



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Argentina



UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES

Fecha actualización

24/11/2022



Caracterización Tecnológica de Clones de Eucaliptos

MAESTRIA EN CS FORESTAL-FCF-
UNaM

Ing. Ftal.: MARTINEZ MATIAS S.

Dra Tesis: M. Sc. Ftal.: WINCK ANGELA R.

Co-Director de Tesis: MASTRANDREA CIRO A.

Introducción

- ❑ Fuente de fibra corta para producción de pulpa
- ❑ Uso estructural, carpintería y reprocesado industrial.

❑ ***ESPECIES PARENTALES PARA LOS CLONES:***

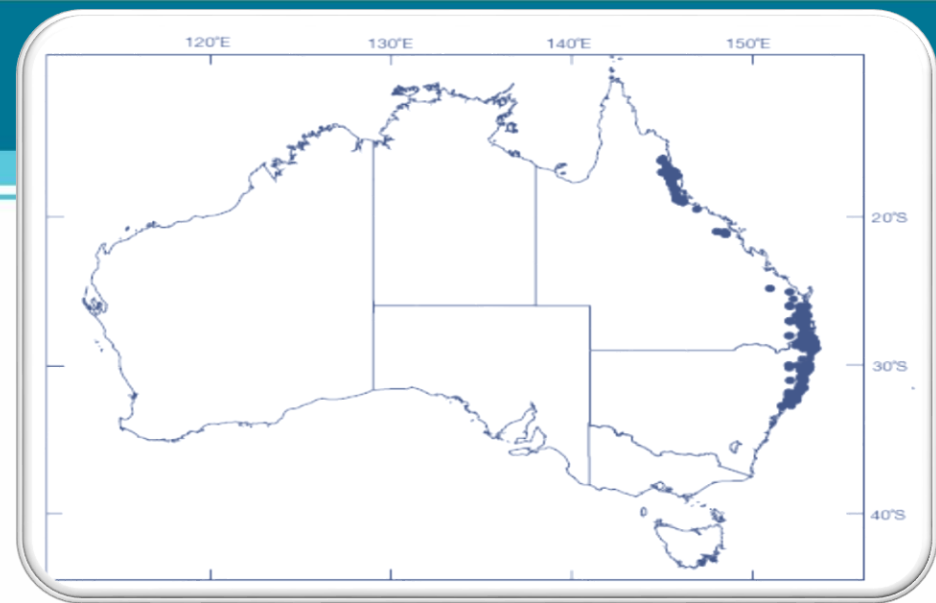
- ❑ *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden (*Rose gum Qld*)
- ❑ *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh (*River Red Gum*)

ESPECIES PARENTALES

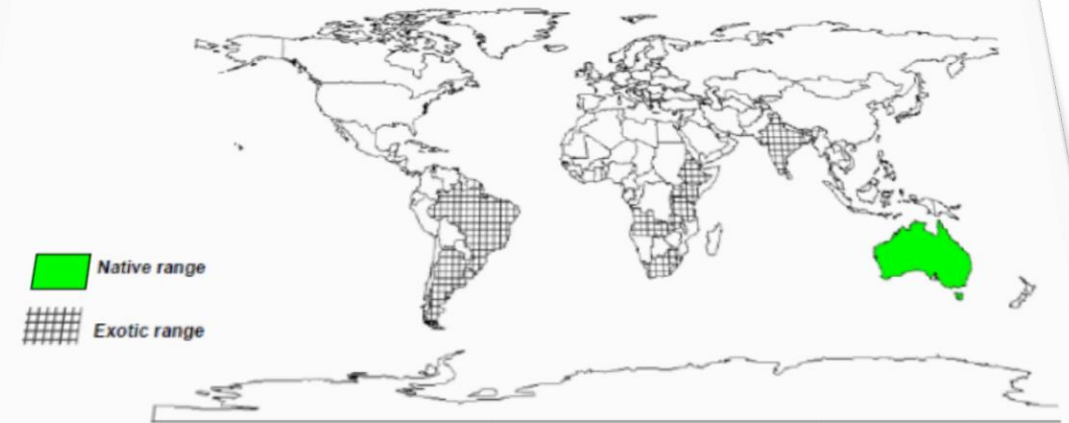
☐ *Eucalyptus grandis*

- ☐ Árbol forestal de 45– 55 m de altura
- ☐ 1,2–2 m de diámetro altura pecho,
- ☐ Lugar de origen: País Australia
- ☐ Se extiende de manera exótica en varios países, Angola, Argentina, Brasil y otros

Fuente: Orwa et al, 2009



Fuente: Forest tres of Australia



Eucalyptus grandis

CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA

☐ Trabajabilidad:

- Buena:
 - Cepillado
 - Moldurado
 - Encolado.
- Regular:
 - Clavado.

☐ Penetrabilidad

Preserv.:

- Muy penetrable:
 - Albura.
- Impenetrable:
 - Duramen.

☐ Características Físicas:

▪ Densidad:

- 390-560 kg/m³ (15% C.H.).
- 340 – 519 Kg/m³ (Anhidra).

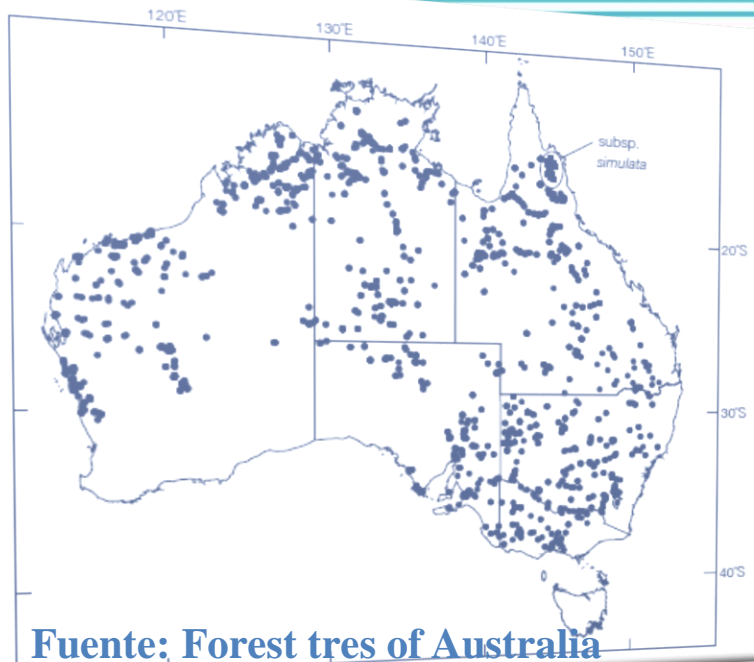
☐ Características Mecánicas:

- MOE:98000-105000 (kg/cm²).
- MOR: 730 – 850 (kg/cm²).
- Dureza Janka:
 - 290 kg/cm² Tg.
 - 285 kg/cm² Rd.

Usos: Elementos estructurales-carpintería-fibra-zocalo-pisos.

ESPECIES PARENTALES

□ *Eucalyptus camaldulensis*



- La altura del árbol puede alcanzar de hasta 20 a los 45 m.
- Diámetro de 1 a 2 metros.
- Lugar de origen: País Australia.
- Distribución como exótica: Argentina, Etiopía, Italia, Kenia, Malasia, Marruecos, Nepal, Nigeria, Pakistán, Filipinas, España, Uganda, Reino Unido.



Fuente: Orwa et al, 2009

Eucalyptus camaldulensis

CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA

☐ Trabajabilidad:

- Buena:
 - Cepillado
 - Torneado
- Regular:
 - Clavado.
 - Encolado.

☐ Penetrabilidad

Preserv.:

- Muy penetrable:
 - Albura.
- Impenetrable:
 - Duramen.

☐ Característica Físicas:

▪ Densidad:

- 580 – 800 Kg/m³ (Anhidra).

☐ Característica Mecánicas:

- MOE: 101.000(kg/cm²).
- MOR: 1.650(kg/cm²).
- Dureza Janka:
 - 645 kg/cm² Tv.

Usos: Carpintería rural- HDF-leña-carbon- elementos estructurales.

✓ Aptitudes de los clones generados

- ✓ Característica de la madera = conocimiento de su aptitud.
- ✓ Proceso industriales adecuados para la madera.
- ✓ Comparar con otras especies o material genético.



Las plantaciones de rápido crecimiento juegan un papel importante para el futuro del mercado global de la madera, esto conlleva a seguir realizando los estudios tecnológicos de la madera para las diferentes especies, clones e híbridos que van surgiendo en el tiempo.



Objetivo General

Evaluar las características físicas y mecánicas de la madera en probetas estandarizadas y los defectos en tablas y rollizos del material seminal de *E. grandis* y clones selectos de *Eucalyptus*, para determinar sus potenciales aptitudes.

Objetivo Específicos

- 1 Determinar el índice de rajado del primer y segundo rollizo de los clones y material seminal.
- 2 Caracterizar el primer y segundo rollizo de los clones y material seminal con respecto a su conicidad y proporción de duramen.
- 3 Caracterizar materiales clonales y de semilla mediante el estudio de propiedades físicas y mecánicas sobre probeta de pequeñas dimensiones y libre de defectos.
- 4 Generar una base de datos sobre el comportamiento de clones, a fin de que puedan ser aplicados en la selección de nuevos materiales genéticos para diferentes usos.



HIPÓTESIS

- ❑ Los clones selectos de *Eucalyptus* presentan valores superiores para las propiedades físicas y mecánicas y menor variabilidad con respecto a la media del material seminal de *Eucalyptus grandis*.
- ❑ Existe variabilidad tecnológica con respecto a las propiedades físicas y mecánicas y los defectos evaluados entre los materiales genéticos estudiados.
- ❑ Los fustes y rollizos de los materiales seleccionados presentan mejor forma con respecto al material seminal de *Eucalyptus grandis*.

Estudio Dendrométrico en Rollizos

1

Determinar el índice de rajado del primer y segundo rollizo de los clones y material seminal.

2

Caracterizar el primer y segundo rollizo de los clones y material seminal con respecto a su conicidad y proporción de duramen.



Tensiones Crecimiento /Rajado

- Reducción en el rendimiento.
- Inconveniente en el secado.
- Relacionada con MG, edad, tasa crecimiento.

1



Conicidad

- Son de importancia con respecto a calidad de fuste.
- Proceso de aserrado y laminación, con influencia en productividad.

