
RESUMEN.....	7
ABSTRACT .....	8
1 INTRODUCCIÓN .....	9
1.1 OBJETIVOS.....	10
1.1.1 Objetivo General.....	10
1.1.2 Objetivos específicos.....	10
1.2 HIPÓTESIS .....	10
2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL GÉNERO EUCALYPTUS	
11	
2.1.1 Generalidades de la especie <i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill.....	11
2.1.2 Generalidades de la especie <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden .....	12
2.1.3 Hibridación en Eucalyptus.....	12
2.2 CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS.....	13
2.2.1 Madera.....	13
2.2.2 Fibras.....	13
2.2.2.1 Índice de calidad.....	16
2.2.2.2 Tipos de papel.....	17
2.3 CARACTERÍSTICAS DE CRECIMIENTO .....	17
2.3.1 Diámetro a la altura del pecho .....	17
2.3.2 Altura.....	17
2.3.3 Volumen .....	18
2.4 PRODUCCIÓN DE CELULOSA .....	18
2.4.1 Proceso .....	18
2.4.2 Proceso de producción de celulosa Kraft .....	19
2.4.2.1 Materia prima .....	19
2.4.2.2 Cocción .....	19
2.4.3 Rendimiento pulpable .....	20
2.5 DENSIDAD.....	20

2.5.1	Generalidades.....	20
2.5.2	Densidad Aparente.....	21
2.5.3	Densidad Aparente Básica.....	22
2.6	RELACIÓN ENTRE VARIABLES.....	22
3	MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
3.1	CAMPO EXPERIMENTAL.....	24
3.2	EVALUACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE CRECIMIENTO Y CALIDAD	25
3.3	ETAPA DE LABORATORIO.....	25
3.3.1	Macerado.....	26
3.3.2	AmScope.....	28
3.4	ETAPA DE GABINETE.....	29
3.4.1	Relación entre dimensiones de las fibras.....	29
3.4.2	Análisis de datos.....	30
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
4.1	ANÁLISIS DESCRIPTIVO.....	32
4.1.1	Variables de crecimiento.....	32
4.1.2	Variables de calidad.....	34
4.1.3	Variables anatómicas.....	35
4.2	ANÁLISIS DE VARIANZA.....	39
4.3	RELACIÓN ENTRE VARIABLES.....	42
4.4	FAMILIAS.....	45
5	CONCLUSIONES.....	48
6	BIBLIOGRAFÍA.....	49
7	ANEXO.....	57

## LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

<b>Tabla No.</b>	<b>Página</b>
<b>Tabla 1</b> Estudios biométricos de fibra para <i>Eucalyptus grandis</i> y <i>Eucalyptus dunnii</i> según edad y ubicación .....	15
<b>Tabla 2</b> Índice de esbeltez para <i>Eucalyptus dunnii</i> y <i>Eucalyptus grandis</i> , según autor, edad y ubicación .....	16
<b>Tabla 3</b> Densidad básica para <i>Eucalyptus dunnii</i> y <i>Eucalyptus grandis</i> , según autor, edad y ubicación .....	22
<b>Tabla 4</b> Media, mínimo, máximo y CV% para largo de fibra obtenido.....	36
<b>Tabla 5</b> Media, mínimo, máximo y CV% para ancho de fibra obtenido .....	37
<b>Tabla 6</b> Media, mínimo, máximo y CV% para índice de esbeltez obtenido .....	38
<b>Tabla 7</b> P-valor del análisis de varianza para el volumen y las variables de calidad evaluadas .....	39
<b>Tabla 8</b> Valores de p-valor del análisis de varianza realizado para las variables anatómicas .....	41
<b>Figura No.</b>	<b>Página</b>
<b>Figura 1</b> Discos de madera identificados según el número de muestra .....	27
<b>Figura 2</b> Gradilla luego de ser retirada de la estufa .....	27
<b>Figura 3</b> Medición de fibras utilizando un microscopio y la cámara .....	29
<b>Figura 4</b> Histograma de frecuencia de variables de crecimiento.....	32
<b>Figura 5</b> Histograma de frecuencia de variables de calidad.....	34
<b>Figura 6</b> Fibra vista en microscopio óptico 4x en preparado macerado .....	35
<b>Figura 7</b> Histograma de frecuencia de variables anatómicas .....	36
<b>Figura 8</b> Diagrama de caja para volumen y variables de calidad según cruzamiento ...	40
<b>Figura 9</b> Diagrama de caja para variables anatómicas según cruzamiento.....	42
<b>Figura 10</b> Correlación entre variables de interés .....	43
<b>Figura 11</b> Importancia de variables en el rendimiento pulpable .....	44
<b>Figura 12</b> Árbol de regresión, siendo la variable dependiente el rendimiento pulpable	45
<b>Figura 13</b> Clúster de familias .....	46

## RESUMEN

Uruguay ha sido el escenario de diversas investigaciones con híbridos de *Eucalyptus*, en este caso se estudiaron híbridos entre *Eucalyptus dunnii* y *Eucalyptus grandis* con el fin de combinar las características más deseables de ambas especies. Este trabajo tuvo como objetivo general caracterizar biométricamente las fibras de celulosa de 201 árboles de 3 años de edad de los híbridos mencionados, midiendo el largo y ancho de fibra de celulosa para, a partir de ellos, obtener el índice de esbeltez como indicador de calidad. Se realizó un macerado para poder visualizar y medir a través de microscopio óptico una totalidad de 25 fibras por cada árbol. Para complementar los datos medidos, UPM proporcionó datos de diámetro a la altura del pecho, altura, volumen, densidad básica y rendimiento pulpable de cada árbol. Las fibras observadas fueron libriformes, presentando un largo de fibra promedio de 808,0  $\mu\text{m}$  y un ancho de fibra promedio de 13,63  $\mu\text{m}$ . Para largo y ancho de fibra el cruzamiento presentó diferencias significativas siendo *E. dunnii* x *E. grandis* el híbrido con fibras más largas y finas presentando una media de 814,2  $\mu\text{m}$  de largo y de 13,34  $\mu\text{m}$  de ancho. Mientras que *E. grandis* x *E. dunnii* presentó fibras más cortas y anchas con medias de 795,2  $\mu\text{m}$  de largo y 14,25  $\mu\text{m}$  de ancho. El índice de esbeltez medio fue de 59,87% y al igual que el largo y ancho, presentó diferencias significativas entre cruzamientos siendo *E. dunnii* x *E. grandis* el cruzamiento con mayor esbeltez media de 61,55%, mientras que la de *E. grandis* x *E. dunnii* fue de 56,33%. Al igual que las características anatómicas, el volumen, la densidad básica y el rendimiento pulpable también presentaron diferencias significativas entre cruzamientos, siendo el híbrido *E. dunnii* x *E. grandis* el que presentó mayores medias en las tres variables mencionadas. Asimismo, se analizó la correlación entre volumen, densidad básica, rendimiento pulpable y esbeltez y todas las correlaciones obtenidas fueron positivas y significativas. Al analizar la importancia de las variables sobre el rendimiento pulpable se obtuvo que la que influye en mayor medida es la densidad básica, seguido por el volumen y por último la esbeltez, con valores de importancia de 57,80%, 57,66% y 50,94% respectivamente. Esto se reflejó en un árbol de regresión, donde un total de 37 individuos se encuentran en el grupo con mayor rendimiento pulpable. Con respecto a la comparación entre las 29 familias analizadas obtuvimos dos clusters diferentes. Estos se agrupan en su mayoría por cruzamiento, es decir, por un lado, aquellas familias *E. dunnii* x *E. grandis* y por otro aquellas *E. grandis* x *E. dunnii*. Todos los resultados obtenidos nos permitieron generar una base de datos de utilidad para la selección genómica.

*Palabras clave:* *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus dunnii*, híbridos, características anatómicas, índice de esbeltez

## ABSTRACT

Uruguay has been the scene of various investigations with *Eucalyptus* hybrids. In this case, hybrids between *Eucalyptus dunnii* and *Eucalyptus grandis* were studied in order to combine the most desirable characteristics of both species. The general objective of this work was to biometrically characterize the cellulose fibers of 201, 3-year-old trees of the mentioned hybrids, measuring the length and width of the cellulose fiber to obtain the slenderness index as a quality indicator. A maceration was done out to visualize and measure a total of 25 fibers from each tree using an optical microscope. To complement the measured data, UPM provided the diameter at breast high, height, volume, basic density and pulp yield for each tree. The observed fibers were libriform, presenting an average fiber length of 808,0  $\mu\text{m}$  and an average fiber width of 13,63  $\mu\text{m}$ . For fiber length and width hybrids presented significant differences, with *E. dunnii* x *E. grandis* being the one with the longest and thinnest fibers, presenting an average of 814,2  $\mu\text{m}$  long and 13,34  $\mu\text{m}$  wide. While *E. grandis* x *E. dunnii* presented shorter and wider fibers with averages of 795,2  $\mu\text{m}$  long and 14,25  $\mu\text{m}$  wide. The average slenderness index was 59,87% and like the length and width, it presented significant differences between hybrids with *E. dunnii* x *E. grandis* being the one with highest average slenderness of 61,55%, while that of *E. grandis* x *E. dunnii* was 56,33%. As well as the anatomical characteristics, volume, basic density and pulp yield also showed significant differences between hybrids, with *E. dunnii* x *E. grandis* showing differences the highest averages in the three variables mentioned. Likewise, the correlation between volume, basic density, pulp yield and slenderness were analyzed and all the correlations were positive and significant. When analyzing the importance of the variables on pulp yield, it was found that the one with the greatest influence is basic density, followed by volume and finally slenderness, with importance values of 57,80%, 57,66% and 50,94% respectively. This was represented in a regression tree, where a total of 37 individuals are in the group with the highest pulp yield. Regarding the comparison between the 29 families analyzed, we obtained two different clusters. These are mostly grouped by crossing, that is, on the one hand, those *E. dunnii* x *E. grandis* families and on the other hand, those *E. grandis* x *E. dunnii*. All the results obtained were used to generate a database useful for genomic selection.

*Keywords:* *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus dunnii*, hybrids, anatomical characteristics, slenderness index

## 1 INTRODUCCIÓN

En las últimas tres décadas, el sector forestal en Uruguay ha sido testigo de un gran progreso, tanto a nivel del cultivo como a nivel industrial. Fue en la década del 90 que se impulsó la segunda Ley Forestal (No. 15.939), la cual generó un evidente aumento en la extensión de las plantaciones de *Eucalyptus* y fomentó el desarrollo y la instalación de la industria en torno a la madera como materia prima (Boscana & Boragno, 2018).

Actualmente, el sector forestal es uno de los principales rubros exportadores de nuestro país. La implementación de políticas de estado e incentivos económicos generaron a lo largo de los años, un aumento en las inversiones extranjeras y nacionales, favoreciendo la instalación de plantas de celulosa y generando un crecimiento exponencial del sector. En el año 2022 se registró un valor de ventas al exterior, por parte del complejo forestal, de casi \$2.500 millones de dólares (Centro de Estudios de la Realidad Económica y Social [CERES], 2023).

Según el informe estadístico presentado por la Dirección General Forestal del Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca en el 2023, para el año 2022 se produjeron 2,7 millones de toneladas de pulpa celulosa química al sulfato blanqueada, siendo el principal producto de la industria forestal (Boscana & Faroppa, 2023). Actualmente en Uruguay hay tres plantas de producción de celulosa, dos pertenecientes a la empresa UPM y la tercera pertenece a la empresa Montes del Plata. El total de FOB U\$S exportado en 2022 fue de 1.913.547.624 (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca [MGAP], 2023).

Según el MGAP (2023), en el año 2021 se alcanzó una superficie acumulada efectiva de 1.103.686 hectáreas de plantaciones forestales. Asimismo, al presentar el desglose por especie, informaron que *Eucalyptus grandis* W. Hill y *Eucalyptus dunnii* Maiden fueron las dos especies con mayor superficie plantada.

La hibridación es una herramienta muy útil para el desarrollo y el mejoramiento de la producción de madera. Es el hecho de realizar combinaciones específicas, uniendo las características deseadas de diferentes especies lo que genera un gran atractivo sobre la producción de híbridos (López et al., 2010).

Teniendo en cuenta la relevancia de las especies *E. grandis* y *E. dunnii* en la producción de celulosa, este trabajo busca evaluar la anatomía de madera de híbridos tanto *E. grandis* x *E. dunnii*, como *E. dunnii* x *E. grandis*. Mediante la información recabada se podrá evaluar la calidad potencial de estos híbridos para la producción de celulosa para papel.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo General**

El objetivo general del presente trabajo es evaluar las características biométricas de las fibras de celulosa de híbridos entre *E. grandis* y *E. dunnii*.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- a. Desarrollar una base de datos de propiedades biométricas de la fibra de la madera.
- b. Calcular un indicador de calidad y aptitud del material para la producción de celulosa y papel.
- c. Estudiar la relación entre el indicador de aptitud y las variables de crecimiento y de calidad del proceso de pulpeo.

## **1.2 HIPÓTESIS**

La hipótesis principal de este trabajo es que las características biométricas estudiadas (largo y ancho de fibra de celulosa) son buenos predictores para la selección genómica.

## 2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL GÉNERO EUCALYPTUS

En 1788 el ciudadano francés Charles-Louis L'Héritier de Brutelle le dio nombre al género *Eucalyptus*, al caracterizar una muestra recolectada en la costa sur de Tasmania, Australia (Boland et al., 2006). Según los mismos autores, en la actualidad se conocen más de 900 especies pertenecientes al género, las cuales son mayoritariamente nativas de Australia. El género *Eucalyptus* pertenece a la familia Myrtaceae y dentro de esta a la subfamilia Myrtoideae.

La distribución geográfica de las distintas especies se vincula con las características climáticas y edafológicas de la zona a la que pertenecen, por este motivo las especies que prosperaron en Uruguay son aquellas que mejor se adaptaron a las condiciones de nuestro país. En el año 1853 se realizaron las primeras plantaciones en Uruguay, para ese entonces las especies que se hallaban eran *Eucalyptus globulus*, *E. elata*, *E. melanophloia*, *E. glaucina*, *E. diversifolia*, *E. sideroxylon*, *E. tereticornis*, entre otras; al comienzo la especie más destacada fue *E. globulus*, sin embargo, con el correr de los años y debido a la importancia a nivel productivo que adquirió el género *Eucalyptus* esta fue decreciendo (Brussa, 1994).

En la actualidad existen 1.087.109 hectáreas efectivas destinadas al uso forestal en nuestro país: 250.964 de estas hectáreas corresponden a *E. grandis* y *Eucalyptus saligna*, 216.581 hectáreas corresponden a la especie *E. dunnii*, 103.639 hectáreas corresponden a la especie *E. globulus* (incluyendo las subespecies *globulus*, *maidenii* y *bicostata*), finalmente unas 81.956 hectáreas corresponden a otras especies de *Eucalyptus* (Dirección General Forestal [DGF], 2021).

#### 2.1.1 Generalidades de la especie *Eucalyptus grandis* W. Hill

Según Boland et al. (2006) *Eucalyptus grandis* W. Hill es una especie caracterizada por su gran tamaño, pudiendo alcanzar una altura aproximada de 45 a 55 m y un diámetro a la altura del pecho (DAP) de 1,2 a 2 m. Comúnmente se halla en llanuras o en los bajos, principalmente en suelos arcillosos, profundos, fértiles, húmedos y bien drenados (Boland et al., 2006).