2



Duramen y Albura

- Aserrado, mayor proporción de duramen.
- Postes y Celulosa, mayor proporción albura.
- Rel. D/A determina calidad madera según uso final

3

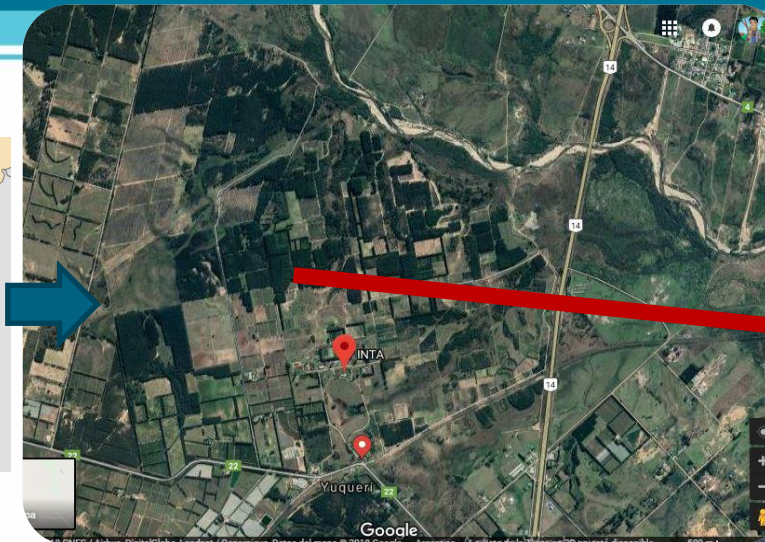


MATERIALES Y MÉTODOS

LUGAR DE EJECUCIÓN DE ESTUDIO

PREDIO DE LA EEA INTA Cdia ER

- Longitud de 58°07'16" O,
- Latitud de 31°21'56"S y
- Altitud 47 msnm



❑ EDAD DE PLANTACION: 15 AÑOS.

❑ MARCO PLANTACION 3,5 M X 3,5 M

❑ SE REGISTRO ALTURA Y DAP

❑ 40 ARBOLES CORTADOS (8 x c/ MG).

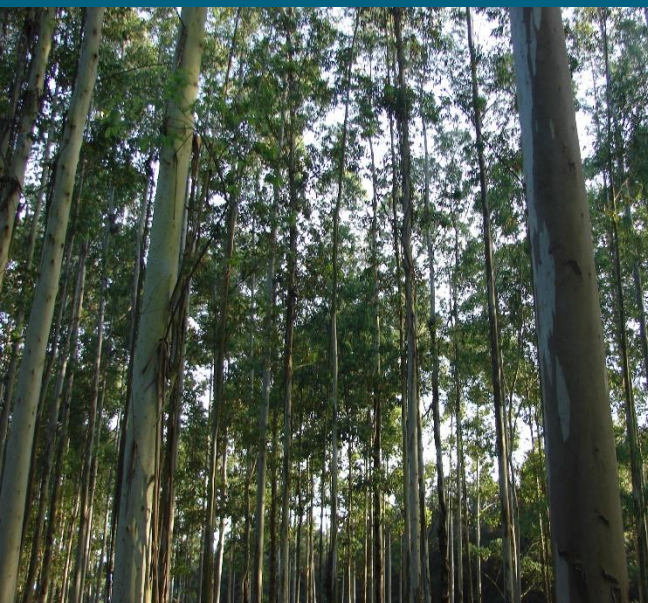
❑ SE REGISTRARON EL DIAMETRO DEL FUSTE A DISTINTAS ALTURAS.

❑ SE TROZARON LOS FUSTES

Bordura doble perimetral de *E. grandis* proveniente de un Huerto Semillero de Progenie



MATERIAL GENÉTICO SELECCIONADO



Material Genético	Especie	Ht (m)	C.V. (%)	Dap.cc (cm)	C.V. (%)
EG INTA HSP	<i>E. grandis</i> de semilla	31,68 (27,8 – 35)	7,25	29,19 (22,1 – 33)	15,78
EG INTA 157	Clon <i>E. grandis</i>	27,80 (21,8 – 32,4)	14,12	22,41 (16,2 – 31,8)	25,15
EG INTA 36	Clon <i>E. grandis</i>	33,89 (31,6 – 36,5)	4,88	30,23 (25,3 – 38,5)	13,87
GC INTA 24	<i>E. grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i>	28,55 (26,5 – 31,1)	5,03	22,16 (18,8 – 27,2)	12,43
GC INTA 27	<i>E. grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i>	33,49 (30,5 – 35,5)	5,15	27,15 (22,6 – 33,1)	14,32

Ht = Altura total (metros), C.V.=Coeficiente de Variación, Dap.cc = Diámetro a 1,3 m de altura del suelo con corteza (cm), Vol.cc = Volumen promedio individual (m³). Entre paréntesis, máximos y mínimos de la variable.

VARIABLES DE ESTUDIO EN FUSTE Y ROLLIZOS

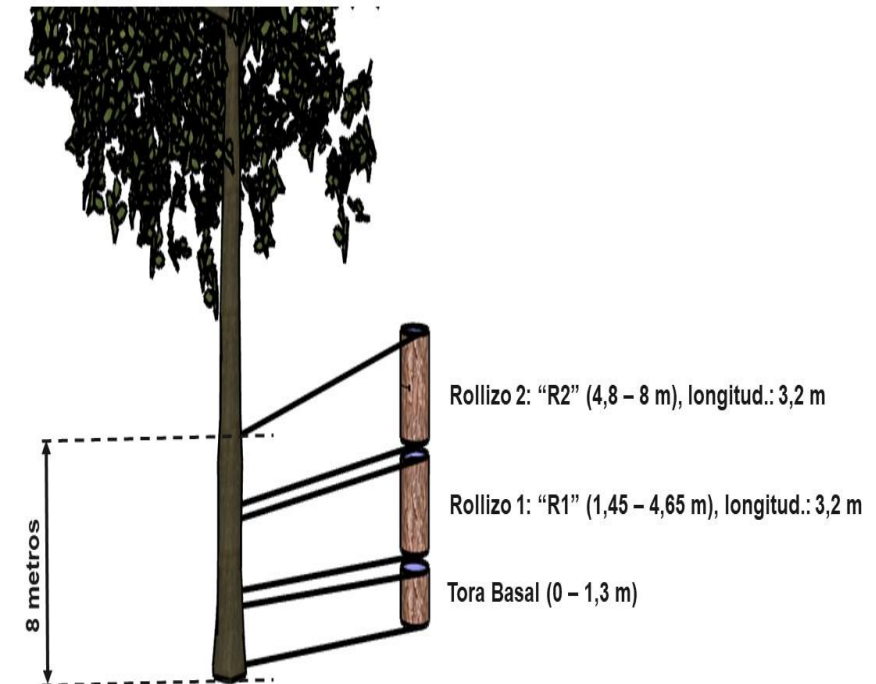
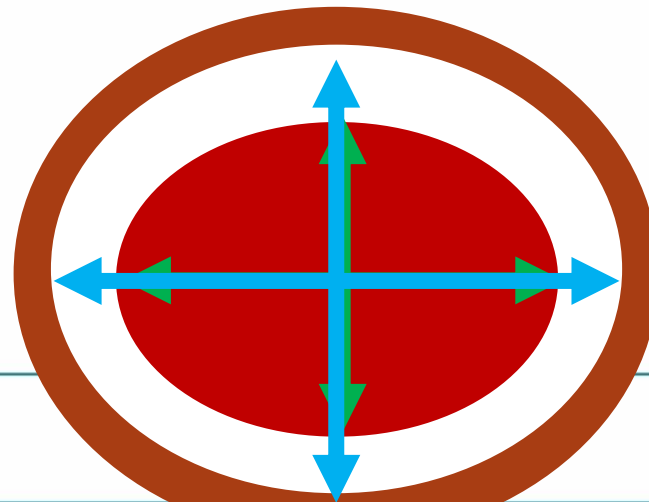
Conicidad Fuste (cm/m)

$$C = \frac{d_b - d_p}{h}$$

Conicidad de Trozas (cm/m)

$$C_t = \frac{d_{pg} - d_{pf}}{L}$$

- Proporción de duramen, (1,45 m, 4,65 m y 8,00 m).
- Ancho de la albura por diferencia, dividido por dos.
- La relación de duramen con la albura (D/A)



Índice de rajado en rollizos

ROLLOS EVALUADOS

CARAS MEDIDAS

16 ROLLOS POR MATERIALES GENETICO

ROLLO BASAL(R1)
8 UNIDADES

ROLLO SUBSIGUIENTE (R2)
8 UNIDADES

ROLLO 1

PUNTA GRUESA (PG)

PUNTA FINA (PF)

ROLLO 2

PUNTA GRUESA (PG)

PUNTA FINA (PF)

80 ROLLOS

160 CARAS REGISTRADAS

HORAS PROCESADAS

0 h.

72 h.

144 h.

TENSIONES DE CRECIMIENTO



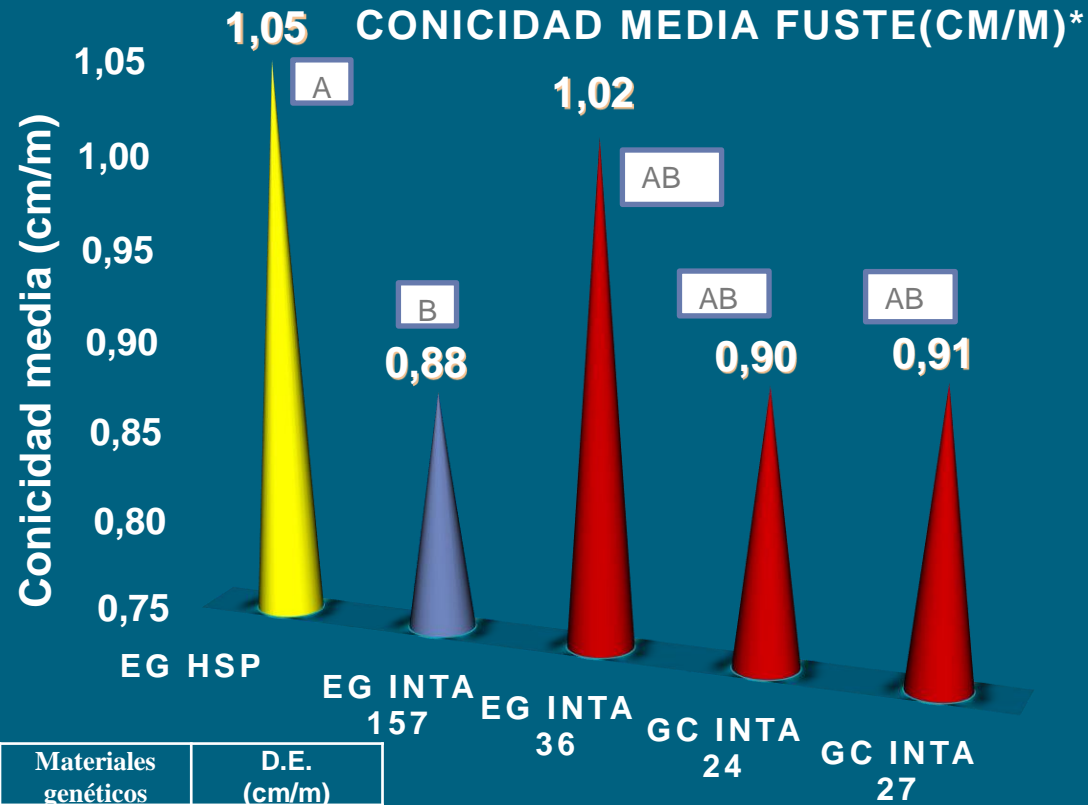
PROCESO DE SECADO/CONTRACCIONES

FOTOGRAFIAS DE LAS CARAS TRANSVERSALES DE LOS ROLLIZOS SELECCIONADOS

BOLSAS EN LOS EXTREMOS DE LOS ROLLOS

ANALISIS CON SOFTWARE SIG LIBRE

Resultados



Materiales genéticos	D.E. (cm/m)
EG HSP	0,13
EG INTA 157	0,07
EG INTA 36	0,13
GC INTA 24	0,06
GC INTA 27	0,13

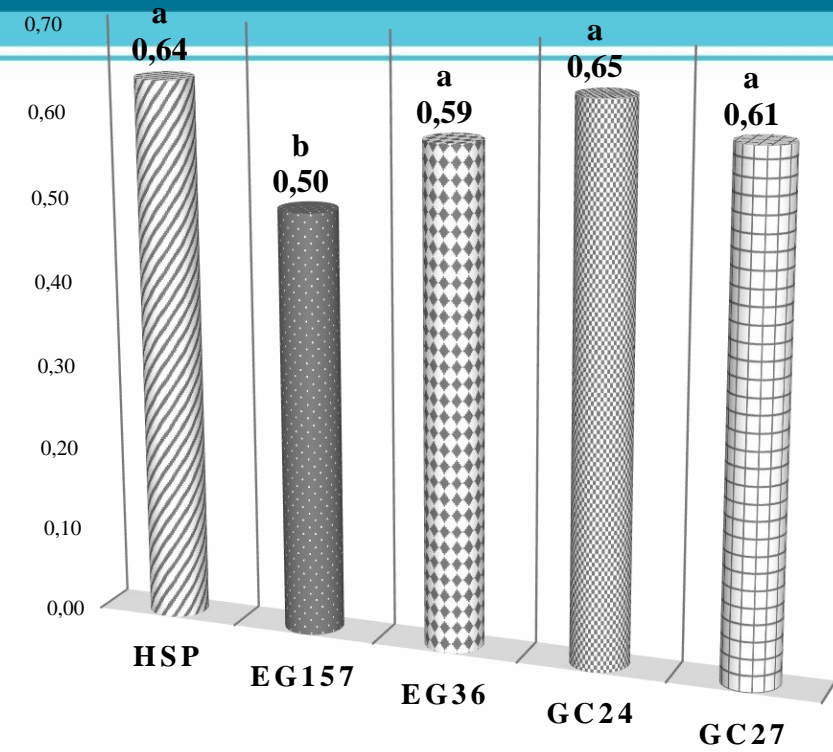
El EG INTA 157 menos cónico

Diferencia significativa entre R1 y R2 solamente en GC INTA 24.

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p -valor $\leq 0,05$). Test Tukey.

**Entre paréntesis, mínimos y máximos de la variable. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p -valor $\leq 0,05$). Test de media DGC.

CONICIDAD PROMEDIO DE LOS ROLLIZOS (CM/M)**



Materiales genéticos	C.V. (%)
EG INTA HSP	19,68
EG INTA 157	29,36
EG INTA 36	28,07
GC INTA 24	26,36
GC INTA 27	33,42

Materiales genéticos	Rollizos	Promedio (cm/m)
EG INTA HSP	R1 ^A	0,69
	R2 ^A	0,60
EG INTA 157	R1 ^A	0,54
	R2 ^A	0,46
EG INTA 36	R1 ^A	0,60
	R2 ^A	0,58
GC INTA 24	R1 ^A	0,77
	R2 ^B	0,54
GC INTA 27	R1 ^A	0,59
	R2 ^A	0,62

DURAMEN Y ALBURA

Promedio de espesor albura, porcentaje de duramen y relación duramen/albura del conjunto de alturas registrada.

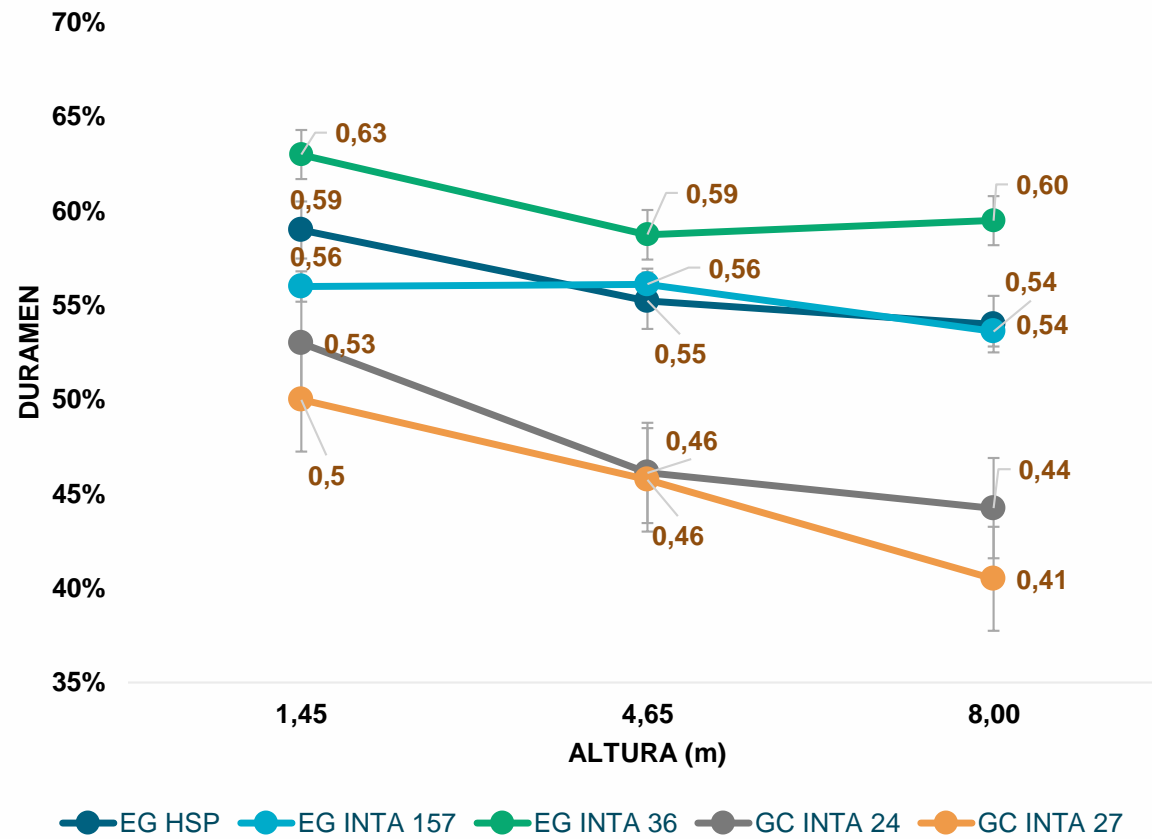
	Espesor de albura (mm)	Duramen/Albura (área/área)	Duramen (% Total área s/c)
EG INTA HSP	31,21 (14,81) B	1,30 (18,43) B	56 (8,10) A
EG INTA 157	24,10 (21,23) C	1,27 (24,57) B	55 (10,04) A
EG INTA 36	29,34 (17,66) B	1,59 (26,18) A	60 (10,61) A
GC INTA 24	28,00 (16,31) B	0,95 (31,02) C	48 (17,59) B
GC INTA 27	36,83 (12,84) A	0,94 (42,21) C	47 (20,26) B



Coefficiente de variación entre paréntesis. Medias con letras igual no son significativamente diferentes (p -valor $\leq 0,05$). Test de media DGC.

Porcentaje de duramen a distintas alturas de fuste.

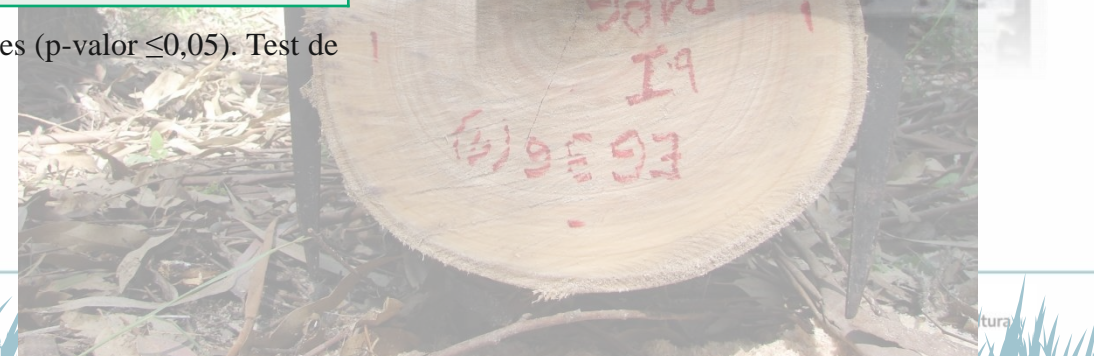
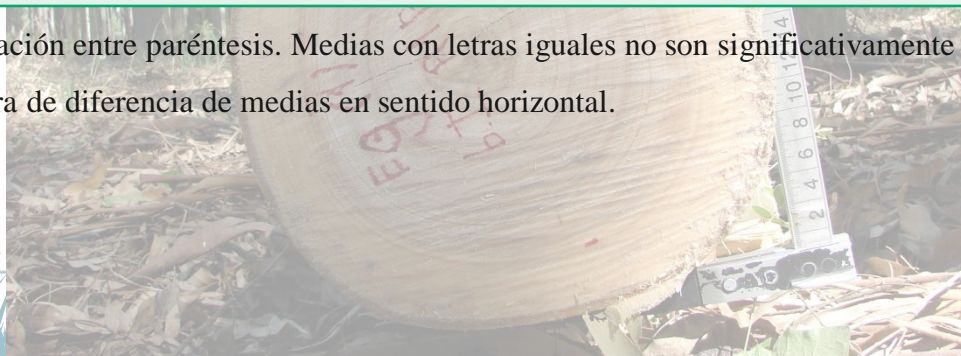
	1,45 m	4,65 m	8,00 m
EG INTA HSP	59a =	55a =	54a
EG INTA 157	56a =	56a =	54a
EG INTA 36	63a ≠	59b =	60b
GC INTA 24	53a ≠	46b =	44b
GC INTA 27	50a ≠	46b =	44b



Relación D/A en función altura.