En la zona centro este de Uruguay predominan las plantaciones de la especie *E. grandis*, siendo una de las especies más escogidas por la industria forestal para la producción de celulosa, debido a su gran adaptabilidad y su elevada productividad, así como su calidad para la producción de celulosa y papel (Paseyro, 2015). Según la Cartografía Nacional Forestal realizada en el 2021, el conjunto de las especies *E. grandis* y *E. saligna* suman el 23,1% de la superficie efectiva forestal de nuestro país (DGF, 2021).

### 2.1.2 Generalidades de la especie *Eucalyptus dunnii* Maiden

La especie *Eucalyptus dunnii* Maiden puede alcanzar alturas promedio de 50 m y DAP de entre 1 y 1,5 m (Boland et al., 2006). Asimismo, su distribución natural se da principalmente en laderas bajas, de suelos húmedos y muy fértiles, destacándose ante especies como *E. grandis* por su tolerancia al frío y la elevada densidad básica de su madera (De los Santos, 2016). En la actualidad, es una de las especies más relevantes para la industria forestal uruguaya, representando el 19,9% de la superficie forestal efectiva de nuestro país (DGF, 2021).

### 2.1.3 Hibridación en *Eucalyptus*

La hibridación interespecífica es un proceso dentro del mejoramiento genético que se lleva a cabo con el fin de potenciar las características deseadas de las especies parentales, buscando obtener una nueva generación que reúna las cualidades de sus progenitores y que genere una mayor productividad (De Assis, 2000).

Cada especie y su interacción con el ambiente en el que se desarrolla se destaca por determinadas características como puede ser su tasa de crecimiento, la calidad de la madera, su capacidad de enraizamiento, entre otros. Sin embargo, al producir híbridos mediante el cruzamiento controlado de dos especies diferentes, se genera una nueva población de genotipos que reúne las características de ambas especies (Sánchez, 2012).

La industria forestal se encuentra en constante investigación con el fin de aumentar la calidad de la producción y las tasas de crecimiento. Es así, que se han estudiado diversos cruzamientos con el fin de encontrar híbridos que presentan un alto rendimiento ante diversas condiciones. Si bien hay pocos estudios de híbridos de *E. grandis* x *E. dunnii*, existen trabajos como el de Céspedes (2023) que estudia el

comportamiento de *E. grandis* x *E. urophylla* o el de Núñez (2012) que estudia árboles de *E. grandis* x *E. tereticornis*.

## 2.2 CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS

### 2.2.1 Madera

La madera es una estructura biológica compleja, dada por su composición química y por los distintos tipos de células que conforman su estructura. Es considerado un material anisotrópico, debido a la heterogeneidad que presenta. Las paredes celulares están principalmente compuestas por tres componentes orgánicos: celulosa, hemicelulosa y lignina (Wiedenhoeft, 2010).

Al estudiar la madera macroscópicamente, es posible identificar distintas partes, nombrándolas desde el exterior hacia el interior, se denomina corteza (externa e interna), cambium, albura y duramen. En su conjunto, estas estructuras cumplen con la función de sostén y de conducción de savia y agua a través de las células (Vignote & Martínez, 2006).

En la madera de Eucalyptus se pueden encontrar: elementos del vaso, parénquima axial, parénquima radial, fibras, traqueidas vasculares y traqueidas vascicéntricas (Giménez et al., 2014). Tanto la estructura como la anatomía de la madera determina la calidad de la pulpa de celulosa obtenida y consecuentemente el tipo de papel que se puede producir (Pirralho et al., 2014).

### 2.2.2 Fibras

Las fibras en la madera de latifoliadas cumplen la función casi exclusivamente de sostén y conforman la mayor proporción de la madera. Se caracterizan por ser células largas y estrechas con extremos puntiagudos. Se pueden encontrar tanto fibrotraqueidas, las cuales presentan puntuaciones areoladas, como fibras libriformes con puntuaciones simples (Giménez et al., 2014). Según Mantero et al. (2008) las fibras de *E. dunnii* son libriformes y se caracterizan por sus extremos ahusados en forma de cuña, al igual que las de *E. grandis* que las cuales han sido caracterizadas por Tomazello (1985) como fibrotraqueidas libriformes.

Para determinar la calidad de las fibras se deben de caracterizar biométricamente. Para ello se determinan ciertas características como el largo, el diámetro, el espesor de la

pared y el ancho del lumen. El largo de las fibras de celulosa influye en la resistencia del papel al desgarrado (Carrillo et al., 2017), es decir, cuanto más largas y flexibles las fibras, mayor es la resistencia del papel. Pero las fibras cortas y finas tienen mejores propiedades ópticas (Prinsen et al., 2012).

A lo largo de los años se han realizado varios estudios acerca de la anatomía de la madera enfocándose en diferentes especies de *Eucalyptus* dado que, como fue mencionado anteriormente, estas características se pueden relacionar a la productividad, y pueden ser útiles para la identificación de especies (Tabla 1). Por otro lado, Prinsen et al. (2012) estudiaron el largo y ancho de fibras de distintos híbridos de *Eucalyptus* de 5 años de edad plantados en Brasil. Los híbridos evaluados fueron *E. grandis* × *E. urophylla*, *E. urophylla* × *E. urophylla*, *E. grandis* × [*E. urophylla* × *E. globulus*] y [*E. dunnii* × *E. grandis*] × *E. urophylla*. Este estudio presenta un largo de fibra promedio comprendido entre 350 y 3000 μm, donde la mayoría se concentra de 750 a 2000 μm y un ancho entre 12 y 23 μm. Céspedes (2023) presentó un largo de fibra de 908 μm y un ancho de fibra de 13 μm para árboles *E. grandis* × *E. urophylla* de 5 años de edad plantados en Perú. Núñez (2012) realizó un estudio acerca de la anatomía del híbrido *E. grandis* × *E. tereticornis* ubicados en Entre Ríos, Argentina presentando un largo de 903 μm y un ancho de 11,5 μm.

**Tabla 1**

*Estudios biométricos de fibra para Eucalyptus grandis y Eucalyptus dunnii según edad y ubicación*

<b>Especie</b>	<b>Largo de fibra (µm)</b>	<b>Ancho de fibra (µm)</b>	<b>Edad</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Fuente</b>
<i>E. dunnii</i>	890,00	11,02	5 años	Tacuarembó, Uruguay	Mantero et al. (2008)
	680,00	14,00	4 años	Litoral Oeste de Uruguay	De los Santos (2016)
	833,07	14,39	7 años	Salto Caveiras, Brasil	Seibert et al. (2017)
	808,00	13,80	5 años	Buenos Aires	Area et al. (2007)
<i>E. grandis</i>	975,64	22,68	11 años	Este de Uruguay	Verocay (2022)
	931,00	15,20	12 años	Mesopotamia Argentina	Núñez (2007)
	780,00	-	18 años	Noreste de Uruguay	Doldán (2003) (madera juvenil)
	1050,00	-	18 años	Noreste de Uruguay	Doldán (2003) (madera adulta)
	964,00	13,6	4 años	Buenos Aires	Area et al. (2007)

### 2.2.2.1 Índice de calidad

El índice de esbeltez o también conocido como coeficiente de Peteri presenta la relación entre el largo y el ancho de la fibra, ambos medidos en  $\mu\text{m}$  (Tabla 2).

**Tabla 2**

*Índice de esbeltez para Eucalyptus dunnii y Eucalyptus grandis, según autor, edad y ubicación*

Especie	IE (%)	Edad	Ubicación	Fuente
<i>E. dunnii</i>	58,00	5 años	Buenos Aires	Area et al. (2007)
	85,87	5 años	Tacuarembó	Mantero et al. (2008)
	60,21	7 años	Salto Caveiras	Seibert et al. (2017)
	58,96	5 años	Rio Grande del Sur	Baldin et al. (2017)
<i>E. grandis</i>	55,18	4 años	India	Dutt y Tyagi (2011)
	46,00	-	España	Bermúdez et al. (2002)
	58,00	5 años	Rio Grande del Sur	Baldin et al. (2017)

Brisola y Demarco (2011) obtuvieron un índice de esbeltez de 55% para *E. grandis x E. urophylla* de 6 años plantados en San Pablo, Brasil. Mientras que Dos Santos y Sansígolo (2007) estudiaron dos clones de híbridos de *E. grandis x E. urophylla*, uno de baja densidad ( $440 \text{ kg/m}^3$ ) y otro de alta densidad ( $508 \text{ kg/m}^3$ ) obteniendo valores de esbeltez de 49,32 y 45,44 respectivamente. Los árboles tenían 6,5 y 6 años y fueron plantados en San Pablo, Brasil.

Este índice está estrictamente relacionado a la densidad del papel como también a la digestibilidad de la pulpa (Pirralho et al., 2014). Un índice de esbeltez elevado asegura un alto índice de entrelazado entre fibras, esto se ve reflejado en una alta resistencia al rasgado, alta resistencia a la tracción y al reventamiento (Mantero et al., 2008). Un índice de esbeltez entre 70 - 80% asegura una resistencia satisfactoria especialmente al desgarramiento del papel (Area & Popa, 2014).

### 2.2.2.2 Tipos de papel

Las propiedades de la celulosa resultante no dependen únicamente del proceso de producción y de los químicos a los que fue sometido, sino que también se ve estrictamente ligado a la anatomía de la madera como ser, el largo y ancho de fibras, el espesor de la pared celular, la dimensión de los elementos del vaso y la composición química. Es decir que tanto el proceso de producción elegido como la materia prima serán los factores que determinen las características del papel producido y cuáles son las condiciones a las que se verá sometido durante el proceso de producción (Mantero et al., 2008).

La pulpa de celulosa proveniente de los árboles de Eucalyptus son mayormente utilizadas para la producción de papel tissue y papel para impresión. El primero se destaca por ser áspero y su baja resistencia mecánica dada una baja unión entre las fibras. Mientras que el segundo presenta buenas condiciones ópticas, destacándose la opacidad, una buena formación de la hoja y alta resistencias mecánicas dada la alta unión entre fibras (Mantero et al., 2008).

## 2.3 CARACTERÍSTICAS DE CRECIMIENTO

### 2.3.1 Diámetro a la altura del pecho

Para poder calcular el volumen de madera que se obtiene en cada plantación existen diversas mediciones. En primer lugar, es importante medir el diámetro a la altura del pecho (DAP) de los árboles en pie. Esta medida se toma a 1.30 m de altura desde la base del árbol. Para realizar la medida del DAP se utilizan instrumentos como la cinta métrica, la forcípula o la cinta diamétrica (Ordoñez et al., 2012).

Massaro et al. (2010) midieron árboles de Eucalyptus spp. de 2 años en Brasil y obtuvo una media de 10,92 cm. Asimismo, Hsing et al. (2016) presentaron un trabajo en el cual se midió el DAP de clones de *E. grandis* x *E. urophylla* de 2,25 años, también realizado en San Pablo, Brasil, obteniendo una media de 11,48 cm.

### 2.3.2 Altura

Otra medida relevante a la hora de calcular el volumen de madera producido es la altura de los árboles, esta se puede medir teniendo en cuenta la altura total del árbol o la altura comercial del mismo. La altura se suele medir utilizando principios

trigonométricos, por medio de un hipsómetro, a una distancia del árbol predeterminada (Cungachi, 2024).

En el trabajo de Massaro et al. (2010) para árboles de 2 años de *Eucalyptus* spp. se obtuvo una media para la altura total de 13,91 m, mientras que en el de Hsing et al. (2016) se obtuvo un valor similar, presentando una media de 14,97 m para la altura total de los árboles de 2,25 años de *E. grandis x E. urophylla*.

### 2.3.3 Volumen

La medición del volumen ha presentado grandes dificultades debido a que es muy compleja su determinación directa. Es así como se suelen realizar estimaciones mediante ecuaciones matemáticas que relacionan el volumen con otros valores cuyas mediciones son más sencillas como el DAP o la altura (Filio, 2010).

Massaro et al. (2010) alcanzaron una media de 0,0627 m<sup>3</sup> por árbol mientras que Hsing et al. (2016) obtuvieron una media de volumen por árbol de 0,0738 m<sup>3</sup>.

## 2.4 PRODUCCIÓN DE CELULOSA

### 2.4.1 Proceso

Mediante el proceso de producción de celulosa, se busca obtener las fibras de celulosa de la madera, en conjunto con la hemicelulosa. Para eso se deben extraer todos los componentes cementantes entre ellos. El proceso de extracción elegido depende de la materia prima y del tipo de papel que se quiere producir (Achaw & Danso-Boateng, 2021).

El proceso puede ser mecánico, químico o semi-químico. Dentro de los procesos químicos se destaca con un 89% de la producción mundial, el proceso de producción de celulosa Kraft; a su vez abarca un 62% de la producción de celulosa tanto química, semi-química y mecánica (Sixta et al., 2006). Este método produce una pulpa resistente debido al largo de la fibra y al bajo contenido de lignina (Achaw & Danso-Boateng, 2021).

## 2.4.2 Proceso de producción de celulosa Kraft

### 2.4.2.1 Materia prima

Las trozas al ingresar a la planta industrial se ven sometidas a un descortezado, para luego ser chipeados a un tamaño preestablecido. Los chips pasan por un tamiz para determinar si el tamaño obtenido es el correcto o si deben de volver a pasar por la máquina mencionada (Achaw & Danso-Boateng, 2021).

### 2.4.2.2 Cocción

Los chips de madera ingresan a un digestor. Primero son sometidos a una zona con baja presión de vapor (100 kPa) con el objetivo de volatilizar los gases no condensables; Luego se dirige a una zona de alta presión donde se verán sometidos al líquido de cocción por una hora y media a 170 °C de temperatura y 900 kPa de presión (Achaw & Danso-Boateng, 2021).

El líquido de cocción es un licor blanco formado por hidróxido de sodio cáustico y sulfuro de sodio. Este busca hidrolizar la lignina que cementa a la celulosa, la hemicelulosa y otros compuestos orgánicos (Achaw & Danso-Boateng, 2021). El proceso de deslignificación se subdivide en 3 fases: inicial, masiva y final. En la fase inicial se estima una reducción de 15-25% de la lignina; en la fase masiva se elimina la mayor parte de la lignina. Por último, en la fase final de deslignificación se elimina un 10-15% de la lignina. A medida que avanza el proceso de deslignificación, la disolución de carbohidratos aumenta considerablemente, pero para mantener la calidad de la celulosa el proceso se ve limitado hasta cierto grado para poder alcanzar un número Kappa deseable (Sixta et al., 2006).

Para finalizar la etapa de cocción, ingresa licor frío en el digestor. Los chips son lavados para disminuir el contenido de químicos y bajar la presión del sistema, consecuentemente, se produce vapor que será utilizado para pre vaporizar a los chips que ingresan al digestor. Luego, se dirigen a la planta de blanqueo. Por otro lado, el licor resultante ahora llamado licor negro es sometido a una serie de mallas para eliminar nudos, chips sin reaccionar y otros residuos antes de dirigirse a la línea de recuperación de residuos (Achaw & Danso-Boateng, 2021).

### 2.4.3 Rendimiento pulpable

Una de las formas de controlar los procesos de producción de celulosa Kraft es mediante el cálculo del rendimiento. Este determina qué porcentaje del peso inicial fue transformado en pulpa (Doldán, 2007).

Se puede obtener el rendimiento bruto y el tamizado. El primero resulta de la relación de la masa obtenida luego de la cocción incluyendo aquellos trozos no cocidos o también identificados como rechazo del proceso y la masa de chips que ingresa en el proceso. Mientras que el segundo resulta de la relación entre la masa de fibras de pulpa luego de ser tamizada y la masa de chips que ingresa (Doldán, 2007).

Otra forma de medir el rendimiento pulpable es mediante la técnica de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS). Esta técnica consiste en determinar la absorción de luz por parte de las muestras, analizando los espectros lumínicos que estiman el comportamiento de estas. El espectro lumínico permite conocer los componentes de las muestras analizadas, al medir la energía que es absorbida por los enlaces químicos de cada uno de estos componentes (Tsuchikawa & Kobori, 2015).

Doldán et al. (2008) presentaron un rendimiento bruto a Kappa 20 para *E. grandis* de 51,7% y de 51,1% para *E. dunnii*. En este estudio se utilizaron árboles entre 8 y 10 años plantados en diferentes regiones de Uruguay. De los Santos (2016) presentó un rendimiento pulpable de 52,6% para *E. dunnii* de 6 años ubicados en el Litoral Oeste del Uruguay. Dos Santos y Sansígolo (2007) presentaron un rendimiento bruto de 51% para híbridos *E. grandis x E. urophylla* de baja densidad (440 kg/m<sup>3</sup>) y de 50,76% para híbridos de alta densidad (508 kg/m<sup>3</sup>). Híbridos de 6,5 y 6 años respectivamente, ambos plantados en San Pablo (Brasil).

## 2.5 DENSIDAD

### 2.5.1 Generalidades

La densidad o peso específico de la madera es una propiedad que determina su resistencia, elasticidad y dureza, es por eso por lo que muchas características mecánicas y físicas dependen de esta propiedad (Suirezs & Berger, 2009). La densidad es la relación entre la masa y el volumen (Ecuación 1). Puede ser medido en g/cm<sup>3</sup> o en kg/m<sup>3</sup>.

$$D = \frac{m}{v}$$

### Ecuación 1

Donde; D: densidad; m: masa (g); v: volumen (cm<sup>3</sup>)

Hay dos tipos de densidad, la real y la aparente. La primera determina la relación entre el peso y el volumen total de la madera sin contemplar los poros, es por eso por lo que todos los árboles presentan una densidad real entre 1,53 y 1,56 g/cm<sup>3</sup> (Suirezs & Berger, 2009). La segunda, que contempla la presencia de poros, puede ser a su vez clasificada como únicamente aparente o aparente básica.

#### 2.5.2 Densidad Aparente

La densidad aparente es la relación entre el peso y el volumen total de la madera contemplando los poros. Este valor puede variar entre 0,1 y 1,4 g/cm<sup>3</sup> (Suirezs & Berger, 2009). Esta característica depende de la anatomía de la madera, principalmente del tamaño de las células, el espesor de sus paredes y la interacción entre el número de células de diferentes tipos (Williams, 2010).

Teniendo en cuenta la compleja anatomía de las especies latifoliadas, no es posible identificar una relación entre la densidad y un solo tipo de células. Al enfocarnos en las fibras y los vasos, es posible determinar que cuanto más gruesas las paredes de las fibras, mayor es la densidad; y cuanto mayor es el diámetro y/o la frecuencia de los vasos, menor será la densidad (Williams, 2010).

Una mayor densidad de la madera probablemente se encuentre vinculada a fibras de paredes celulares más gruesas, las cuales producen un papel con una buena calidad de impresión y opacidad. Por el contrario, en las maderas de baja densidad las fibras tienen paredes celulares delgadas y a su vez presentan una mayor proporción de vasos, estas características generan un papel resistente a la tracción y al reventamiento. El largo de las fibras no debería influir en la densidad de la madera, pero sí en la resistencia del papel (Carrillo et al., 2017). Doldán (2003) comprobó en su estudio que existe una correlación muy baja entre la densidad aparente básica y el largo de fibras, presentando una gran dispersión de datos.

### 2.5.3 Densidad Aparente Básica

La densidad aparente básica determina la relación del peso seco sobre el volumen saturado (Ecuación 2) (Suirezs & Berger, 2009). Se puede estimar siguiendo la ecuación:

$$DAb = \frac{Po}{Vs}$$

#### **Ecuación 2**

Donde: Po: peso de la muestra seca (gr); Vs: volumen de la muestra saturada (cm<sup>3</sup>).

**Tabla 3**

*Densidad básica para Eucalyptus dunnii y Eucalyptus grandis, según autor, edad y ubicación*

<b>Especie</b>	<b>DAb (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Edad</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Fuente</b>
	0,400	5 años	Tacuarembó	Mantero et al. (2008)
<i>E. dunnii</i>	0,430	-	Argentina	Núñez (2014)
	0,434	2 años	-	De los Santos (2016)
	0,499	8 - 10 años	-	Doldán et al. (2008)
<i>E. grandis</i>	0,423	8 - 10 años	-	Doldán et al. (2008)
	0,43	-	-	Doldán (2003)

Hsing et al. (2016) presentaron una densidad básica de 0,441 g/cm<sup>3</sup> para híbridos *E. grandis* x *E. urophylla* con 2,25 años plantados en San Pablo.

## **2.6 RELACIÓN ENTRE VARIABLES**

La relación entre diferentes variables se puede medir mediante correlación de Pearson, la cual permite determinar la asociación lineal que existe entre las variables (Dagnino, 2014). Raymond et al. (2001) estudiaron la correlación de Pearson entre la densidad básica y el rendimiento pulpable para *E. globulus*, siendo esta significativa y positiva, presentando valores de  $r = 0,19$ . Labbé (2010) estudió la correlación entre

volumen y densidad y entre volumen y rendimiento pulpable. La primera correlación presentó valores negativos desde -0,248 al -0,022. Mientras que la correlación entre volumen y rendimiento pulpable presentó valores positivos y negativos según el ensayo evaluado, con valores desde -0,335 a 0,315. A su vez evaluó la correlación entre densidad y rendimiento pulpable y obtuvo valores desde 0,446 y 0,897. Estudiaron árboles de 10 y 11 años de la especie *E. globulus* en Araucanía, Chile.

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 CAMPO EXPERIMENTAL

En el marco de este proyecto se llevaron a cabo dos ensayos que fueron analizados para obtener datos genómicos y de calidad de madera mediante NIRs. En primer lugar, el ensayo número 1 fue realizado en Young, Río Negro, cuyo CONEAT predominante es de 9.1 (UPM, comunicación personal, 2023). Este ensayo fue plantado el 27/04/2020 y el espaciamiento entre plantas fue de 3 x 2,4m, plantando 1.388 plantas/ha. Dado que el ensayo se desarrolla en 1,17 hectáreas, se halla una totalidad de 1.620 plantas. El diseño consta de 5 bloques, y en cada uno de ellos se encuentran 108 parcelas (6 x 18), sumando un total de 540 parcelas en la totalidad del ensayo. Dentro de cada parcela hay tres plantas, usualmente de la misma familia.

Por otro lado, en la localidad de Quebracho, Paysandú, se llevó a cabo el ensayo 2. En este caso el CONEAT predominante es 9.2 (UPM, comunicación personal, 2023), y el espaciamiento entre plantas fue de 3,5 x 2m. Asimismo, se plantaron 1.428 plantas/ha, en un total de 1,17 hectáreas, alcanzando una totalidad de 1.620 plantas. La fecha de plantación fue el 29/04/2020. El número de bloques, parcelas y repeticiones se mantiene con respecto al ensayo número 1.

En ambos casos se utilizaron diferentes familias y los mismos testigos para realizar la comparación. Dentro de los árboles plantados en ambos ensayos podemos encontrar las especies *E. grandis* y *E. dunnii* al igual que los híbridos *E. grandis x E. dunnii* y *E. dunnii x E. grandis*.

El diseño experimental es de bloques incompletos, por lo que no todos los tratamientos<sup>1</sup> fueron aplicados en cada bloque. Dentro del ensayo 1 se evaluaron una totalidad de 125 familias mientras que en el 2 se evaluaron 104 de esas 125.

---

<sup>1</sup>Los tratamientos hacen referencia a las familias

### 3.2 EVALUACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE CRECIMIENTO Y CALIDAD

A los 3 años de edad a cada uno de los árboles que seguían en pie se le midió el diámetro a la altura del pecho (DAP) en centímetros y la altura del árbol en metros. A partir de estos datos se obtuvo el volumen ( $m^3$ ) de cada árbol.

A su vez, se evaluó la calidad de la madera mediante densidad básica ( $kg/m^3$ ) y rendimiento pulpable (%).<sup>2</sup> La densidad básica fue determinada mediante las normas TAPPI, en laboratorio y previo a la realización de este trabajo. El rendimiento pulpable fue determinado a partir de la técnica de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS). Estas estimaciones fueron realizadas en el laboratorio de calidad de madera del Centro de Investigaciones Forestales de UPM - Forestal Oriental.

### 3.3 ETAPA DE LABORATORIO

Dentro de los 811 árboles utilizados para analizar la calidad de la madera, se seleccionaron 201 árboles que fueron utilizados para la caracterización anatómica. Dentro de estos, 136 árboles pertenecen al cruzamiento *E. dunnii* x *E. grandis* y los 65 restantes son *E. grandis* x *E. dunnii*. Asimismo, 108 de estos árboles pertenecen al ensayo 1 y 93 al ensayo 2. El material genético utilizado para la caracterización anatómica está conformado por 29 familias de hermanos completos, es decir de padre y madre conocidos.

Hay una totalidad de 14 madres diferentes y 17 padres diferentes, en 3 casos un mismo individuo fue madre en ciertos cruzamientos y padre en otros, por lo que los individuos pertenecientes a estas familias son medios hermanos entre sí. Hay un total de 28 combinaciones de estas madres y padres, por lo que hay 2 familias que presentan el mismo cruzamiento, pero recíproco.

Se obtuvieron 201 discos de madera a 1,30 m de altura desde la base de cada árbol (Figura 1). Las muestras fueron acondicionadas en condiciones de humedad y temperatura constante. Para la caracterización anatómica se tomó una muestra de la

---

<sup>2</sup> Los datos de DAP, altura, volumen, densidad básica y rendimiento pulpable fueron proporcionados por la empresa.

posición radial de cada disco y con los siguientes materiales se realizó una práctica de laboratorio:

- tubos de ensayo;
- gradilla;
- ácido acético glacial;
- peróxido de hidrógeno;
- papel de aluminio;
- estufa de laboratorio;
- agua destilada;
- malla;
- pipeta electrónica;
- portaobjetos y cubreobjetos;
- microscopio óptico Olympus BH;
- cámara y procesador “AmScope” modelo “MU853B”;
- alcohol 70%;
- hacha;
- mazo.

### 3.3.1 Macerado

De cada uno de los discos (Figura 1) se extrajo un aproximado de 50 mg de astilla a lo largo de todo el radio, utilizando un hacha y un mazo. Las astillas fueron colocadas en un tubo de ensayo identificado con el número de muestra. En cada tubo de ensayo se agregó peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) y ácido acético glacial en proporción 1:1, hasta

cubrir las astillas completamente. Cada tubo fue tapado con papel de aluminio y colocado en la estufa de laboratorio, utilizando una gradilla, a 60°C por 10 horas (Figura 2).

### Figura 1

*Discos de madera identificados según el número de muestra*



### Figura 2

*Gradilla luego de ser retirada de la estufa*



Una vez transcurrido el tiempo, se descartó la solución de ácido acético y peróxido de hidrógeno utilizando una malla para conservar las fibras. Las fibras fueron lavadas cuatro veces con agua destilada y luego se incorporó agua destilada a cada tubo de ensayo hasta cubrir las fibras completamente. Finalmente se volvió a cubrir el tubo de ensayo con papel aluminio y se agitó, generando la desfibrilación necesaria para su posterior visualización al microscopio.

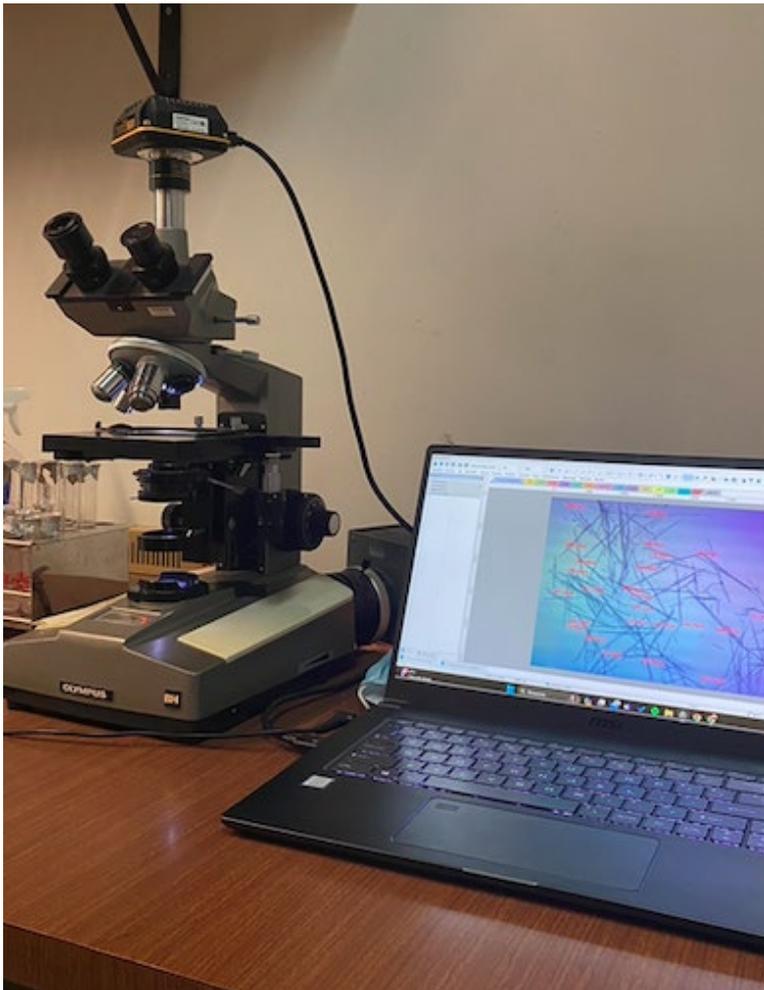
Con una pipeta electrónica se tomó una muestra de 0,1 ml, la cual se colocó en el portaobjetos, y se cubrió con el cubreobjetos, para luego ser colocada en el microscopio.

### 3.3.2 AmScope

Con el uso del software de AmScope (*AmScope*, 2023) y la cámara modelo MU853B conectada al microscopio óptico se midieron un total de 25 fibras para cada una de las muestras con el objetivo 4x. Para cada fibra se determinó el largo y el ancho, utilizando la herramienta de medición lineal (Figura 3).

**Figura 3**

*Medición de fibras utilizando un microscopio y la cámara*

**3.4 ETAPA DE GABINETE****3.4.1 Relación entre dimensiones de las fibras**

Para cada una de las 201 muestras se obtuvo un valor promedio de largo y ancho de fibra, con su valor mínimo, valor máximo, desvío estándar y coeficiente de variación, utilizando las 25 mediciones realizadas para cada una de las muestras.

A partir de los datos promedios de largo y ancho de fibra se calculó un valor de esbeltez (Ecuación 3).

$$Esbeltez = \frac{Largo\ de\ Fibra\ (\mu m)}{Ancho\ de\ Fibra\ (\mu m)} \times 100$$

**Ecuación 3**

### 3.4.2 Análisis de datos

Se evaluaron una totalidad de 8 variables continuas: diámetro a la altura del pecho, altura, volumen, rendimiento pulpable, densidad básica, largo de fibra de celulosa, ancho de fibra de celulosa y esbeltez de fibra.