Material genético	1,45 m	4,65 m	8,00 m
EG INTA HSP	1,45 (18,25) A	1,24 (15,17) B	1,19 (16,17) B
EG INTA 157	1,28 (22,56) A	1,34 (30,82) B	1,18 (18,88) A
EG INTA 36	1,76 (26,68) A	1,47 (24,89) A	1,53 (26,07) A
GC INTA 24	1,12 (17,74) A	0,88 (25,81) B	0,86 (44,73) B
GC INTA 27	1,04 (32,85) A	0,88 (31,98) B	0,89 (61,49) B

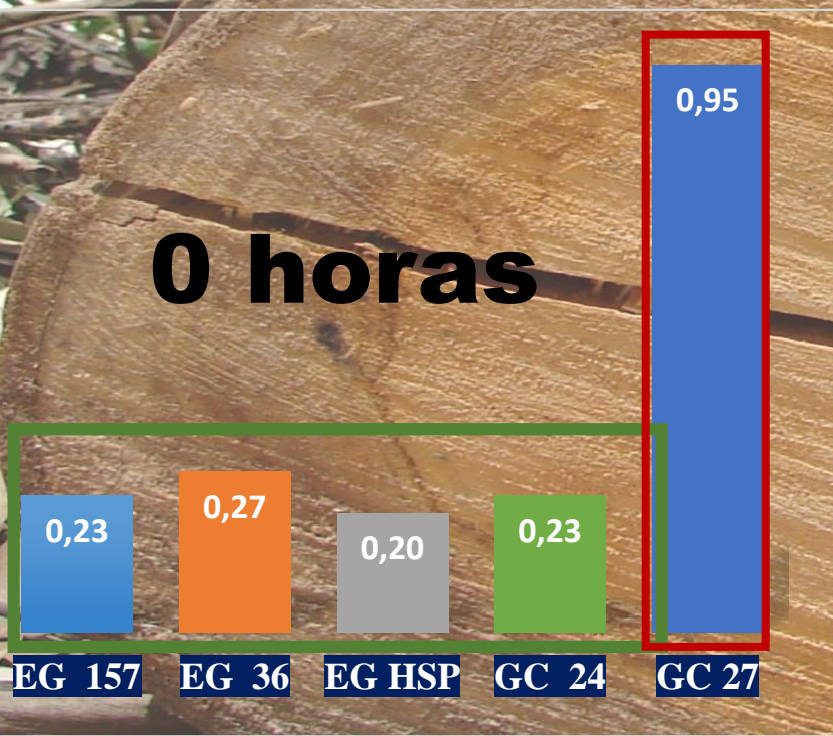
Coeficiente de variación entre paréntesis. Medias con letras iguales no son significativamente diferentes (p -valor $\leq 0,05$). Test de media DGC. Lectura de diferencia de medias en sentido horizontal.



TENSIONES DE CRECIMIENTO Y RAJADURA

RESULTADOS POR HORA

0 horas



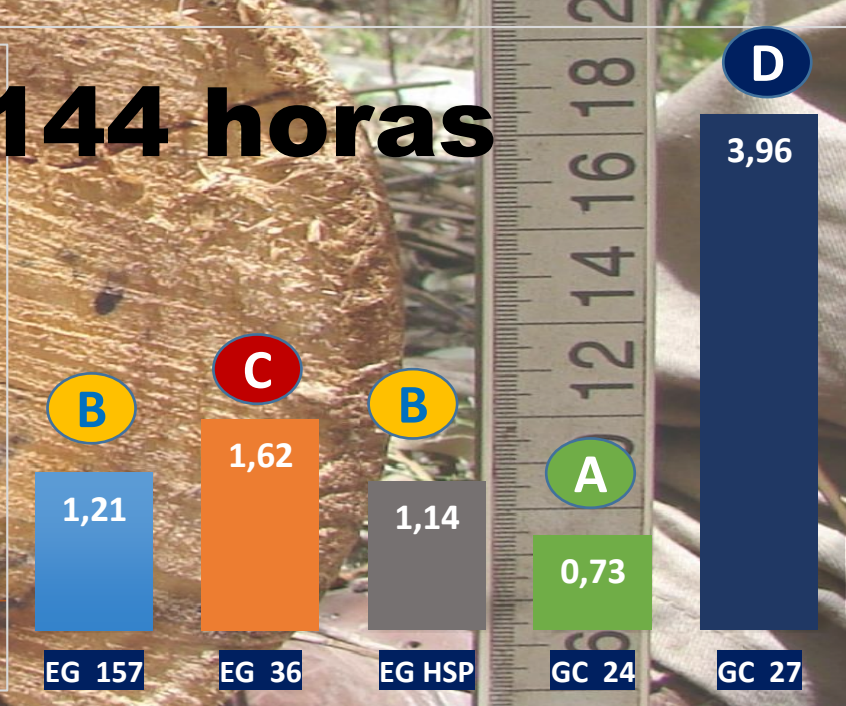
41%	43%	33%	44%	47%
-----	-----	-----	-----	-----

72 horas



25%	38%	36%	21%	50%
-----	-----	-----	-----	-----

144 horas



40%	42%	44%	41%	39%
-----	-----	-----	-----	-----

Modelos lineales generales mixtos (MGL), donde los factores fijos fueron los materiales clónales y posición de los rollizos, mientras que factor aleatorio el árbol.

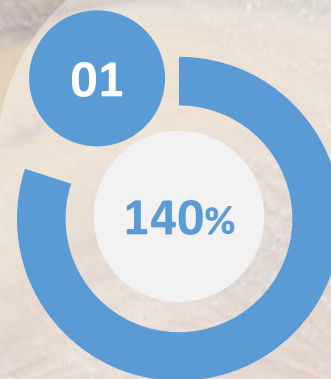
La comparación de medias se realizó mediante el test de DGC a un nivel de significancia de 5 %

Incremento por MG

0-72 HORAS

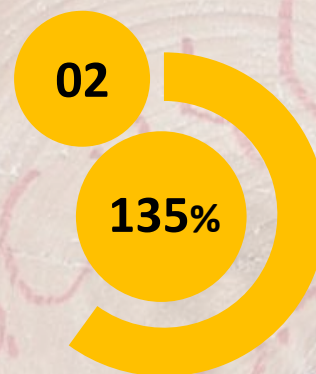
TENSIONES DE CRECIMIENTO

CON BOLSAS DE POLITILENOS EN
LOS EXTREMOS DE LOS ROLLIZOS



Material Seminal

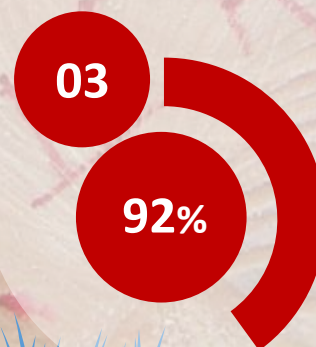
EGHSP 140%



Clones Interespecificos

GC24 74%

GC27 197%



Clones Intraespecificos

EG157 65%

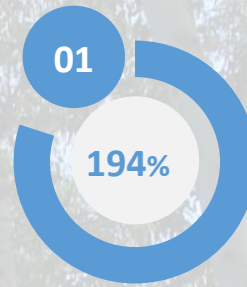
EG36 119%

Incremento por MG

72-144 HORAS

**TENSIONES DE CRECIMIENTO
+
PROCESO DE SECADO
Y
CONTRACCIONES**

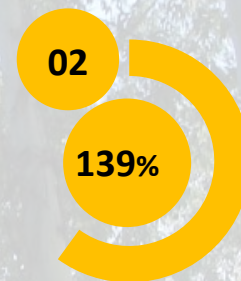
SIN BOLSAS DE POLITILENOS EN LOS
EXTREMOS DE LOS ROLLIZOS



Clones Intraespecificos

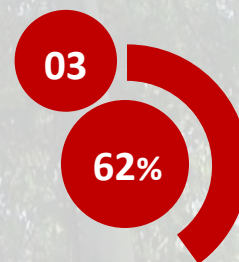
EG157 218%

EG36 175%



Material Seminal

EGHSP 139%



Clones Interespecificos

GC24 40%

GC27 83%

IRr por cada rollizo según M.G.

0 hora

72 hora

144 hora

R1 = R2

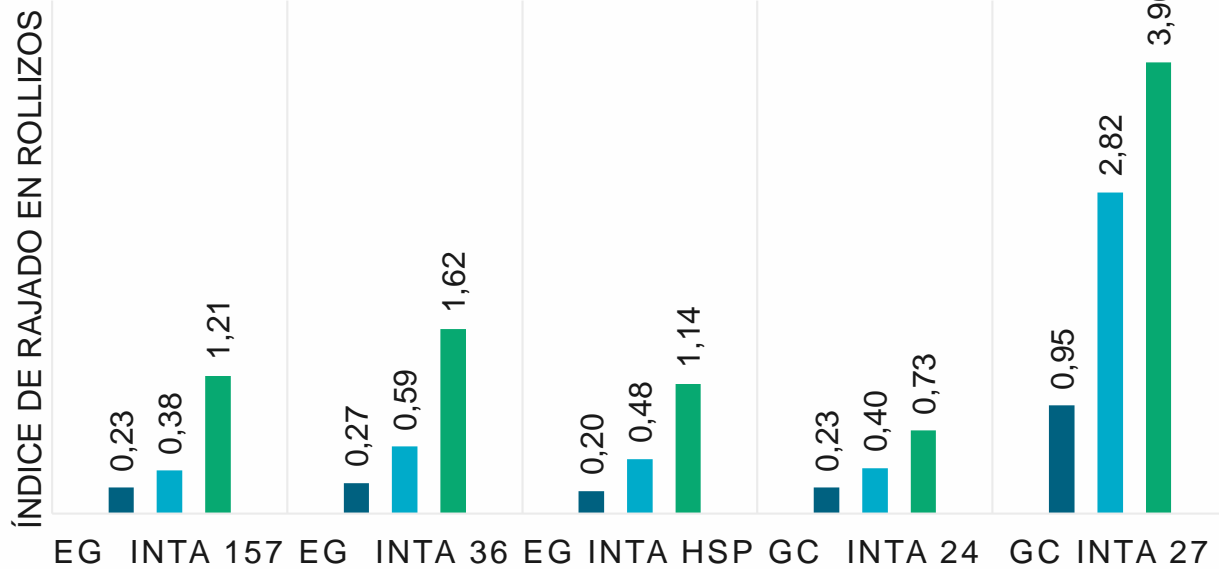
R1 ≠ R2

GC INTA 27

R1 ≠ R2 GC INTA 27 y EG INTA 36

Índice de rajado en rollizos en diferente momento de observación.

■ 0 horas ■ 72 horas ■ 144 horas



Variación porcentual de índice de rajado en rollizos, en diferente momento de observación.

Materiales genéticos.	0 hs	72 hs	144 hs
EG INTA HSP	-	-	-
EG INTA 157	15,00 %	-21,00 %	6,00 %
EG INTA 36	35,00 %	23,00 %	41,00 %
GC INTA 24	15,00 %	-17,00 %	-36,00 %
GC INTA 27	375,00 %	487,00 %	246,00 %

*Clases
de severidad
en IRr*

BAJA

EG INTA HSP

EG INTA 157

GC INTA 24

MEDIA

EG INTA 36

ALTA

GC INTA 27

Sugeridas por López *et al.* (2009) para *E. grandis* en evaluaciones de tensiones de crecimiento a las 72 horas.

CONCLUSIONES



En conicidad de los rollizos y forma de fuste presentó mejores valores el EG INTA 157, aspecto de interés para aptitudes de uso en postes y rendimiento en proceso de aserrado o debobinado.



Los materiales evaluados presentan diferencias en su espesor de albura y proporción de duramen según su constitución genética.



Los híbridos *E. grandis* x *E. camaldulensis* presentan menor proporción de duramen o relación duramen/albura.



Estas diferencias deberán ser consideradas en el momento de analizar la aptitud o conveniencia de uso de los diferentes materiales en su transformación industrial.



Se considera un rasgo positivo para la industria del aserrado la mayor proporción de duramen, mientras que para la industria de la celulosa y de impregnación, aquellos con mayor proporción de albura resultan más conveniente.

CONCLUSIONES



En el periodo global de observación, se destacó el GC-INTA-24 como material con menores valores de Índice de Rajado en rollizos y el GC-INTA-27 con los más altos índices



Los Índices de Rajado en rollizos fueron diferentes para cada momento de observación, e incrementaron con una tendencia lineal.