Las variables de volumen, densidad básica, rendimiento pulpable, largo de fibra, ancho de fibra y esbeltez se ajustaron a un modelo lineal general univariado para el análisis de varianza (ANOVA). El modelo ajustado fue el siguiente:

$$y_{ijklm} = \mu + P_j + L_i + B(L)_{ik} + F_l + e_{ijklm}$$

Donde:

$y_{ijklm}$ : es la m observación del i ensayo, del j bloque, del l cruzamiento de la k familia.

$\mu$ : media general

P: efecto del tipo de cruzamiento, con  $j = 1, 2$

L: efecto del ensayo, con  $i = 1, 2$

B: efecto del bloque dentro del ensayo, con  $k = 1, 2, 3, 4, 5$

F: efecto de la familia

e: efecto residual  $\sim N(\mu, \sigma e)$

Para corroborar que se cumplan los supuestos de la distribución normal de los residuos se graficaron los valores ajustados en función de los residuos, se realizó un gráfico de Q-Q plot, un histograma de frecuencia de los residuos, un gráfico de escala localidad de los residuos y uno de leverage.

Para el cruzamiento se realizó una prueba de Tukey con p-valor  $< 0,05$ .

Con los datos ajustados obtenidos con el modelo, se realizó un análisis de correlación de Pearson entre las variables de volumen, densidad básica, rendimiento pulpable y esbeltez.

Luego, se realizó un análisis de importancia de las variables de volumen, densidad básica y esbeltez sobre el rendimiento pulpable. Asimismo, se realizó un análisis de regresión lineal entre las variables mencionadas para la estimación del rendimiento pulpable.

La diversidad entre las familias fue estimada empleando la metodología K-means y graficada en un dendrograma. Para ello se utilizó las medias ajustadas de volumen, densidad básica, rendimiento pulpable y esbeltez obtenidas a partir del modelo aplicado.

Para esta etapa se utilizó el software R libre versión 4.3.1.

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

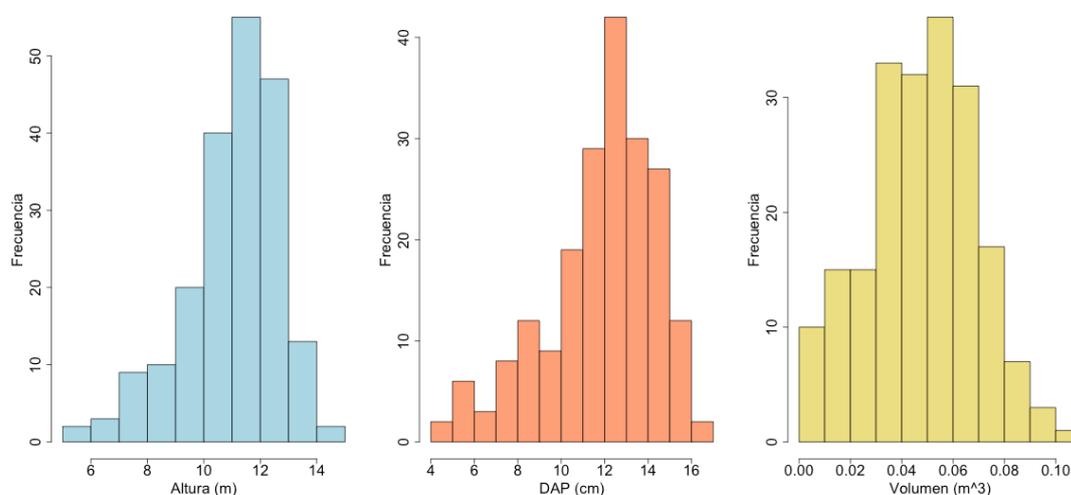
### 4.1 ANÁLISIS DESCRIPTIVO

Para llevar a cabo el análisis descriptivo primero debemos diferenciar las variables estudiadas. Por un lado, se encuentran las variables de crecimiento, representadas por la altura, el diámetro a la altura del pecho y el volumen. Por otro lado, están las variables de calidad, siendo estas la densidad básica y el rendimiento pulpable. Finalmente, se encuentran las variables anatómicas, las cuales fueron medidas en el marco de este estudio, y son tanto el largo y el ancho de las fibras como el índice de esbeltez.

#### 4.1.1 Variables de crecimiento

#### Figura 4

*Histograma de frecuencia de variables de crecimiento*



El diámetro a la altura del pecho (DAP) promedio obtenido fue de 11,96 cm, siendo el valor mínimo de 4,50 cm y el máximo de 16,60 cm (Figura 4). Aquellos árboles resultantes del cruzamiento *E. dunnii* x *E. grandis* presentaron una media de 12,23 cm, y los datos se comprenden en un rango de 4,50 cm a 16,60 cm. Mientras que los resultantes del cruzamiento *E. grandis* x *E. dunnii* presentaron una media de 11,40 cm, y el mínimo fue de 5,50 cm y el máximo 15,70 cm. Teniendo en cuenta los valores obtenidos en trabajos precedentes, como el de Hsing et al. (2016) que presentó una media de 11,48 cm para árboles *E. grandis* x *E. urophylla* de 2,25 años plantados en San Pablo, Brasil, o Massaro et al. (2010) que obtuvieron una media de 10,92 cm para árboles de 2 años de edad de *Eucalyptus* spp. plantados en Brasil, podemos determinar que los valores de DAP

obtenidos en este trabajo concuerdan con lo reportado para las especies y cruzamientos estudiados.

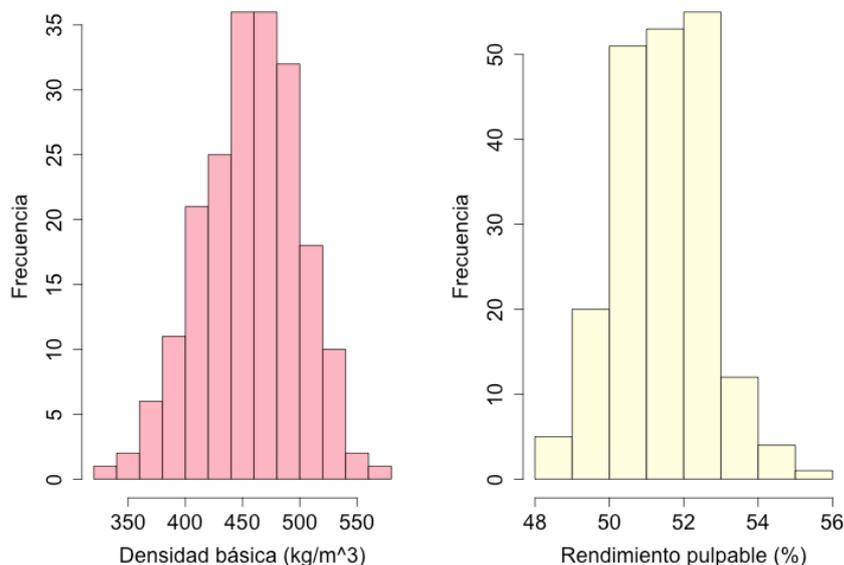
Los datos obtenidos demostraron una altura media de 11,16 m con un mínimo de 5,75 m y un máximo de 14,25 m. Aquellos árboles resultantes del cruzamiento *E. dunnii* x *E. grandis* presentaron una media de 11,29 m y los datos se encontraron en un rango de 5,75 m a 14,25 m. Mientras que los resultantes del cruzamiento *E. grandis* x *E. dunnii* presentaron una media de 10,89 m en un rango de 7,00 m a 14,25 m. Hsing et al. (2016) obtuvieron una altura media de 14,97 m para árboles *E. grandis* x *E. urophylla* de 2,25 años de edad, mientras que Massaro et al. (2010) obtuvieron una altura media de 13,91 m para árboles de 2 años de edad de *Eucalyptus* spp. La altura media obtenida en este trabajo puede ser considerada levemente menor que las mencionadas anteriormente, sin embargo, estas diferencias son esperables ya que no se trata de la misma especie ni del mismo ambiente de desarrollo.

El volumen promedio fue de 0,0475 m<sup>3</sup> por árbol, siendo el valor mínimo 0,0036 m<sup>3</sup> y el máximo 0,1011 m<sup>3</sup>. Para los árboles *E. dunnii* x *E. grandis* la media es de 0,0495 m<sup>3</sup>, con mínimos de 0,0036 m<sup>3</sup> y máximos de 0,1011 m<sup>3</sup>, mientras que para *E. grandis* x *E. dunnii* la media es de 0,0431 m<sup>3</sup> con mínimos de 0,0068 m<sup>3</sup> y máximos de 0,0924 m<sup>3</sup>. El volumen presentado en trabajos anteriores como el de Hsing et al. (2016) que obtuvieron un volumen medio de 0,0738 m<sup>3</sup> o Massaro et al. (2010) que obtuvieron una media de 0,0627 m<sup>3</sup>, son valores más elevados pero que se encuentran dentro del rango obtenido en este trabajo. Estos valores se calculan a partir del DAP y de la altura, con lo cual las diferencias existentes se vinculan con las diferencias presentadas para las variables anteriores.

#### 4.1.2 Variables de calidad

**Figura 5**

*Histograma de frecuencia de variables de calidad*



En cuanto a la densidad básica media fue de 457,0 kg/m<sup>3</sup>, con valores mínimos de 337,0 kg/m<sup>3</sup> y máximos de 560,6 kg/m<sup>3</sup> (Figura 5). Aquellos árboles resultantes del cruzamiento *E. dunnii* x *E. grandis* presentaron una media de 474,7 kg/m<sup>3</sup>, con valores mínimos de 337,0 kg/m<sup>3</sup> y máximos de 560,6 kg/m<sup>3</sup>. En el caso de los resultantes del cruzamiento *E. grandis* x *E. dunnii* la media fue de 420,1 kg/m<sup>3</sup>, el mínimo de 346,7 kg/m<sup>3</sup> y el máximo de 485,5 kg/m<sup>3</sup>. Los cuales coinciden con la presentada por Mantero et al. (2008), Núñez (2014), De los Santos (2016), Doldán et al. (2008), Doldán (2003) y Hsing et al. (2016).

El rendimiento pulpable presentó una media de 51,45%, con valores mínimos de 48,33% y máximos de 55,05%. En el caso del cruzamiento *E. dunnii* x *E. grandis* la media fue de 51,76%, con valores mínimos de 48,74% y máximos de 55,05%. Para los árboles *E. grandis* x *E. dunnii* la media fue de 50,80% con valores mínimos de 48,33% y máximos de 53,50%. Según lo presentado por Doldán et al. (2008), De los Santos (2016) y Dos Santos y Sansígolo (2007) los valores obtenidos coinciden con los esperados.

#### 4.1.3 Variables anatómicas

Las fibras observadas son libriformes (Figura 6), lo cual coincide con lo demostrado por Mantero et al. (2008) y Tomazello (1985). Al comparar las fibras de los diferentes cruzamientos no es posible observar diferencias a simple vista entre ellos.

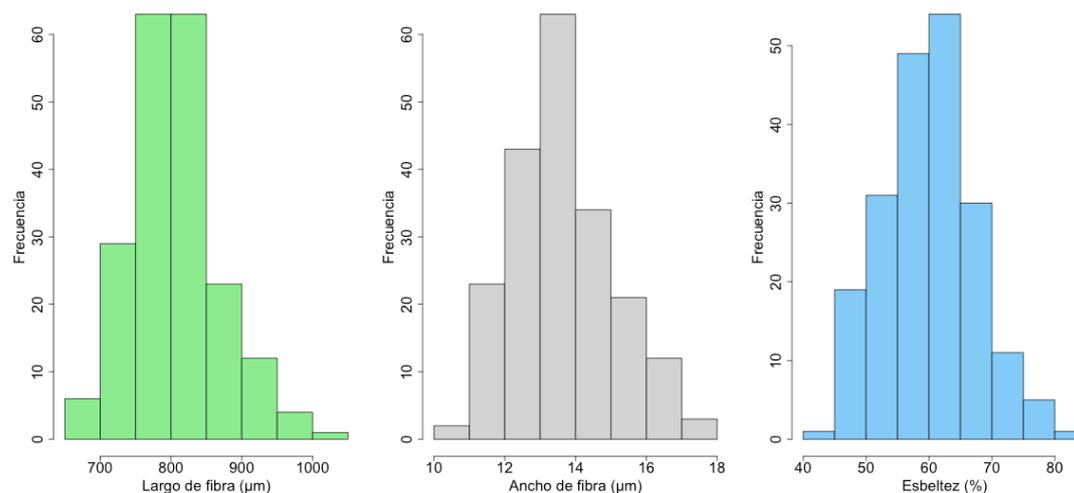
#### **Figura 6**

*Fibra vista en microscopio óptico 4x en preparado macerado*



**Figura 7**

Histograma de frecuencia de variables anatómicas

**Tabla 4**

Media, mínimo, máximo y CV% para largo de fibra obtenido

	Media (μm)	Mínimo (μm)	Máximo (μm)	CV%
<i>E. dunnii x E. grandis</i>	814,2	665,9	1015,5	7,64
<i>E. grandis x E. dunnii</i>	795,2	680,0	979,5	6,96
<b>Total</b>	<b>808,0</b>	<b>665,9</b>	<b>1015,5</b>	<b>7,50</b>

Los resultados de largo de fibra presentados en la Tabla 4, coinciden con lo presentado por Mantero et al. (2008), Seibert et al. (2017), Area et al. (2007) y De los Santos (2016) para *E. dunnii*.

Mientras que Verocay (2022), Núñez (2007), Doldán (2003) y Area et al. (2007) presentaron un largo de fibra para *E. grandis* que se encuentra dentro de los valores mínimos y máximos obtenidos en este trabajo. El único dato que difiere es el largo de fibra para madera adulta presentado por Doldán (2003) que presenta largos superiores al máximo obtenido. Esta diferencia puede deberse a la diferencia de edad, ya que los árboles estudiados por Doldán (2003) tenían 18 años, lo cual implica un gran desarrollo de la madera, mientras que los árboles estudiados en este trabajo no alcanzaron a desarrollar madera adulta. Por lo que es esperable que el largo de fibra aumente al desarrollarse la madera adulta.

El largo de fibra obtenido para *E. dunnii* x *E. grandis* son similares a lo presentado por bibliografía para *E. dunnii*. Lo mismo ocurre para aquellos árboles *E. grandis* x *E. dunnii* con los valores de bibliografía presentados para *E. grandis*. De esta manera podemos concluir que la variable largo de fibra está condicionada con la madre del híbrido.

En cuanto a los datos presentados para los híbridos *E. grandis* × *E. urophylla*, *E. urophylla* × *E. urophylla*, *E. grandis* × [*E. urophylla* × *E. globulus*] y [*E. dunnii* × *E. grandis*] × *E. urophylla* presentados por Prinsen et al. (2012) para largo de fibra notamos que el valor mínimo obtenido en este trabajo es menor que el presentado por la bibliografía, pero la media y el máximo sí se encuentran en el rango. Esta diferencia se explica porque el autor estudió árboles de 5 años. Por otro lado, los datos presentados por Céspedes (2023) para *E. grandis* x *E. urophylla*, como también los de Núñez (2012) para *E. grandis* x *E. tereticornis* se encuentran dentro de los rangos obtenidos en este trabajo.

**Tabla 5**

*Media, mínimo, máximo y CV% para ancho de fibra obtenido*

	<b>Media (µm)</b>	<b>Mínimo (µm)</b>	<b>Máximo (µm)</b>	<b>CV%</b>
<i>E. dunnii</i> x <i>E. grandis</i>	13,34	10,84	16,98	9,87
<i>E. grandis</i> x <i>E. dunnii</i>	14,25	11,93	17,48	10,06
<b>Total</b>	<b>13,63</b>	<b>10,84</b>	<b>17,48</b>	<b>10,40</b>

En estos materiales híbridos, los valores de ancho de fibra (Tabla 5) se encuentran dentro de los reportados para *E. dunnii* por Mantero et al. (2008), Seibert et al. (2017), Area et al. (2007) y De los Santos (2016), con valores mínimos de 11,02 µm (Mantero et al., 2008) y máximos de 14,39 µm (Seibert et al., 2017).

En cuanto al ancho de fibra para *E. grandis* presentado por Area et al. (2007) es muy similar a la media obtenida. Mientras que la de Núñez (2007) es levemente superior, pero se encuentra dentro del rango obtenido. El ancho presentado por Verocay (2022) es superior al máximo obtenido. Esta diferencia se debe a que su investigación se realizó en árboles de 11 años.

Al igual que el largo de fibra, el ancho de fibra que se obtuvo para árboles *E. dunnii* x *E. grandis* es similar a la bibliografía de *E. dunnii* y la media de *E. grandis* x *E.*

*dunnii* es similar a la bibliografía presentada para *E. grandis* por lo que podemos decir que esta variable está condicionada por la madre del híbrido.

En el caso de ancho de fibra presentado por Prinsen et al. (2012) para híbridos ocurre similar que el largo de fibra, siendo los valores mínimos obtenidos menores que los valores mínimos presentados por la bibliografía, mientras que la media y los valores máximos se encuentran dentro. Los árboles evaluados por el autor mencionado fueron *E. grandis* × *E. urophylla*, *E. urophylla* × *E. urophylla*, *E. grandis* × [*E. urophylla* × *E. globulus*] y [*E. dunnii* × *E. grandis*] × *E. urophylla* de 5 años plantados en Brasil. La diferencia en los valores mínimos obtenidos se explica porque los árboles medidos en el marco de esta tesis tienen 3 años por lo que restan 2 años para alcanzar la edad de la bibliografía presentada, años en los que la fibra puede alargarse y ensancharse. Mientras que los datos presentados por Céspedes (2023), como también los de Núñez (2012) se encuentran dentro de los rangos obtenidos en la tesis.

**Tabla 6**

*Media, mínimo, máximo y CV% para índice de esbeltez obtenido*

	Media (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)	CV%
<i>E. dunnii</i> x <i>E. grandis</i>	61,55	48,16	84,40	11,32
<i>E. grandis</i> x <i>E. dunnii</i>	56,33	42,24	75,22	11,83
<b>Total</b>	<b>59,87</b>	<b>42,24</b>	<b>84,40</b>	<b>12,16</b>

Los datos obtenidos para los híbridos mencionados anteriormente (Tabla 6) se compararon con diversos estudios que presentan diferentes valores de esbeltez. Para la especie *E. dunnii*, Mantero et al. (2008) presentaron un mayor índice, que supera el valor máximo de este estudio, presentando un índice de esbeltez de 85,87% para árboles de 5 años plantados en Tacuarembó, Uruguay. Los estudios que presentaron datos similares a los obtenidos en este caso fueron los de Area et al. (2007) y Baldin et al. (2017) que midieron árboles de 5 años y Seibert et al. (2017) que midieron árboles de 7 años.

Para la especie *E. grandis* Baldin et al. (2017) presentaron un valor de esbeltez de 58%, muy similar al obtenido en este trabajo. A su vez, Dutt y Tyagi (2011) presentaron un índice de esbeltez de 55,18%, próxima a la media obtenida. Sin embargo, Bermúdez

et al. (2002) presentaron un valor relativamente menor, pero encima del límite mínimo obtenido en este estudio.

De la misma manera que se comportan el largo y ancho de la fibra, la esbeltez también respeta este patrón. Los individuos con madre *E. dunnii* presentan en general un mayor porcentaje de esbeltez que aquellos cuya madre pertenece a la especie *E. grandis*, esto coincide con la bibliografía presentada para estas especies.

Para híbridos *E. grandis x E. urophylla*, Brisola y Demarco (2011) presentaron un índice de esbeltez de 55%, el cual es próximo a la media obtenida. Mientras que Dos Santos y Sansígolo (2007) obtuvieron valores de esbeltez menores que la media, pero superiores a los valores mínimos de este estudio.

## 4.2 ANÁLISIS DE VARIANZA

Para todas las variables estudiadas, no se obtuvieron diferencias significativas para los efectos de ensayo ni familia. Pero al evaluar la significancia del cruzamiento se obtuvo diferencia significativa en todas las variables, lo que significa que el valor de cada variable depende de la especie que fue utilizada como madre y de la especie que fue utilizada como padre.

**Tabla 7**

*P*-valor del análisis de varianza para el volumen y las variables de calidad evaluadas

Fuente de variación	Volumen	Densidad básica	Rendimiento pulpable
Cruzamiento	0,0023 **	<2,2 x 10 <sup>-16</sup> ***	4,308 x 10 <sup>-11</sup> ***
Id Ensayo	<2,2 x 10 <sup>-16</sup> ***	0,1352	8,658 x 10 <sup>-7</sup> ***
Familia	7,06 x 10 <sup>-15</sup> ***	1,11 x 10 <sup>-8</sup> ***	4,211 x 10 <sup>-10</sup> ***
Id Ensayo x Repetición	0,3845	0,0045 **	0,01416 *

Nota. Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

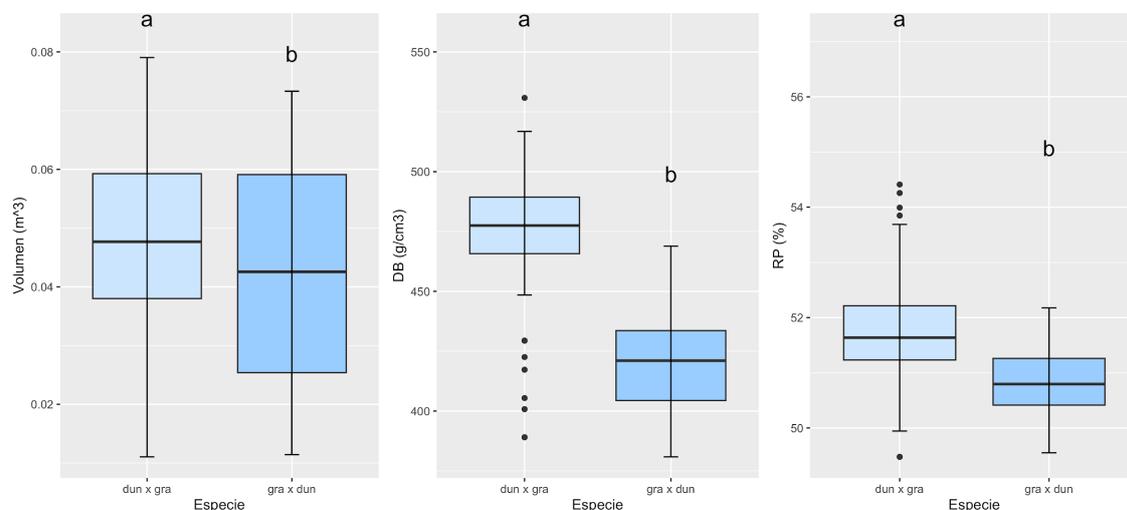
Con respecto al volumen podemos decir que aquellos árboles pertenecientes al cruzamiento *E. dunnii x E. grandis* presentan mayor volumen que los *E. grandis x E. dunnii*. (Figura 8) Un mayor volumen estará vinculado a una mayor producción de madera

y consecuentemente a una mayor cantidad de materia prima disponible para la producción de celulosa.

Para las variables de calidad se observa la misma tendencia (Figura 8). Eso puede explicarse porque una mayor densidad se ve asociada a paredes celulares más gruesas que dan lugar a papeles con mejores calidades de impresión y opacidad (Carrillo et al., 2017). El rendimiento pulpable se comporta de la misma manera. Un mayor rendimiento implica una mayor cantidad de pulpa de celulosa producida por una determinada carga inicial de chips. Por lo tanto, ante una misma carga inicial de chips, mayor es la cantidad de celulosa producida (Doldán, 2007).

**Figura 8**

*Diagrama de caja para volumen y variables de calidad según cruzamiento*



*Nota.* De derecha a izquierda se presenta volumen, densidad básica y rendimiento pulpable. Diferentes letras denotan diferencias estadísticamente significativas (Tukey, p-valor < 0,05). Círculos negros identifican valores atípicos.

**Tabla 8**

Valores de p-valor del análisis de varianza realizado para las variables anatómicas

Fuentes de variación	Largo de fibra	Ancho de fibra	Esbeltez
Cruzamiento	0,030764*	6,951 x 10 <sup>-6</sup> ***	3,379 x 10 <sup>-7</sup> ***
Id Ensayo	0,002567**	0,03676*	0,8848
Familia	0,075893 .	0,22343	0,0279*
Id Ensayo x Repetición	0,816347	0,07997 .	0,0906 .

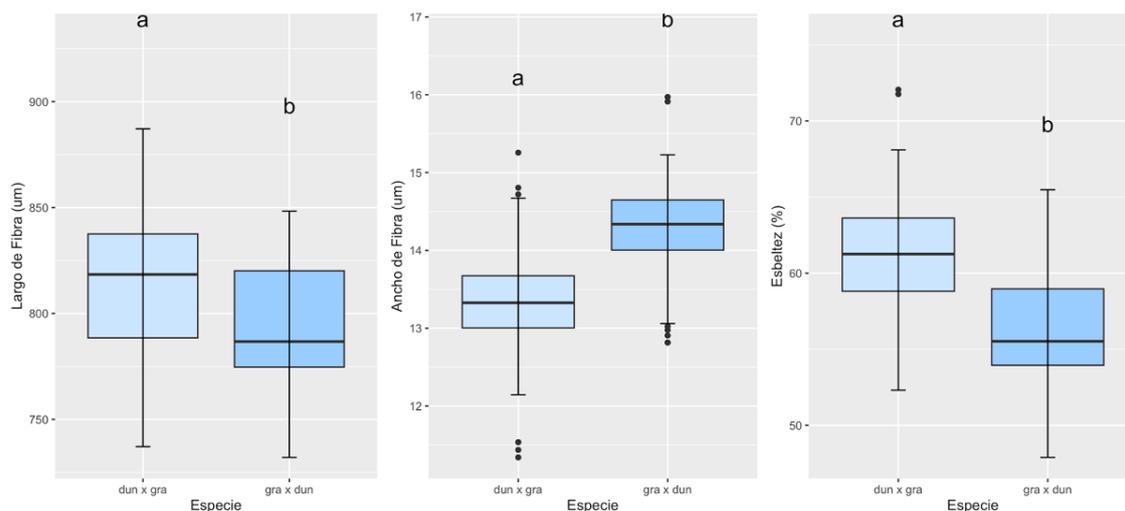
Nota. Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

A partir de los resultados presentados en la tabla 8 y Figura 9, podemos observar que el cruzamiento *E. dunnii* x *E. grandis* obtuvo fibras más largas y finas, mientras que *E. grandis* x *E. dunnii* presenta fibras más cortas y anchas. Por eso se espera que la celulosa proveniente de árboles *E. dunnii* x *E. grandis* adjudique mayor resistencia al papel, mientras que los segundos al ser fibras cortas tengan mejores propiedades ópticas (Prinsen et al., 2012).

La esbeltez fue mayor en árboles de *E. dunnii* x *E. grandis*, por lo que se espera que el papel producido a partir de estos árboles presente una mayor resistencia al rasgado, a la tracción y al reventamiento (Mantero et al., 2008).

**Figura 9**

*Diagrama de caja para variables anatómicas según cruzamiento*

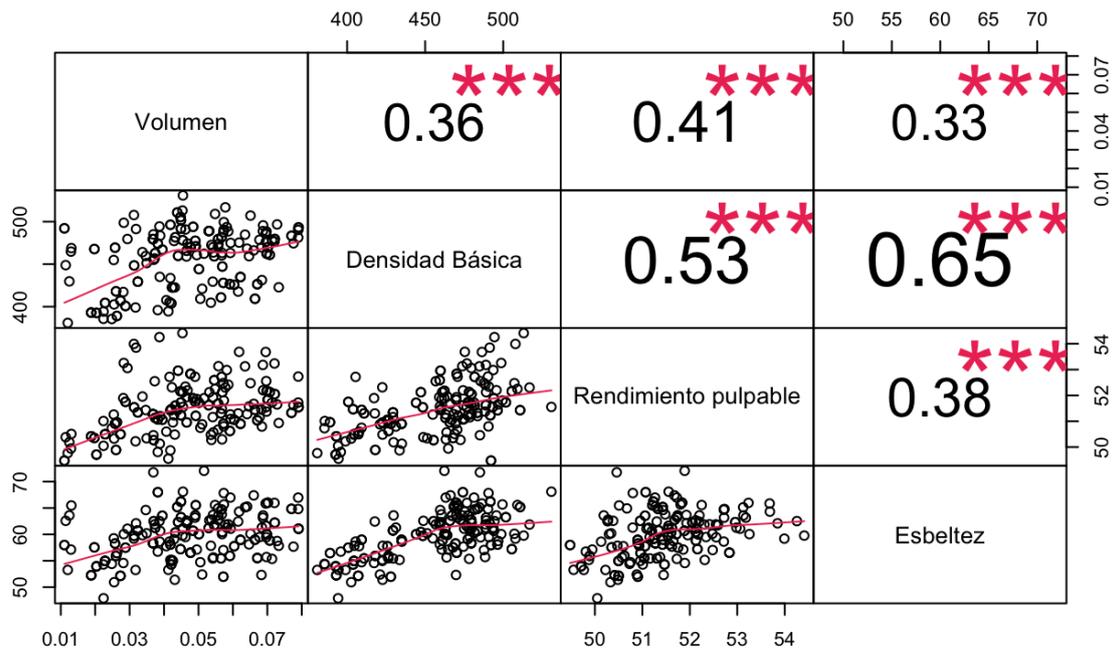


*Nota.* De izquierda a derecha se presenta largo de fibra, ancho de fibra y esbeltez. Diferentes letras denotan diferencias estadísticamente significativas (Tukey, p-valor < 0,05). Círculos negros identifican valores atípicos.

### 4.3 RELACIÓN ENTRE VARIABLES

El análisis de correlación de Pearson entre variables determina que todas las variables analizadas presentan una correlación significativa y positiva (Figura 10). Que la correlación sea positiva significa que cuando una variable aumenta o disminuye se espera que la otra tenga la misma respuesta. La esbeltez, siendo la variable de interés en este estudio, presenta una correlación positiva con todas las variables por lo que se espera que, ante un mayor volumen, mayor será la esbeltez, a mayor densidad básica, mayor esbeltez y, a mayor rendimiento pulvable, mayor esbeltez. Según la bibliografía consultada, la correlación entre variables puede variar mucho en función de las características del estudio, sin embargo, los resultados obtenidos en este trabajo fueron los esperados (Labbé, 2010; Raymond et al., 2001).