Para minimizar el efecto de rajado es aconsejable procesar los rollizos de manera inmediata, mayores tiempos de exposición de los rollos al aire libre, generara un incremento en los valores de índices de rajados, lo que conlleva a menores rendimientos.

Caracterizar materiales clonales y de semilla mediante el estudio de propiedades físicas y mecánicas sobre probeta de pequeñas dimensiones y libre de defectos.

Propiedades
Físicas

- Densidad.
- Cambios Dimensionales.

Definición:

Características cuantitativas de la madera resultado de su comportamiento debido a influencias externas y ambientales, que inciden en sus aplicaciones (Coronel, 1994).

INTRODUCCIÓN

Densidad:

- Factor de predicción de Uso Final.
- Es la cantidad de sustancia de madera o pared celular que una pieza de madera contiene por unidad de volumen

Cambio Dimensional:

- Involucran la contracción e hinchamiento de la misma, debido a diferentes estados de saturación de agua

Contenido de humedad:

- Influye en las propiedades físicas y mecánicas de la misma.

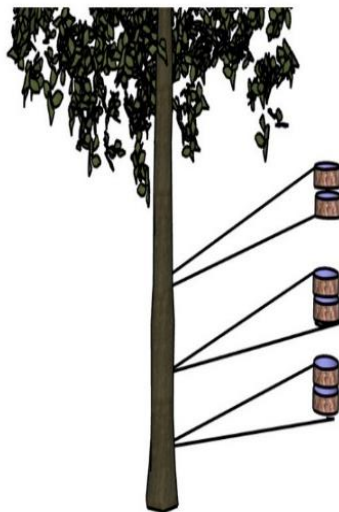
OBJETIVO

- ❑ Estudiar las propiedades físicas de la madera y su variación en el sentido axial y radial del fuste de dos clones de *Eucalyptus grandis*, dos clones híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis* y material seminal de *Eucalyptus grandis* y las comparaciones entre materiales genéticos considerando los posibles usos de la madera.

Se evaluaron las siguientes propiedades:

- ❑ Contenido de humedad en la madera en estados saturado y estacionado.
- ❑ Densidad de la madera a distintas posiciones del fuste (altura y distancia radial).
- ❑ Cambios dimensionales en diferentes alturas del fuste.

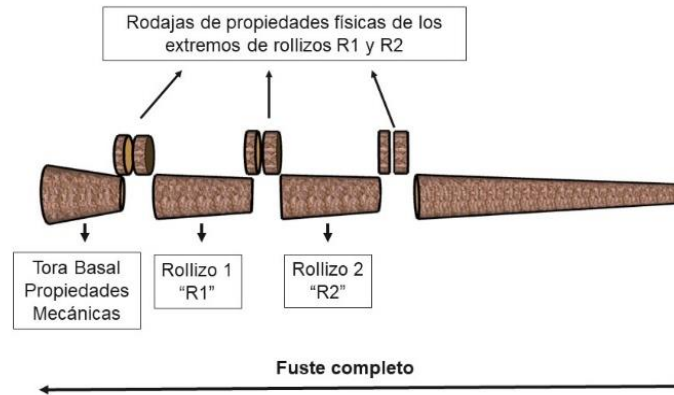
MATERIALES Y MÉTODOS



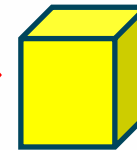
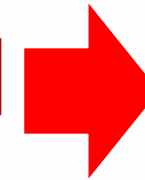
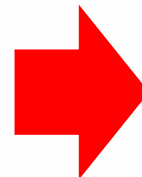
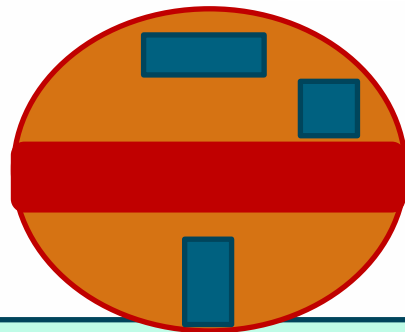
Altura 8,00 m (C)

Altura 4,65 m (B)

Altura 1,45 m (A)



RODAJAS
P/ PROP.
FISICAS



1,3m

3,2 m

3,2 m

3,2 m

3,2 m

TORA
BASAL

TORA 1

TORA 2

Propiedades	Variables	Normativas	Dimensiones	Altura de muestra
FÍSICAS	Contenido de humedad	IRAM 9532	20 mm x 20 mm x 20 mm	1,45 m. 4,65 m. 8,00 m.
	Densidades(estacionada/básica)	IRAM 9544	20 mm x 20 mm x 20 mm	
	Cambios dimensionales Contracciones lineales y volumétricas Coeficiente de contracción Anisotropía. Punto de saturación de fibra.	IRAM 9543	20 mm x 20 mm x 50 mm	

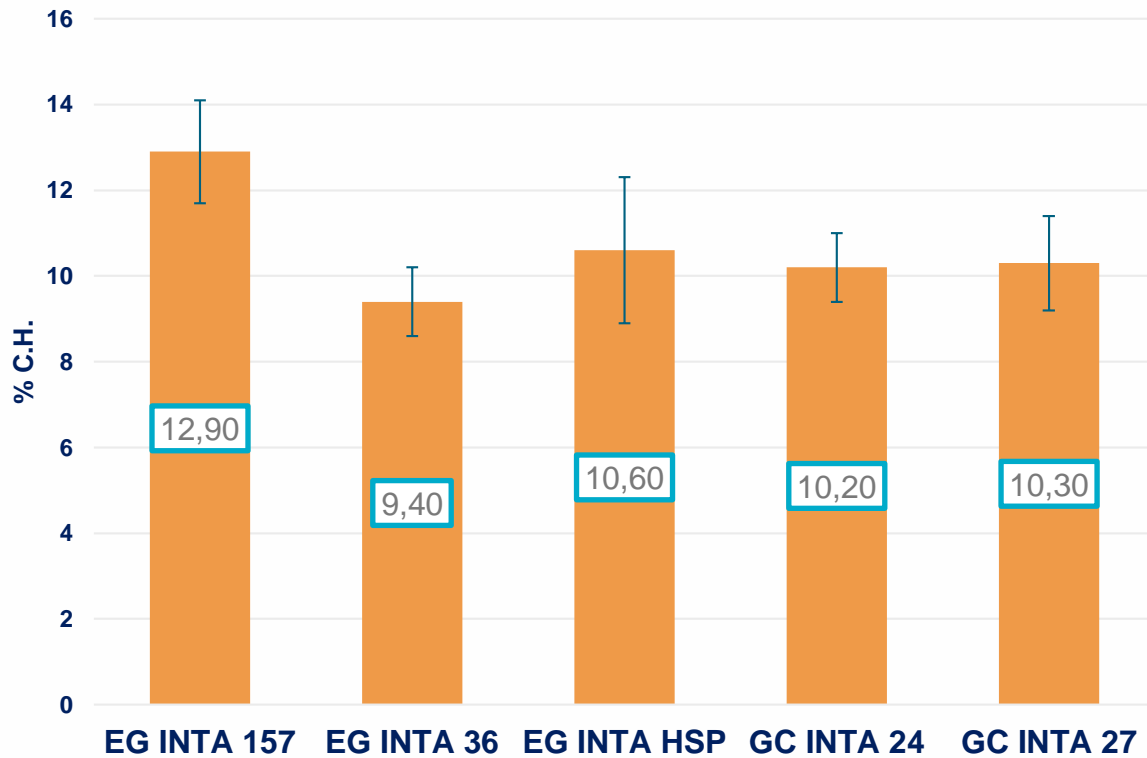


Análisis Estadístico:

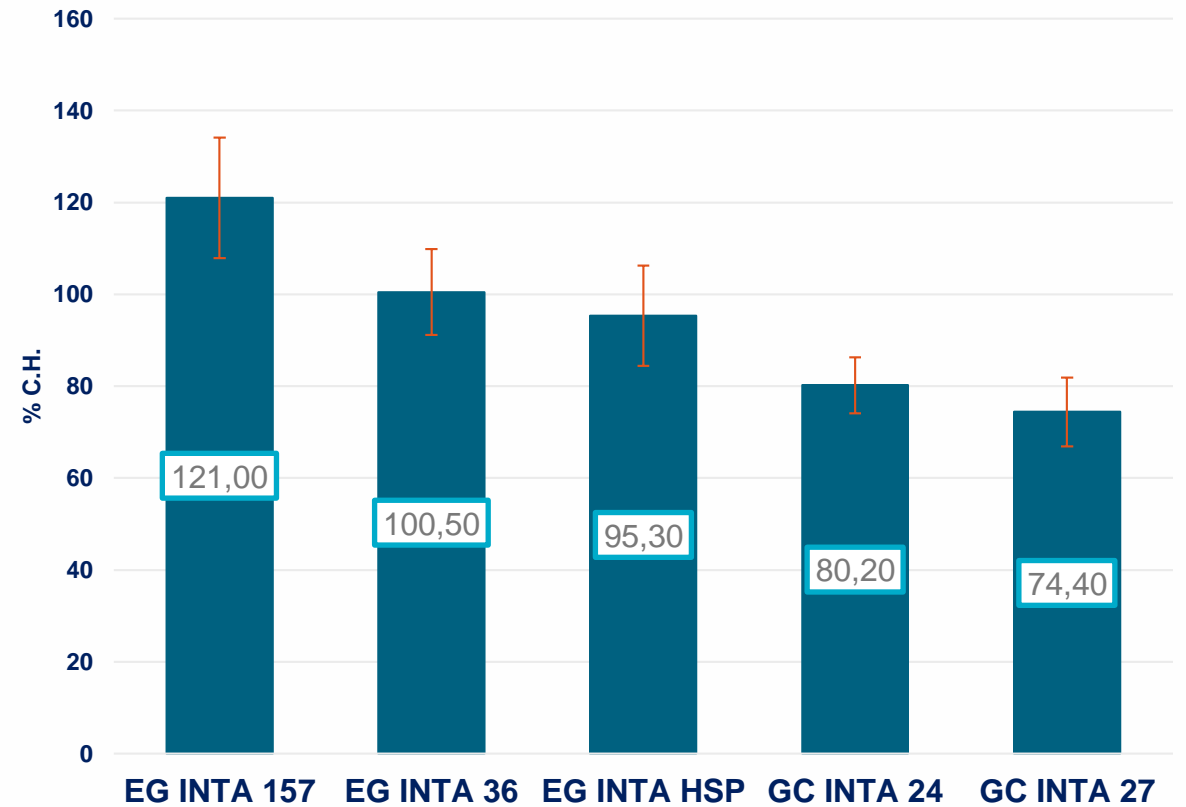
- ❑ Para el contenido de humedad de la madera se efectuó un resumen estadístico.
- ❑ Densidad y Cambios dimensionales, análisis de varianzas y comparación de medias.
- ❑ Se utilizaron modelos lineales generales mixtos (MGL).
- ❑ Estructura dependiente de datos y desbalanceado.
- ❑ Nivel de significancia de 5 %,
- ❑ Árbol como variable de efecto aleatorio.
- ❑ Las variables de efecto fijo fueron:
 - Material genético (MG),
 - Posición radial relativa (DR%).
 - Altura de fuste (HF).