**Figura 10**  
Correlación entre variables de interés

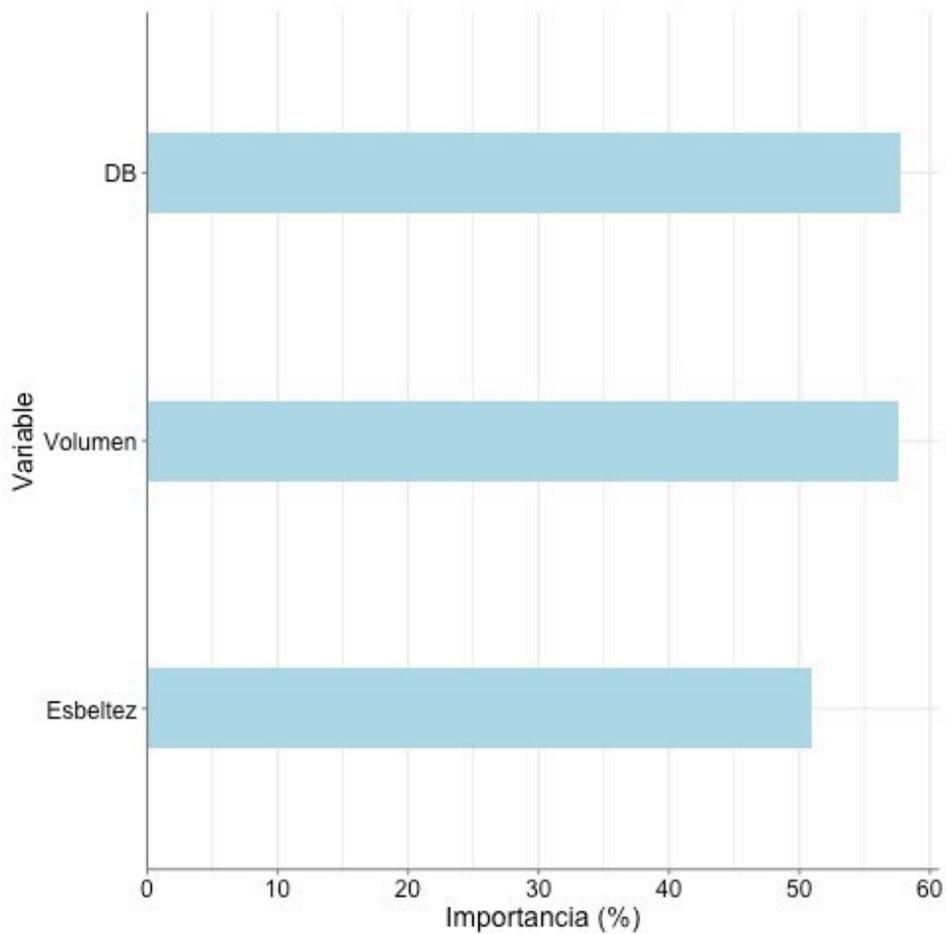


*Nota.* Los valores en la parte superior de la figura representan el valor de la correlación y la significancia de esta. En la parte inferior de la figura se pueden observar las dispersiones de los datos. Los ejes se corresponden con la parte de la figura que representan.

Dado que el rendimiento pulpable es la variable que determina la calidad del proceso de producción de celulosa, en la figura 11 se presenta la importancia de cada una de las variables de interés en la variable dependiente (rendimiento pulpable).

**Figura 11**

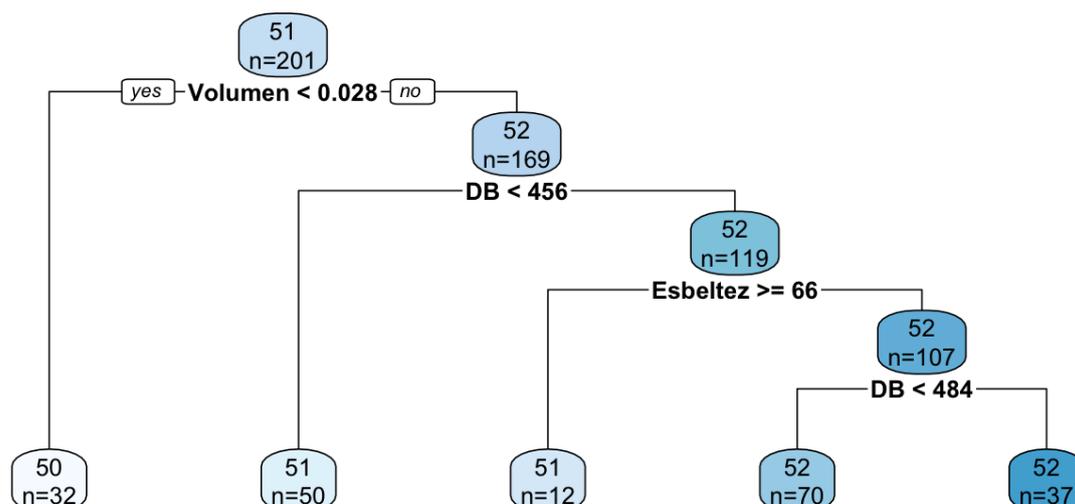
*Importancia de variables en el rendimiento pulpable*



La variable que tiene mayor importancia en el rendimiento pulpable (Figura 11) es la densidad básica con un aumento en la pureza de los nodos de 57,80, seguido por el volumen con un valor de 57,66 y por último la esbeltez con 50,94. A partir de ello, se obtuvo el árbol de regresión de las variables (Figura 12) con un ajuste de 0,48.

**Figura 12**

Árbol de regresión, siendo la variable dependiente el rendimiento pulpable

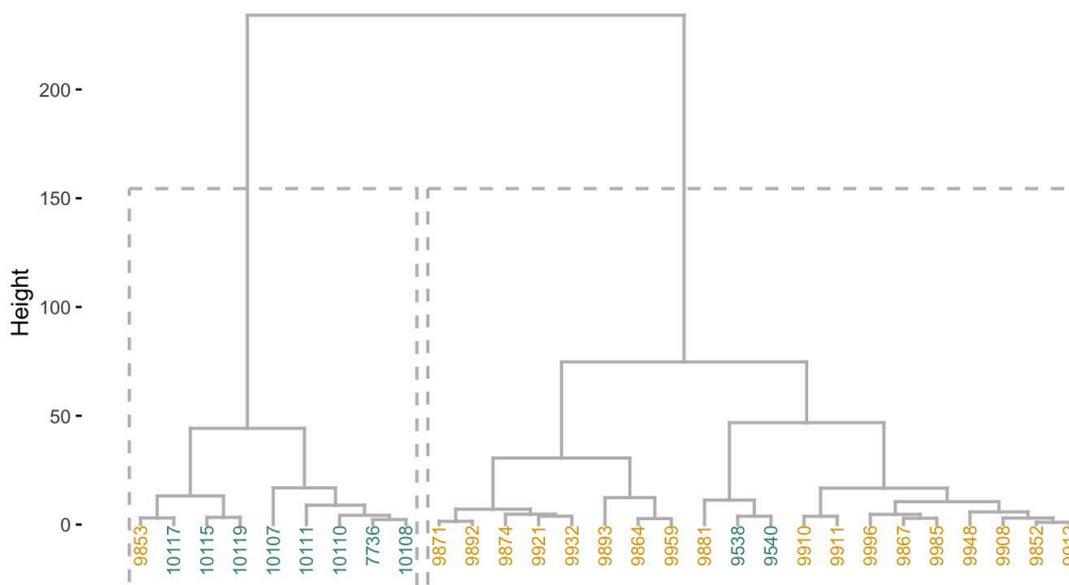


Según lo obtenido en el árbol de regresión notamos que el grupo que presenta un mayor rendimiento pulpable (52%) está conformado por 37 individuos, los cuales representan un 18% del total. Estos individuos presentan una densidad básica superior o igual a 484 kg/m<sup>3</sup>, una esbeltez menor a 66%, una densidad básica mayor o igual a 456 y un volumen mayor o igual a 0,028 m<sup>3</sup>. Estos resultados son esperables dado que la correlación entre la esbeltez y el rendimiento pulpable es relativamente baja.

#### 4.4 FAMILIAS

El efecto de la familia, según el ANAVA presentado en la tabla 7 y 8, es significativo para el volumen, la densidad básica, el rendimiento pulpable y la esbeltez. Por lo que se presenta un clúster donde se visualiza el relacionamiento entre las familias (Figura 13).

**Figura 13**  
Clúster de familias



*Nota.* Números presentados en color azul grisáceo hacen referencia a familias pertenecientes al cruzamiento *E. grandis* x *E. dunnii*, mientras que los de color dorado son *E. dunnii* x *E. grandis*.

En el clúster número 1 (izquierda) se agrupan una totalidad de 9 familias de las cuales el 8 corresponden al cruzamiento *E. grandis* x *E. dunnii*, mientras que una sola familia pertenece al cruzamiento *E. dunnii* x *E. grandis*. En el clúster número 2 (derecha) se encuentran las 20 familias restantes de las cuales 18 pertenecen al cruzamiento *E. dunnii* x *E. grandis*.

De tal manera se puede decir que los individuos pertenecientes a la familia 9853 presentan características tanto de crecimiento, como de calidad similares a las que presentaron las familias pertenecientes al cruzamiento *E. grandis* x *E. dunnii*. De la misma manera ocurre con las familias 9583 y 9540 que pertenecen al cruzamiento *E. grandis* x *E. dunnii*, pero son similares a aquellas familias del cruzamiento *E. dunnii* x *E. grandis*.

Con respecto a las familias 9583 y 9540 identificamos que presentan la misma madre (*Eucalyptus grandis*) pero diferente padre. La madre fue utilizada como padre en 4 familias pertenecientes al cruzamiento *E. dunnii* x *E. grandis*, siendo una de ellas la familia 9881 que se encuentra en la misma rama del clúster que estas 2 familias mencionadas.

En el caso de la familia 9853 ninguno de sus padres es el mismo que alguna otra familia presente en el clúster 1. Por lo que con la información disponible no se puede explicar la similitud entre estas familias.

## 5 CONCLUSIONES

El estudio realizado permitió el desarrollo de una base de datos de las propiedades biométricas de la fibra de la madera de *E. dunnii x E. grandis* y *E. grandis x E. dunnii*. El largo de fibra promedio obtenido fue de 808,0  $\mu\text{m}$ , presentando un promedio de 814,2  $\mu\text{m}$  para *E. dunnii x E. grandis* y de 795,2  $\mu\text{m}$  para *E. grandis x E. dunnii*. El ancho de fibra promedio obtenido fue de 13,63  $\mu\text{m}$ , presentando un promedio de 13,34  $\mu\text{m}$  para *E. dunnii x E. grandis* y de 14,25  $\mu\text{m}$  para *E. grandis x E. dunnii*. Las fibras observadas se caracterizaron como libriformes y no se hallaron diferencias entre los cruzamientos estudiados.

La esbeltez media obtenida fue de 59,87%, mientras que para *E. dunnii x E. grandis* la media fue de 61,55%, y para *E. grandis x E. dunnii* fue de 56,33%. Los valores de esbeltez fueron utilizados como indicadores de calidad y aptitud del material evaluado para la producción de celulosa y papel. Se espera que el papel producido por *E. dunnii x E. grandis* presente mayor resistencia al rasgado, a la tracción y al reventamiento.

Asimismo, la esbeltez presentó una correlación positiva con el rendimiento pulpable, con un valor de 0.38. De la misma manera, las correlaciones entre la esbeltez y el volumen y la densidad básica también son positivas, presentando valores de 0,33 y 0,65 respectivamente.

Los resultados obtenidos de la medición de las propiedades biométricas de árboles de híbridos de *E. dunnii* y *E. grandis* de 3 años, plantados en los departamentos Río Negro y Paysandú, nos permiten concluir que la especie utilizada como madre en el cruzamiento es la que condiciona en mayor medida las características biométricas del híbrido. Asimismo, concluimos que las características biométricas son de utilidad para complementar la información necesaria para la selección genómica.

La caracterización biométrica de las fibras de celulosa es un proceso trabajoso, pero confiamos que con el avance tecnológico vendrán métodos de medición más rápidos y sencillos, ampliando los estudios de selección genómica que incluyan estas características. Se recomienda realizar el mismo estudio, pero a edades mayores para comparar si los resultados cambian en árboles más maduros.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

- Achaw, O. W., & Danso-Boateng, E. (2021). *Chemical and process industries*. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-79139-1\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-79139-1_6)
- AmScope. (2023). (Versión v3.26.2023) [Software]. <https://amscope.com/>
- Area, M. C., Felissia, F., Clermont, J. E., Nuñez, C. E., & Venica, A. D. (2007). Bleached NSSC pulps from Eucalyptus species. *Cellulose Chemistry and Technology*, 41(2-3), 193-200.  
[https://www.researchgate.net/publication/235354080\\_Bleached\\_NSSC\\_pulps\\_from\\_Eucalyptus\\_species](https://www.researchgate.net/publication/235354080_Bleached_NSSC_pulps_from_Eucalyptus_species)
- Area, M. C., & Popa, V. (2014). *Wood fibers for papermaking*. Smithers Information. [https://www.researchgate.net/profile/Maria-Area/publication/262932801\\_Wood\\_Fibres\\_for\\_Papermaking/links/5b5861d4458515c4b243e3ef/Wood-Fibres-for-Papermaking.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Maria-Area/publication/262932801_Wood_Fibres_for_Papermaking/links/5b5861d4458515c4b243e3ef/Wood-Fibres-for-Papermaking.pdf)
- Baldin, T., Marchiori, J. N. C., Nisgoski, S., Talgatti, M., & Denardi, L. (2017). Anatomía da madeira e potencial de produção de celulose e papel de quatro espécies jovens de Eucalyptus L'Hér. *Revista Ciência da Madeira*, 8(2), 114-126.  
<https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/cienciadamadeira/article/view/10672/7171>
- Bermúdez, J. D., Touza, M. C., & Sanz, F. (2002). *Manual de la madera de eucalipto blanco*. CIS Madera.  
[https://www.researchgate.net/publication/362059634\\_Manual\\_Madera\\_Eucalipto\\_Blanco](https://www.researchgate.net/publication/362059634_Manual_Madera_Eucalipto_Blanco)
- Boland, D., Brooker, M., Chippendale, G., Hall, N., Hyland, B., Johnston, R., Kleinig, D., McDonald, M., & Turner, J. (2006). *Forest trees of Australia* (5<sup>th</sup> ed.). CSIRO. <https://doi.org/10.1071/9780643069701>
- Boscana, M., & Boragno, L. (2018). Actualidad del sector forestal. En *Anuario OPYPA 2018* (pp. 229-239). MGAP. [https://www.enperspectiva.net/wp-content/uploads/2019/07/Informe\\_forestal-1.pdf](https://www.enperspectiva.net/wp-content/uploads/2019/07/Informe_forestal-1.pdf)

- Boscana, M., & Faroppa, C. (2023). *Estadísticas Forestales 2023*. MGAP.  
[https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2023-07/DGF%20Boletin%20Estadistico\\_2023.pdf](https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2023-07/DGF%20Boletin%20Estadistico_2023.pdf)
- Brisola, S. H., & Demarco, D. (2011). Análise anatômica do caule de *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla* e *E. grandis x urophylla*: Desenvolvimento da madeira e sua importância para a indústria. *Scientia Forestalis*, 39(91), 317-330.  
<https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr91/cap04.pdf>
- Brussa, C. A. (1994). *Eucalyptus: Especies de cultivo más frecuente en Uruguay y regiones de clima templado*. Hemisferio Sur.
- Carrillo, I., Vidal, C., Elissetche, J. P., & Mendonça, R. T. (2017). Wood anatomical and chemical properties related to the pulpability of *Eucalyptus globulus*. *Southern Forests: A Journal of Forest Science*, 80(1), 1-8.  
<https://doi.org/10.2989/20702620.2016.1274859>
- Centro de Estudios de la Realidad Económica y Social. (2023). *La producción forestal en Uruguay: Un sector líder y sostenible*.  
[https://ceres.uy/admin/uploads/slides/archivo\\_1699474632.pdf](https://ceres.uy/admin/uploads/slides/archivo_1699474632.pdf)
- Céspedes, R. A. (2023). *Caracterización anatómica de Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla de 5 años proveniente de Ucayali-Perú* [Trabajo final de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional Universidad Nacional Agraria La Molina.  
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/items/ea798bc8-eab6-4dc1-9784-771a1607d6d9>
- Cungachi, J. (2024). *Evaluación dasométrica de una plantación de Eucalyptus globulus Labill para aprovechamiento, en la comunidad de San Rafael provincia de Cañar* [Trabajo final de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. DSpace ESPOCH. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/22524>
- Dagnino, J. (2014). Correlación. *Revista Chilena Anestesia*, 43(2), 150-153.  
<https://revistachilenadeanestesia.cl/PII/revchilanestv43n02.15.pdf>

- De Assis, T. F. (2000). Production and use of Eucalyptus hybrids for industrial purposes: Proceedings of QFRI/CRC-SPF Symposium. En H. S. Dungey, M. J. Dieters, & D. G. Nikles (Eds.), *Hybrid breeding and genetics of forest trees* (pp. 63-74). Department of Primary Industries.  
[https://www.eucalyptus.com.br/artigos/1993\\_Hybrids+Eucalyptus+Industrial+Purposes.pdf](https://www.eucalyptus.com.br/artigos/1993_Hybrids+Eucalyptus+Industrial+Purposes.pdf)
- De los Santos, E. (2016). *Effect of tree age of Eucalyptus dunnii from Uruguay on wood basic density, pulping yield, wood chemical composition and fibre morphology* [Tesis de maestría, Universidad de la República]. Researchgate.  
<http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.2.17754.75208>
- Dirección General Forestal. (2021). *Cartografía Nacional Forestal 2021*. MGAP.  
[https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/Publicacion\\_dgf.pdf](https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/Publicacion_dgf.pdf)
- Doldán, J. (2003). *Proyecto de tecnología de ensayo de productos forestales LATU-JICA (1998 - 2003): Indicadores de calidad de madera Eucalyptus grandis de Río Negro, Uruguay: Contenido de humedad, densidad, contracción y largo de fibras*. LATU; JICA.  
[https://catalogo.latu.org.uy/opac\\_css/index.php?lvl=notice\\_display&id=3867](https://catalogo.latu.org.uy/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=3867)
- Doldán, J. (2007). *Evaluación de parámetros de calidad de E. globulus y E. maidenii de plantaciones uruguayas para pulpa de celulosa*. LATU.  
[https://catalogo.latu.org.uy/opac\\_css/index.php?lvl=notice\\_display&id=29014](https://catalogo.latu.org.uy/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=29014)
- Doldán, J., Fariña, I., & Tarigo, F. (2008). Utilización de Eucalyptus spp. Alternativas de plantaciones uruguayas para pulpa Kraft. *INNOTEC*, (3), 30-34.  
<https://doi.org/10.26461/03.04>
- Dos Santos, S. R., & Sansígolo, C. A. (2007). Influência da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* na qualidade da polpa branqueada. *Ciência Florestal*, 17(1), 53-63.  
<https://doi.org/10.5902/198050981935>

- Dutt, D., & Tyagi, C. H. (2011). Comparison of various eucalyptus species for their morphological, chemical, pulp and paper making characteristics. *Indian Journal of Chemical Technology*, 18, 145-151.  
[http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/11624/1/IJCT%2018\(2\)%20145-151.pdf](http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/11624/1/IJCT%2018(2)%20145-151.pdf)
- Filio, A. (2010). *Estimación del diámetro normal y volumen comercial a partir del diámetro y altura de tocones en plantaciones de Eucalyptus globulus Labill – Huanchar – Valle del Mantaro* [Trabajo final de grado, Universidad Nacional del Centro de Perú]. Repositorio UNCP.  
<https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/2580/Filio%20Bonnilla.pdf?sequence=1>
- Giménez, A. M., Moglia, J. G., Hernández, P., & Gerez, R. (2014). *Anatomía de Madera*. Universidad Nacional Santiago del Estero.  
<https://fcf.unse.edu.ar/archivos/series-didacticas/sd-1-anatomia-de-madera.pdf>
- Hsing, T. Y., De Paula, N. F., & De Paula, R. C. (2016). Características dendrométricas químicas e densidade básica da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. *Ciencia Florestal*, 26(1), 273-283.  
<https://doi.org/10.5902/1980509821119>
- Labbé, R. A. (2010). *Variación de la densidad de la madera y rendimiento pulpable en clones de Eucalyptus globulus, evaluado con espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR) y métodos convencionales* [Trabajo final de grado, Universidad Austral de Chile]. Tesis Electrónicas UACH.  
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/fifl115v/doc/fifl115v.pdf>
- López, G., Cañas, I., & Ruiz, F. (2010). Vegetative propagation techniques and genetic improvement in *Eucalyptus globulus*. En L. Gil, W. Tadesse, E. Tolosana, & R. López (Eds.), *Eucalyptus species management, history, status and trends in Ethiopia* (pp. 246-255). Universidad Politécnica de Madrid.  
[https://www.researchgate.net/profile/Gustavo-Lopez-7/publication/285851499\\_Vegetative\\_propagation\\_techniques\\_and\\_genetic\\_improvement\\_in\\_Eucalyptus\\_globulus/links/59cd0f914585150e3773ff67/Vegetative-propagation-techniques-and-genetic-improvement-in-Eucalyptus-globulus.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Gustavo-Lopez-7/publication/285851499_Vegetative_propagation_techniques_and_genetic_improvement_in_Eucalyptus_globulus/links/59cd0f914585150e3773ff67/Vegetative-propagation-techniques-and-genetic-improvement-in-Eucalyptus-globulus.pdf)

- Mantero, C., Fernández, V., & Ros, A. (2008). Anatomía, peso específico aparente de la madera y porcentaje de corteza en orígenes de dos especies de *Eucalyptus* cultivadas en Uruguay (*Eucalyptus dunnii* Maiden y *Eucalyptus badjensis* Beuzev. & Welch). *Agrociencia (Uruguay)*, 12(1), 20-30.  
<https://doi.org/10.31285/AGRO.12.741>
- Massaro, R. A. M., Bonine, C. A. V., Scarpinati, E. A., & De Paula, R. C. (2010). Viabilidade de aplicação da seleção precoce em testes clonais de *Eucalyptus* spp. *Ciência Florestal*, 20(4), 597-609. <https://doi.org/10.5902/198050982418>
- Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. (2023). *Exportaciones por destino: Año 2022: Pulpa de celulosa*. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/datos-y-estadisticas/datos/exportaciones-pulpa-celulosa-destino>
- Núñez, C. E. (2007). Morfología fibrosa de la madera del *Eucalyptus grandis* implantado en la Mesopotamia argentina: 1. Atributos biométricos. *Revista de Ciencia y Tecnología*, 9(1), 36-43.  
<https://www.fceqyn.unam.edu.ar/recyt/index.php/recyt/article/view/595>
- Núñez, C. E. (2012). Estudio morfológico de las fibras de cuatro árboles del híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus tereticornis* implantados en Concordia, Entre Ríos, Argentina. En M. L. O. D'Almeida, C. E. B Foekel, S. W. Park, C. L. C. Marques, P. K. Yasumura, & V. Manfredi (Eds.), *45th ABTCP International Pulp and Paper Congress and VII IberoAmerican Congress on Pulp and Paper Research* (pp. 1-6). ABTCP; RIADICYP.  
[https://www.eucalyptus.com.br/artigos/2012\\_Estudio+Morfologico+Fibras.pdf](https://www.eucalyptus.com.br/artigos/2012_Estudio+Morfologico+Fibras.pdf)
- Núñez, C. E. (2014). Estudio de la morfología fibrosa de cuatro árboles de *Eucalyptus saligna* implantados en Concordia, Entre Ríos, Argentina. *Revista de Ciencia y Tecnología*, (22), 40-44.  
[https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1851-75872014000200006&lng=es&nrm=iso&tlng=es](https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1851-75872014000200006&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

- Ordoñez, Y., Andrade, H., Quiros, D., & Venegas, G. (2012). Dasometría y cubicación de la madera. En G. Detlefsen & E. Somarriba (Eds.), *Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica* (pp. 27-68). CATIE.  
<https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/3512>
- Paseyro, J. (2015). Más vale especie conocida que otra por conocer. *Revista Forestal*, (11), 16-22. <https://www.revistaforestal.uy/wp-content/uploads/2015/04/Silvicultura-11.pdf>
- Pirralho, M., Flores, D., Sousa, V. B., Quilhó, T., Knapic, S., & Pereira, H. (2014). Evaluation on paper making potential of nine Eucalyptus species based on wood anatomical features. *Industrial Crops and Products*, 54, 327-334.  
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.01.040>
- Prinsen, P., Gutiérrez, A., Rencoret, J., Nieto, L., Jiménez-Barbero, J., Burnet, A., Petit-Conil, M., Colodette, J. L., Martínez, Á. T., & Del Río, J. C. (2012). Morphological characteristics and composition of lipophilic extractives and lignin in Brazilian woods from different eucalypt hybrids. *Industrial Crops and Products*, 36(1), 572-583. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.11.014>
- Raymond, C. A., Schimleck, L. R., Muneri, A., & Michell, A. J. (2001). Genetic parameters and genotype-by-environment interactions for pulp-yield predicted using near infrared reflectance analysis and pulp productivity in *Eucalyptus globulus*. *International Journal of Forest Genetics*, 8(2), 213-224.  
<https://researchportal.scu.edu.au/esploro/outputs/journalArticle/Genetic-parameters-and-genotype-by-environment-interactions-for/991012822263302368>
- Sánchez, M. M. (2012). *Caracterización de la madera del nuevo híbrido Eucalyptus grandis, Hill ex Maiden x Eucalyptus tereticornis, Smith, su aptitud de usos en Argentina* [Disertación doctoral, Universidad de Valladolid]. UVaDOC.  
<https://doi.org/10.35376/10324/1708>

- Seibert, L., Henne, R. A., Barnasky, R., Giesel, G., Danielli, D., Rosa, T. O., Zacostelsky, A., & Viera, H. C. (2017). Morfologia das fibras de *Eucalyptus dunnii* para a indústria de celulose e papel. En *Anais Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira, Florianópolis - 2017*.  
<https://proceedings.science/cbctem/trabalhos/morfologia-das-fibras-de-eucalyptus-dunni-para-a-industria-de-celulose-e-papel?lang=pt-br#>
- Sixta, H., Potthast, A., & Krottschek, A. W. (2006). Chemical pulping processes. En H. Sixta (Ed.), *Handbook of pulp* (pp. 109-509). WILEY-VCH.
- Suirezs, T. M., & Berger, G. (2009). *Descripciones de las propiedades físicas y mecánicas de la madera*. Editorial Universitaria de Misiones.  
[https://editorial.unam.edu.ar/images/documentos\\_digitales/f5\\_978-950-579-154-5.pdf](https://editorial.unam.edu.ar/images/documentos_digitales/f5_978-950-579-154-5.pdf)
- Tomazello, F. M. (1985). Estrutura anatômica da madeira de oito espécies de eucalipto cultivadas no Brasil. *Revista IPEF*, (29), 25-36.  
<https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr29/cap03.pdf>
- Tsuchikawa, S., & Kobori, H. (2015). A review of recent application of near infrared spectroscopy to wood science and technology. *Journal of Wood Science*, 61, 213-220. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10086-015-1467-x>
- Verocay, D. D. (2022). *Caracterización anatómica de la madera de Eucalyptus grandis W. Hill proveniente del este uruguayo* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri.  
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/33276>
- Vignote, S., & Martínez, I. (2006). *Tecnología de la madera* (3ª ed. Rev.). Mundi-Prensa. <https://tecnologiawordpress.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/03/madera.pdf>
- Wiedenhoeft, A. (2010). Structure and function of wood. En R. J. Ross (Ed.), *Wood handbook: Wood as an engineering material* (pp. 3-1-3-18). Forest Products Laboratorie; USDA Forest Service.  
[https://www.fpl.fs.usda.gov/documnts/fplgtr/fplgtr190/chapter\\_03.pdf](https://www.fpl.fs.usda.gov/documnts/fplgtr/fplgtr190/chapter_03.pdf)

Williams, L. (2010). Anatomía y densidad o peso específico de la madera. *Revista Forestal Venezolana*, 54(1), 67-76.

<http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/31646/1/ensayo1.pdf>

## 7 ANEXO

Tabla A1.

*Media, desvío, mínimo y máximo de largo y ancho de fibra según número de muestra.*

No Muestra	LARGO DE FIBRA				ANCHO DE FIBRA			
	Media (µm)	Desvío (µm)	Mínimo (µm)	Máximo (µm)	Media (µm)	Desvío (µm)	Mínimo (µm)	Máximo (µm)
1607	770,49	113,50	573,17	1070,05	13,65	2,15	9,09	19,06
1613	712,27	119,44	523,58	899,38	12,56	2,24	9,09	17,18
1615	788,73	156,77	589,52	1361,13	15,39	2,95	9,78	21,10
1616	796,12	145,35	574,71	1151,81	16,44	2,06	11,25	20,60
1635	727,67	103,49	564,54	945,73	11,52	2,56	6,87	16,16
1636	860,88	159,36	528,68	1146,84	13,18	3,78	7,19	20,92
1646	912,40	184,73	595,70	1321,95	15,17	3,34	9,65	22,74
1647	821,74	145,40	621,81	1103,82	17,48	3,34	9,09	22,85
1651	692,55	84,33	561,98	866,41	12,74	2,32	8,28	17,39
1654	784,79	152,52	593,43	1125,15	15,19	2,98	10,17	21,87
1656	933,59	193,48	578,00	1343,27	12,41	3,01	5,85	17,70
1657	870,30	115,72	665,66	1180,39	13,34	2,49	9,68	18,33
1659	717,59	121,82	513,92	1010,22	14,95	3,64	8,55	23,74
1676	795,07	136,76	553,14	1014,06	15,50	2,28	12,06	20,16
1677	839,38	109,08	663,38	1094,76	14,76	3,28	10,29	21,36
1678	879,58	160,03	650,70	1279,60	16,25	4,02	10,07	24,76
1685	755,09	135,20	562,74	1100,07	11,96	2,43	8,04	17,18
1688	809,17	177,30	567,11	1340,37	15,69	3,60	10,17	23,64
1706	820,69	156,80	530,70	1212,51	13,01	2,92	8,20	21,76
1714	782,77	170,56	619,50	1203,83	13,85	3,00	6,43	20,60
1717	706,20	94,23	545,88	836,99	14,36	2,05	10,48	18,22
1718	782,88	139,56	579,62	1065,26	14,11	2,38	10,29	19,43
1719	832,24	182,99	557,28	1198,50	13,23	2,09	9,09	17,05
1730	744,62	105,99	585,40	944,28	12,00	2,81	8,99	20,34
1748	865,33	140,84	589,17	1115,93	13,25	2,59	8,84	17,63
1752	967,83	182,65	620,65	1340,34	15,61	3,39	10,45	23,81
1753	816,14	170,72	518,54	1285,72	12,20	2,40	7,03	17,03