Contenido de Humedad

Contenido de Humedad en madera estacionada



Contenido de Humedad en madera saturada

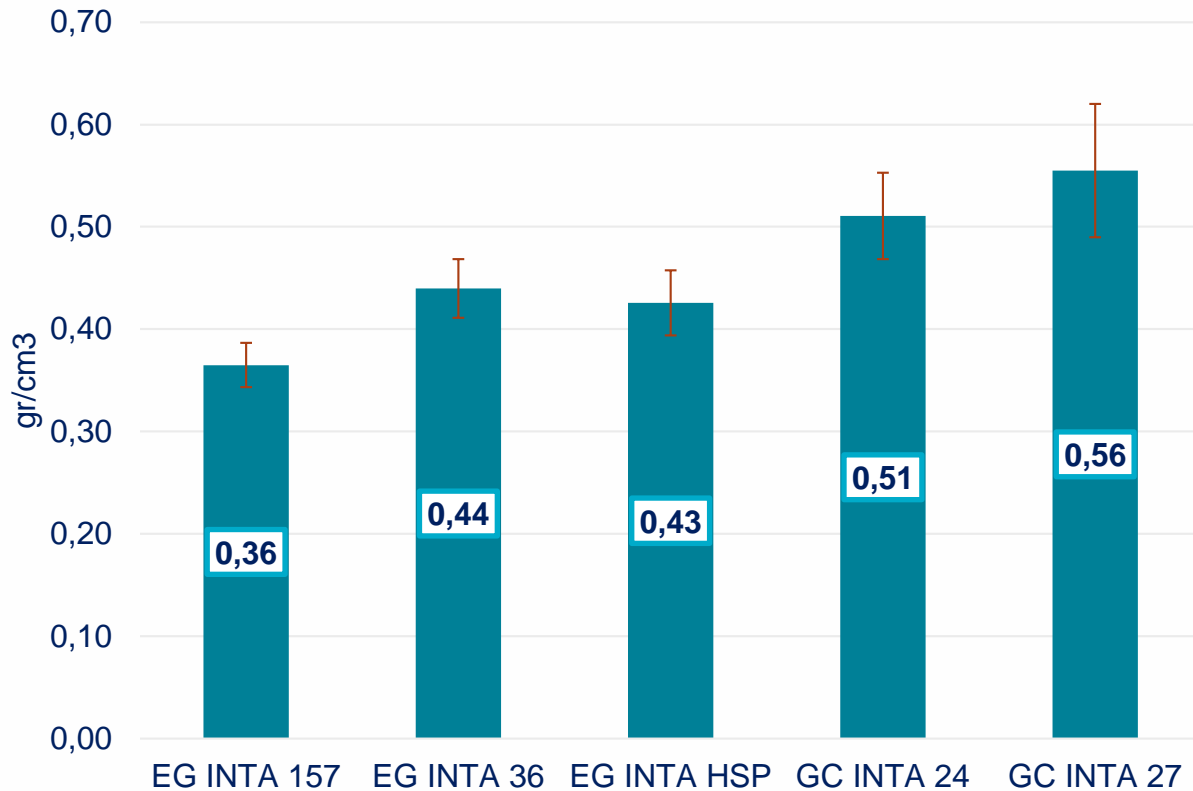


*Las barras indica el desvío estándar.

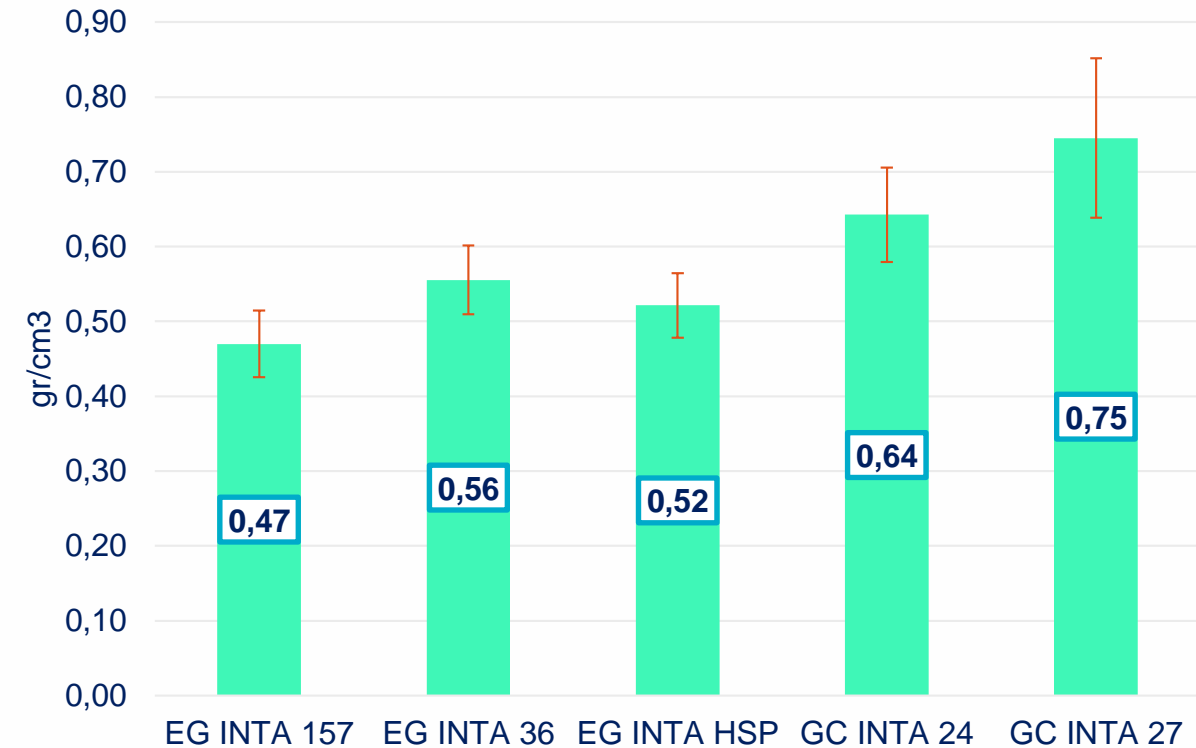


Densidades de la madera

Densidad básica de 5 materiales genéticos (gr/cm³)



Densidad estacionada de 5 materiales genéticos (gr/cm³)

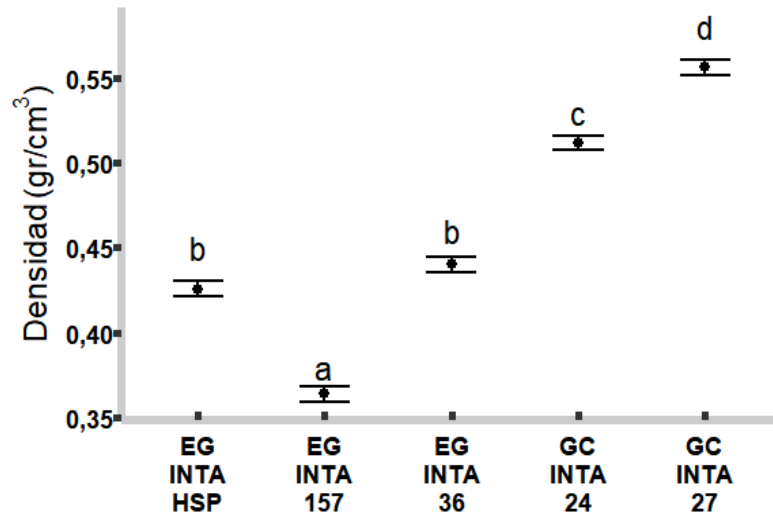


*Las barras indica el desvío estándar.

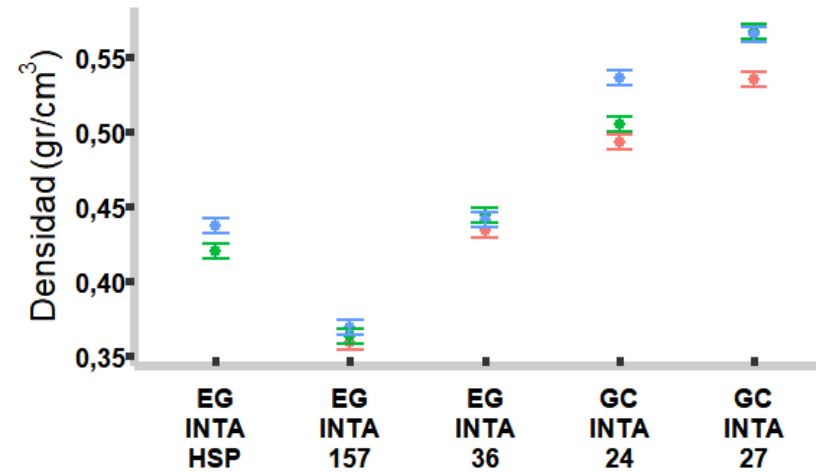


Densidad Básica (Db)