1756	835,45	156,39	592,75	1352,82	12,47	3,54	7,92	21,84
1758	979,48	175,33	747,50	1356,17	13,56	2,43	10,45	18,51
1777	824,85	157,22	557,21	1246,64	13,79	3,12	9,17	21,24
1778	879,09	145,06	625,36	1172,33	12,81	3,51	8,04	21,36
1782	904,69	144,57	673,42	1108,37	13,18	3,02	8,70	18,77
1787	784,24	168,09	577,48	1111,29	13,88	2,85	9,37	19,85
1789	781,21	173,69	575,71	1283,04	13,33	2,96	8,04	20,87
1791	847,93	137,88	596,68	1155,22	11,66	2,43	6,92	16,57
1797	829,28	144,00	576,91	1062,08	12,63	3,07	5,63	19,11
1798	768,92	132,94	547,74	1160,01	13,59	3,31	8,39	21,64
1799	832,38	144,87	567,88	1137,56	15,20	3,52	9,17	21,76
1805	808,47	129,95	585,23	1161,11	13,41	2,98	6,82	19,56
1806	830,82	148,14	614,51	1220,86	12,97	2,36	8,99	18,56
1819	795,33	141,16	562,17	1149,84	13,99	2,35	8,84	17,70
1821	836,29	121,14	610,15	1091,37	13,87	2,89	9,65	19,33
1828	812,56	160,39	532,17	1174,03	13,81	2,99	7,19	19,46
1830	890,54	192,48	564,07	1412,28	15,39	2,82	10,29	19,90
1831	665,90	102,74	526,80	902,42	13,62	2,77	8,08	21,24
1832	860,71	185,63	604,01	1192,59	12,03	3,10	7,41	19,18
1836	804,03	201,92	544,28	1204,28	12,36	3,26	6,43	18,49
1843	913,47	170,07	593,71	1199,22	14,63	2,55	9,68	19,44
1847	805,36	111,81	622,90	1066,54	14,36	3,12	9,17	19,71
1848	796,10	130,06	598,92	1075,19	11,99	2,63	7,19	17,09
1853	826,32	120,18	611,46	1076,19	14,91	2,84	9,71	19,58
1856	958,28	245,76	662,81	1421,66	15,22	3,91	7,28	26,64
1857	824,68	191,14	552,26	1319,91	12,42	2,41	8,20	19,36
1859	814,77	161,65	533,42	1191,99	13,92	2,67	7,92	18,22
1860	747,12	93,46	593,12	905,03	12,41	2,37	9,41	16,79
1864	824,24	140,01	540,31	1057,09	14,24	3,12	9,68	22,47
1866	765,57	99,97	599,99	933,30	12,66	2,22	7,23	15,85
1867	790,26	117,33	641,86	1026,27	17,31	3,10	12,16	22,76
1870	724,43	70,72	585,95	885,48	14,24	2,76	8,08	19,11
1878	749,89	111,45	584,82	1035,79	13,78	3,89	7,92	19,85
1884	958,43	159,78	692,03	1284,65	11,36	2,25	6,87	15,79

1888	807,07	135,18	562,29	1072,14	13,40	3,44	8,99	21,04
1892	771,09	134,27	532,73	1119,78	13,66	3,30	8,55	19,44
1900	792,45	145,12	579,67	1234,81	13,06	2,10	7,96	16,10
1902	783,50	102,72	565,67	1063,20	14,15	2,77	9,78	20,16
1908	798,32	185,82	578,71	1232,92	12,77	2,36	8,99	19,06
1910	904,49	170,87	607,76	1211,10	15,27	2,45	11,95	22,52
1912	761,36	93,07	576,26	925,68	14,27	3,75	9,17	25,97
1917	1015,51	172,11	713,91	1467,53	13,31	3,24	8,55	20,10
1918	728,57	123,42	535,91	987,60	12,05	2,46	8,04	17,35
1921	871,52	127,24	542,74	1112,46	12,89	2,61	8,99	17,85
1922	826,87	143,69	575,40	1077,80	13,48	3,68	8,08	21,22
1923	783,53	135,32	565,47	1129,45	15,77	4,00	10,72	25,92
1925	778,72	146,61	591,04	1269,59	10,84	2,34	6,87	17,26
1935	841,62	147,26	606,77	1146,40	14,85	3,27	8,04	20,60
1944	767,96	195,21	570,86	1249,44	12,45	3,19	7,28	21,15
1945	741,76	101,77	612,43	947,29	13,35	2,14	9,17	16,96
1946	881,78	189,59	622,87	1389,21	16,98	4,13	9,69	26,44
1955	845,72	110,77	598,57	1029,43	15,12	2,80	11,20	23,37
1956	932,85	201,30	600,66	1415,84	15,25	3,76	9,68	25,24
1959	728,36	120,64	572,46	1028,22	15,54	3,55	10,29	22,34
1960	812,45	141,38	572,30	1153,32	13,01	2,34	7,58	18,77
1972	928,88	203,16	575,58	1362,18	13,98	3,26	9,71	23,33
1974	846,95	139,29	522,48	1045,27	12,16	2,54	8,08	17,05
1987	838,51	129,49	632,41	1127,33	16,40	3,22	11,42	23,20
1992	774,33	152,42	550,79	1095,74	13,41	3,55	8,55	21,28
1994	876,52	149,04	589,86	1150,18	16,10	3,19	9,81	21,40
1995	811,61	157,81	600,96	1236,32	15,77	2,66	11,70	21,87
2005	770,72	101,94	575,86	963,82	16,55	3,51	10,93	24,30
2022	835,61	172,60	546,09	1231,34	12,92	3,45	7,96	20,87
2023	805,37	141,26	628,65	1106,75	11,22	1,99	6,92	14,78
2028	805,83	104,69	601,48	967,44	16,73	3,61	9,17	24,59
2030	945,62	175,33	674,72	1253,37	14,91	2,81	10,93	19,85
2048	835,62	107,46	655,24	1063,24	12,79	2,14	8,70	16,57
2050	766,15	144,45	550,60	1093,50	12,02	2,78	7,41	17,97

2053	803,47	183,89	562,94	1290,56	14,45	3,08	9,37	22,23
2054	744,36	110,65	549,11	911,05	15,22	4,00	8,04	21,94
2057	812,91	121,01	554,52	1006,58	16,27	4,14	9,17	24,54
2062	915,21	138,98	687,80	1143,30	12,05	2,29	7,41	15,61
2063	807,58	104,60	641,49	1031,70	14,88	2,69	10,17	20,16
2066	790,93	147,23	565,58	1161,08	11,31	2,61	7,63	18,35
2071	800,33	96,96	612,07	941,01	13,13	2,43	8,99	18,51
2078	820,44	138,41	529,83	1079,05	14,81	3,12	9,17	24,49
2079	831,95	154,46	623,73	1149,34	12,43	3,19	6,12	20,10
2082	836,60	144,50	584,46	1120,48	12,85	3,17	5,85	21,45
2089	744,57	112,83	461,34	959,32	12,86	2,38	8,99	18,77
2090	733,21	155,39	571,80	1155,33	13,58	2,97	8,20	19,85
2095	793,69	131,87	602,77	1071,09	12,18	2,19	7,58	16,02
2096	917,23	141,61	613,19	1181,46	13,38	3,81	7,41	21,64
2097	667,85	145,32	504,84	1139,37	11,48	2,02	8,08	16,40
2106	824,50	131,84	502,83	1053,83	14,74	3,55	9,68	23,86
2111	902,23	154,33	674,87	1240,17	13,58	3,19	8,08	21,64
2112	725,31	104,98	545,65	889,85	14,59	1,81	10,45	17,65
2113	847,47	121,99	586,22	1077,76	13,28	3,54	6,63	18,84
2116	862,46	114,74	687,60	1112,89	14,27	3,62	8,28	21,22
2117	791,01	112,90	555,41	1005,21	12,65	3,15	8,28	20,59
2118	797,24	133,64	554,33	1084,64	11,02	2,61	6,92	18,65
2120	679,95	98,30	556,40	944,74	16,10	3,95	9,17	26,54
2127	807,86	162,83	542,77	1236,19	13,14	3,07	6,12	19,77
2128	852,59	154,61	562,22	1127,61	13,28	2,54	9,68	17,65
2130	825,88	96,70	687,44	1044,23	11,99	2,50	6,28	16,57
2132	874,52	135,58	658,59	1138,91	13,13	3,05	6,92	19,58
2133	811,05	198,96	562,28	1496,55	12,75	2,25	8,99	18,92
2137	885,14	162,57	549,10	1262,17	13,64	2,65	9,68	18,06
2139	737,08	135,76	564,36	1023,39	11,79	2,17	7,19	16,73
2143	697,12	76,31	567,73	857,61	11,89	2,26	7,41	15,83
2145	836,50	149,22	579,04	1109,51	14,19	3,07	6,48	19,36
2146	777,34	169,13	537,63	1314,03	12,87	3,31	8,04	21,24
2153	913,15	166,27	585,50	1301,78	12,22	3,01	8,20	19,44

2160	823,84	105,05	654,08	1051,12	15,69	2,35	12,08	20,29
2161	698,15	135,26	520,35	1051,34	13,09	3,00	6,28	17,32
2168	771,10	119,51	563,90	934,17	13,69	3,89	7,19	22,75
2169	744,56	95,40	538,36	936,78	12,10	3,22	6,43	20,11
2176	784,48	106,94	587,24	1071,42	13,36	2,71	8,99	20,24
2177	863,62	148,18	554,10	1208,51	11,92	2,63	8,20	19,11
2182	781,17	109,91	619,92	1023,81	14,14	3,32	8,08	21,45
2185	785,39	173,09	587,01	1201,43	15,23	3,50	8,99	22,23
2187	735,73	137,76	540,11	955,89	14,79	3,25	8,04	22,07
2190	819,32	109,77	589,88	1045,21	13,37	1,85	9,81	17,09
2193	777,64	151,99	577,40	1206,77	16,07	3,49	7,41	24,13
2196	862,15	145,36	580,95	1088,68	13,21	2,81	6,28	18,92
2199	710,80	87,07	564,49	895,81	12,55	3,64	4,69	19,90
2200	794,33	115,20	613,73	991,64	14,36	3,18	8,84	21,57
2201	798,93	152,93	563,20	1235,65	13,15	2,97	8,66	19,31
2207	741,41	142,05	575,93	1103,18	11,96	2,43	8,04	18,06
2210	775,08	99,52	634,13	1023,25	13,01	3,17	6,12	20,92
2218	732,96	145,64	546,50	1168,99	13,69	3,32	8,04	21,64
2225	804,28	144,50	563,82	1075,76	13,98	3,36	8,04	23,20
2237	769,25	100,00	581,52	953,44	14,83	2,91	9,68	24,33
2238	877,28	158,78	631,89	1173,73	14,71	2,48	10,78	22,34
2239	774,72	132,91	566,63	1017,84	11,75	2,42	7,92	17,35
2240	823,72	121,42	634,54	1094,25	12,94	3,01	7,41	19,44
2245	761,88	116,12	586,81	996,88	13,86	2,58	8,08	19,33
2246	707,77	100,65	521,67	909,77	13,15	3,13	7,96	18,82
2247	782,36	124,98	556,84	1012,68	12,57	2,36	7,96	17,85
2249	833,96	123,12	632,38	1049,44	13,69	2,08	9,17	17,70
2252	753,45	130,73	590,43	1107,53	14,10	2,75	9,94	21,22
2253	807,20	130,47	608,61	1196,08	12,58	2,43	7,41	17,76
2254	783,45	105,00	558,37	964,47	12,89	2,33	8,88	18,14
2260	725,88	106,10	543,99	915,66	15,77	3,25	9,81	21,64
2270	785,95	110,89	573,00	981,31	11,39	2,39	7,19	17,97
2271	773,22	127,12	595,04	1153,10	13,46	3,28	7,41	19,44
2272	839,45	100,35	595,97	1022,20	13,40	2,89	8,28	19,56

2273	759,84	133,65	554,14	1123,17	14,41	3,70	9,17	22,88
2275	747,88	170,45	591,78	1382,48	14,31	2,94	8,39	20,29
2286	773,69	148,71	534,24	1210,52	13,46	2,86	8,39	20,10
2296	885,10	165,15	648,20	1185,61	14,55	3,40	7,96	20,11
2297	741,67	124,10	571,74	1133,49	14,26	2,32	10,29	18,49
2311	782,38	145,00	535,62	1159,04	12,49	2,75	8,88	17,68
2313	784,08	126,84	574,52	1032,10	13,08	3,09	8,20	20,59
2314	796,51	119,11	613,55	1115,64	14,41	2,90	10,48	22,74
2317	888,96	151,07	596,23	1295,87	13,45	2,77	9,17	20,46
2319	835,95	128,38	609,22	1096,85	13,13	2,88	9,71	19,46
2320	802,34	103,32	633,55	973,45	16,35	4,23	8,55	25,84
2321	744,47	127,81	590,95	1133,51	11,60	1,87	8,70	14,67
2323	729,09	134,50	573,31	1065,10	11,72	2,65	6,82	17,05
2324	773,11	114,64	611,13	996,36	14,42	3,21	8,08	22,51
2325	865,24	139,76	597,05	1143,69	11,52	2,75	5,85	17,18
2327	782,69	154,22	532,26	1118,53	14,31	2,27	9,41	19,29
2328	754,02	125,11	553,02	1065,20	13,45	2,47	8,28	17,26
2329	830,60	148,25	647,34	1338,53	11,24	1,97	8,04	16,28
2331	731,22	181,52	513,69	1130,10	12,47	2,89	7,41	19,33
2342	790,50	127,23	588,05	1142,04	16,21	3,23	8,70	21,45
2343	807,01	132,29	590,55	1082,63	12,97	2,52	8,84	18,22
2344	814,24	122,41	634,92	1076,46	15,43	3,62	8,04	23,31
2345	819,05	138,60	635,19	1121,39	14,23	2,46	9,68	17,85
2346	848,67	169,16	629,60	1301,00	11,63	2,83	7,96	20,59
2360	795,08	109,84	623,14	1029,67	13,84	3,22	8,28	20,14
2361	797,91	131,24	566,09	1037,64	12,34	3,03	6,12	16,96
2367	791,36	145,83	563,37	1085,57	12,34	3,11	6,82	18,49
2370	825,88	150,59	547,92	1132,23	11,93	2,52	6,48	16,08
2371	874,64	162,68	536,97	1159,75	12,62	2,75	7,92	17,76
2373	795,29	122,05	563,36	1044,18	17,36	3,54	11,59	25,18
2374	773,12	106,91	591,92	1033,48	15,03	2,97	10,45	21,40
2377	837,50	121,28	630,50	1070,49	10,94	2,66	6,87	16,73
2382	735,85	122,75	579,47	1052,42	13,31	3,42	5,80	20,10
2383	885,64	115,13	697,84	1174,28	13,48	3,06	8,28	18,77

2387	791,44	159,45	541,33	1396,25	13,21	3,14	8,08	20,34
2388	860,19	160,60	577,67	1237,73	13,84	2,69	9,09	19,11
2390	815,22	127,53	577,01	1097,74	13,87	2,70	8,99	18,84
2396	799,23	168,31	567,19	1257,60	11,09	2,62	6,92	17,56
<b>Total</b>	<b>808,03</b>	<b>150,97</b>	<b>461,34</b>	<b>1496,55</b>	<b>13,63</b>	<b>3,23</b>	<b>4,69</b>	<b>26,64</b>