Promedio de Densidad básica



Variación Axial



Altura ■ 1,30 m ■ 4,65 m ■ 8,00 m

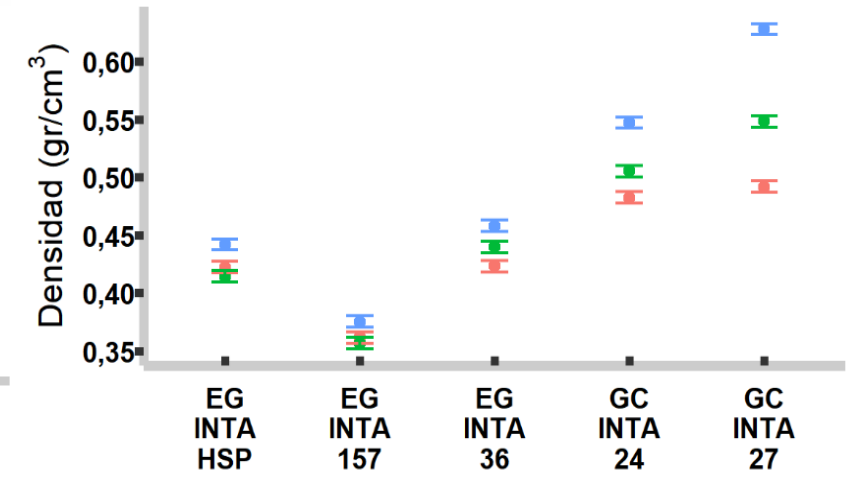
EG INTA HSP : 4,65 ≠ 8,00

Clones puros (EG) Db = Altura

GC INTA 24 Db ≠ Altura

GC INTA 27 1,30 ≠ 4,65

Variación Radial



Variación radial ■ 0 - 33 % ■ 34 - 66 % ■ 67 - 100 %

EG INTA HSP y EG INTA 157:
S3 ≠ S2 y S1

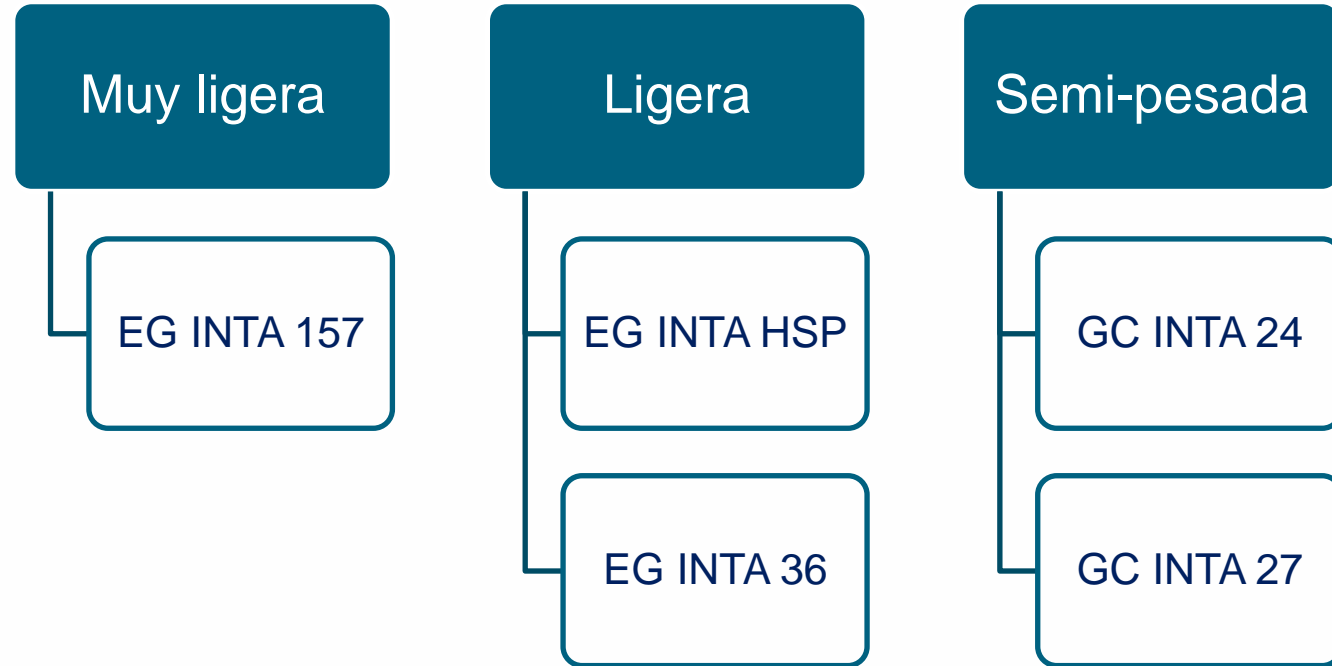
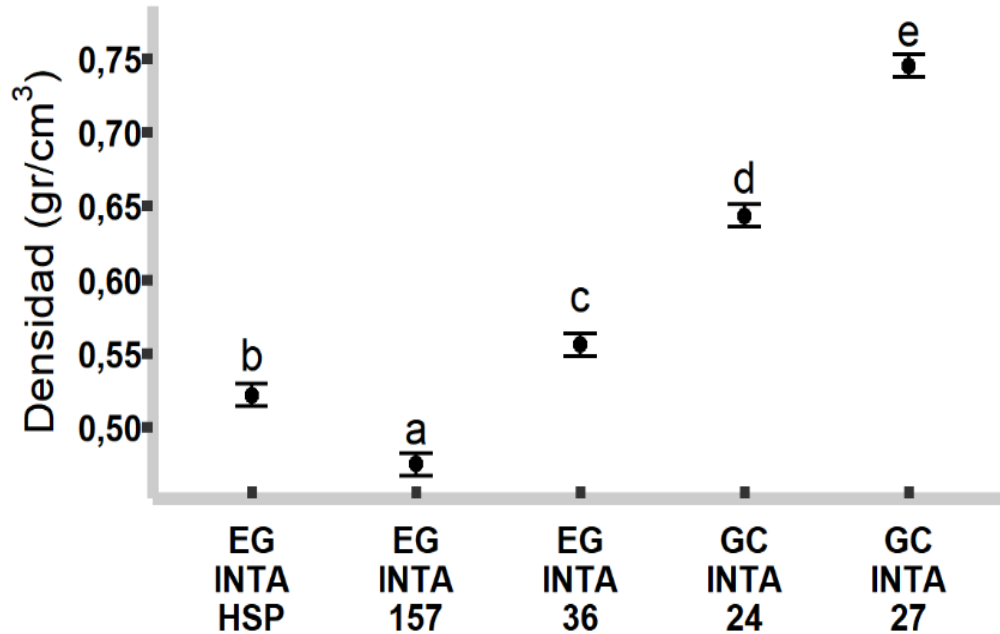
EG INTA 36 – GC INTA 24 y 27
S3 ≠ S2 ≠ S1

EG INTA HSP = EG INTA 36

EG INTA 157 ◀ MG

GC INTA 27 ▶ MG

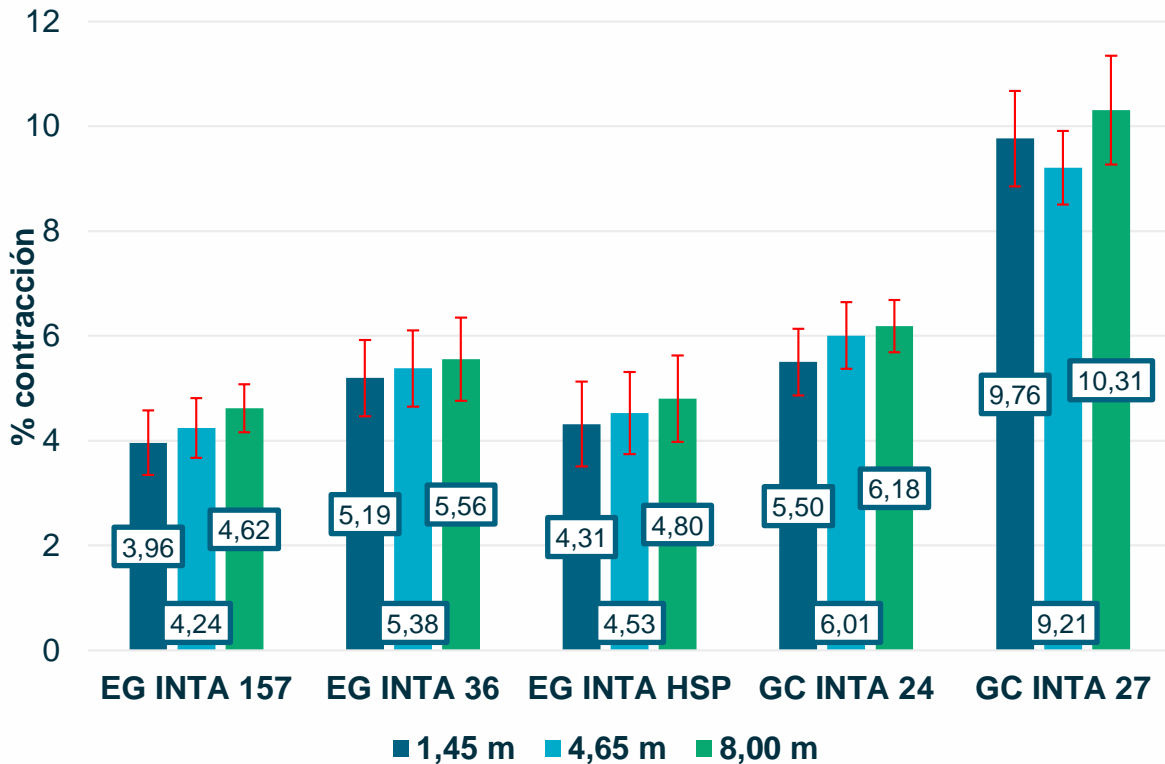
Densidad estacionada (De)



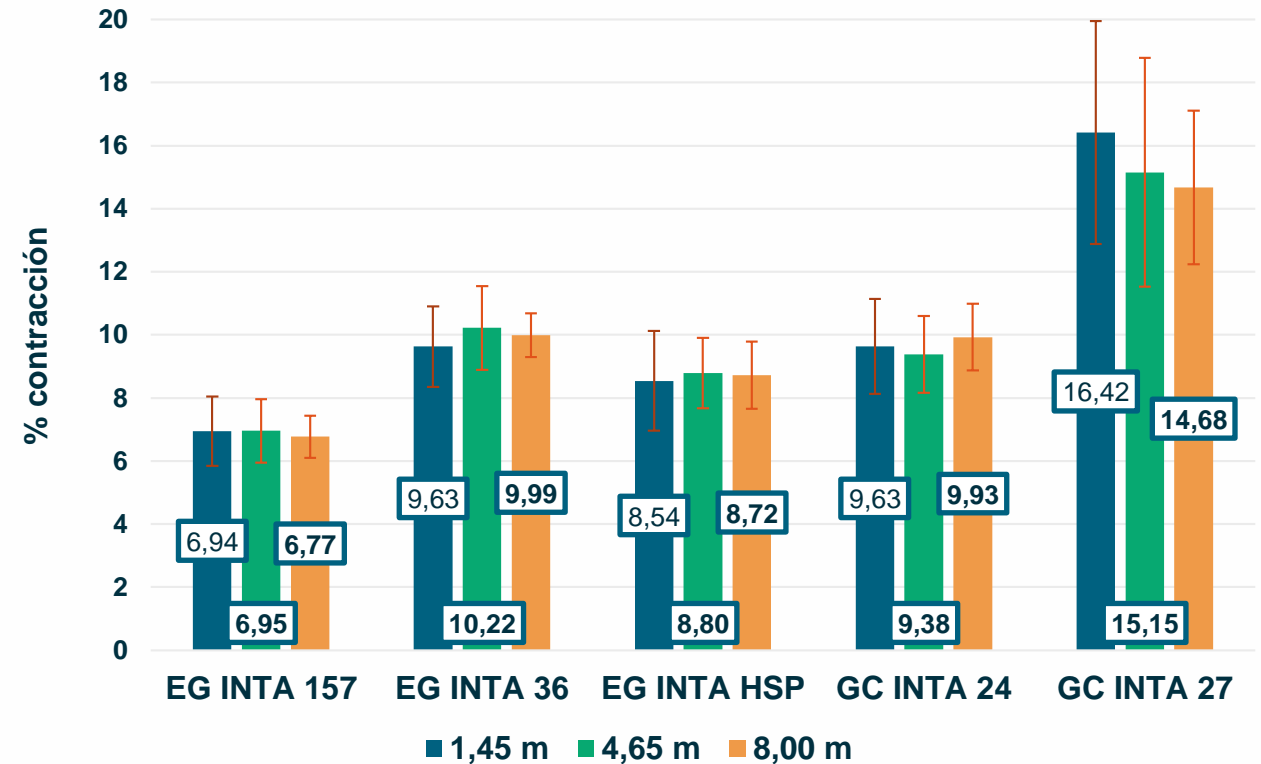
- Las variaciones axiales y radiales

Contracciones totales:

Contracción Radial máxima a diferente altura de fuste



Contracción Tangencial máxima a diferente altura de fuste

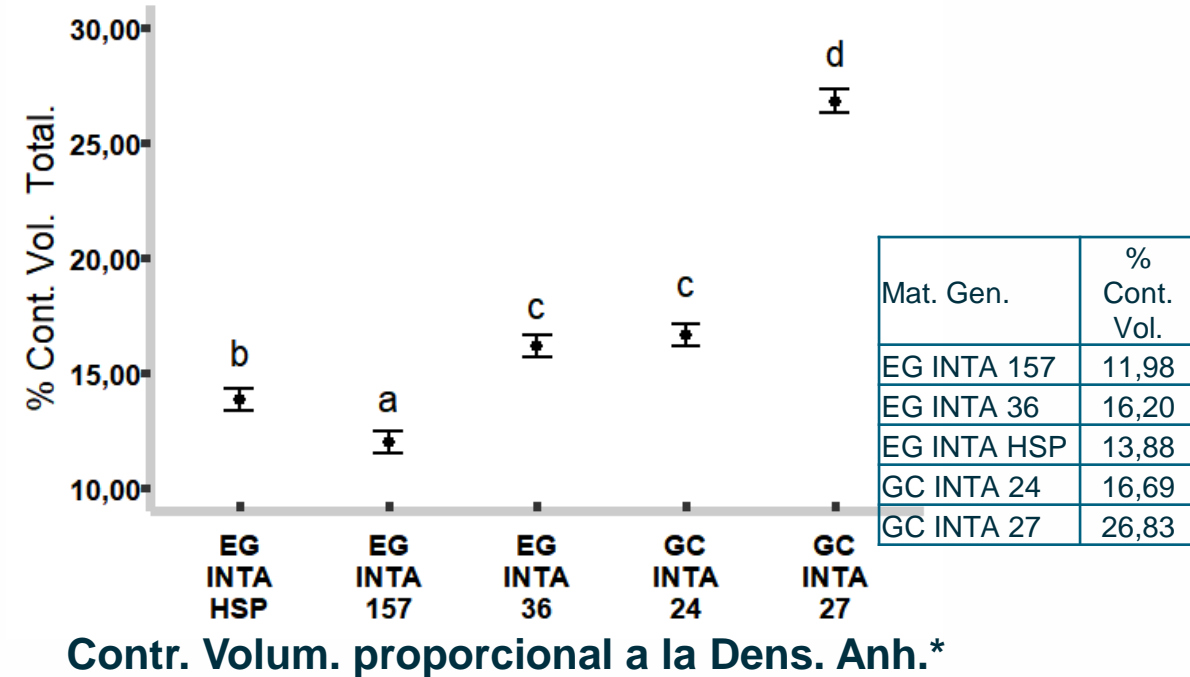
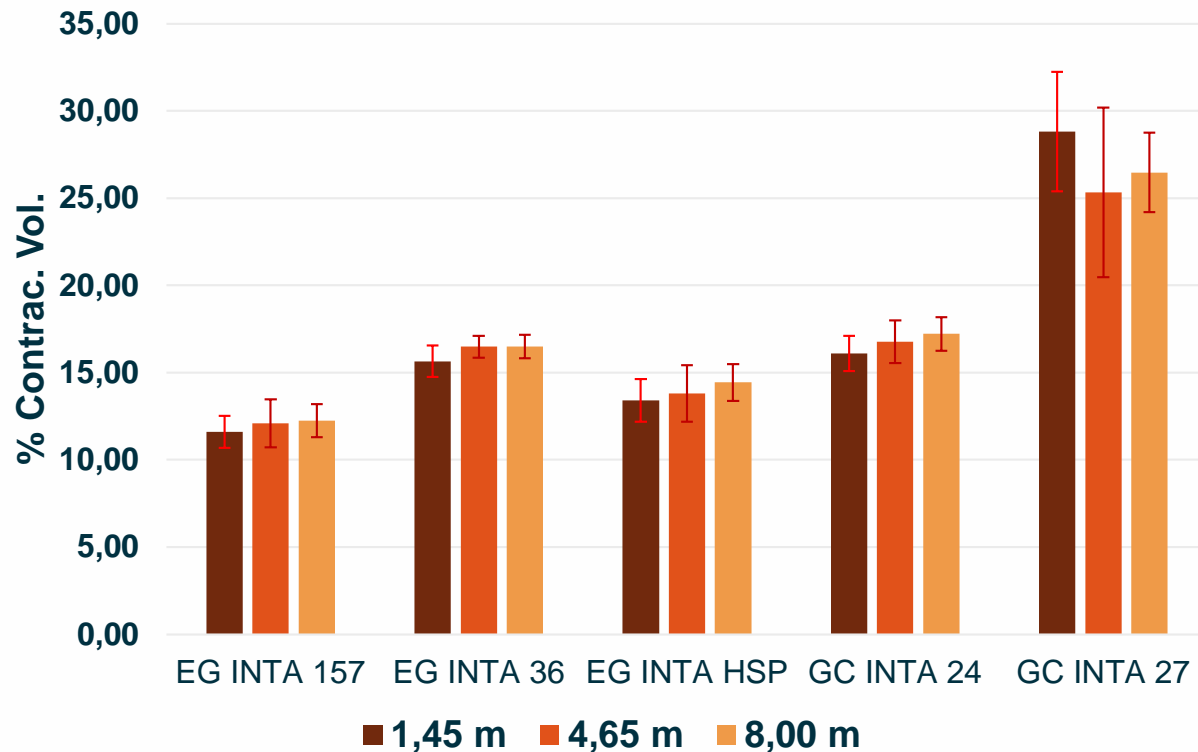


*Las barras indica el desvío estándar.

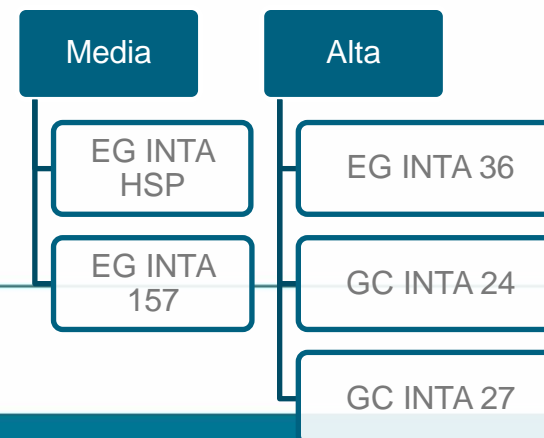
Contracciones Volumétricas:

Diferencias de medias de las Contracciones Volumétricas

Contracción Volumétrica en diferente altura de fuste



Contr. Volum. proporcional a la Dens. Anh.*



Etchenique *et al.*, 1975

Sin diferencias significativas en dif. altura (p-valor=0,29)

Las barras indica el desvío estándar.

*Coronel 1994



Coeficientes:

Coeficiente de anisotropía.

Materiales genéticos	Media (%)	CV (%)	Coronel (1994)	Ordoñez <i>et al.</i> , 1990
EG INTA HSP	1,90 b	8,85	Normales	Estables
EG INTA 157	1,64 a	10,77		
EG INTA 36	1,85 b	15,44		
GC INTA 24	1,63 a	13,90		
GC INTA 27	1,82 ab	23,25		

La tendencia del coeficiente de anisotropía en cuanto a la altura de fuste, demostró una disminución desde la base hasta los 8,00 m

Coeficiente de contracción.

Materiales genéticos	Prom Rd.	C.V. (%)	Prom Tg.	C.V. (%)
EG INTA HSP	0,15 bc	28,28	0,17 c	42,94
EG INTA 157	0,11 a	42,45	0,10 a	55,56
EG INTA 36	0,13 ab	31,50	0,09 a	35,48
GC INTA 24	0,11 a	34,82	0,13 b	58,78
GC INTA 27	0,17 c	50,60	0,19 d	59,89

Punto Saturación de Fibra (PSF).

Materiales genéticos	PSF (%)	C.V. (%)
EG INTA HSP	28,54	26,88
EG INTA 157	29,02	17,82
EG INTA 36	33,25	20,33
GC INTA 24	22,45	34,50
GC INTA 27	31,80	42,33

Conclusiones



El C.H. mayores en madera mas porosas y bajas densidades.



En Db y De mayores en EG INTA 24 y 27, mejores aptitudes para usos de mayor resistencia mecánicas y/o bioenergética.






EG INTA 157 y 36 + Homogéneo en Densidad radial y axial = mejor aptitud para el secado y variaciones dimensionales.



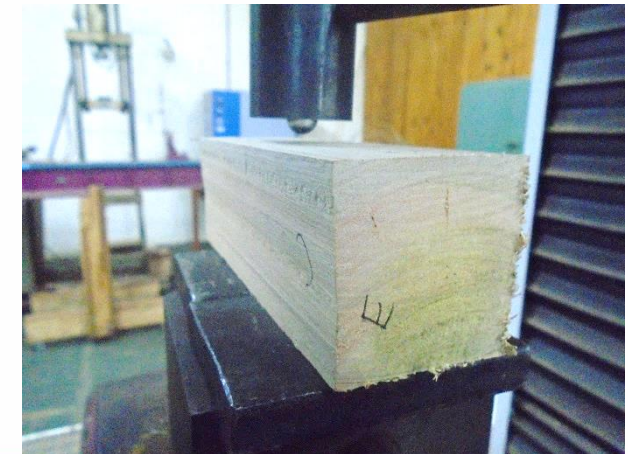
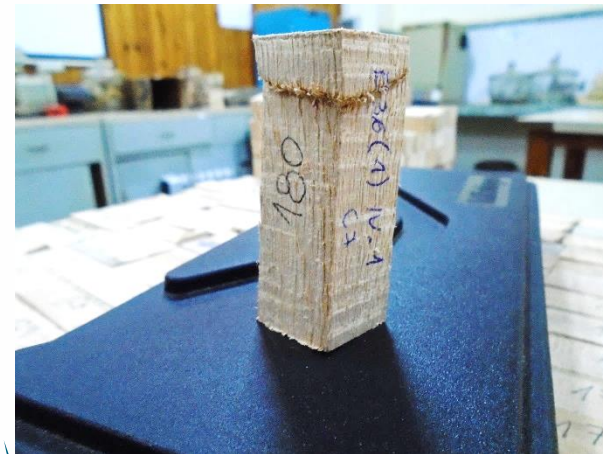
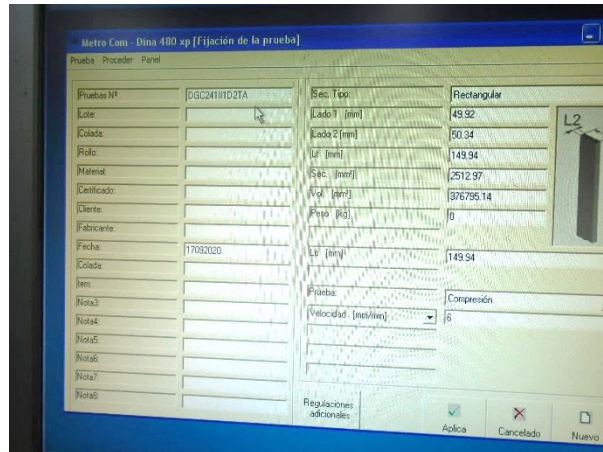
Mayor densidad en la zona externa en el árbol.

Conclusiones

-  Maderas Livianas, EG y semillas mas aptas para muebles y celulosas.
-  Maderas semipesadas, GC mejor alternativa para pisos, decks y estructuras.
-  Respecto de las contracciones volumétricas de los materiales evaluados no se obtuvieron diferencias significativas para las distintas alturas de fuste examinadas indicando homogeneidad de la madera en esta propiedad. Presentando la tendencia a incrementar sus valores con la altura, excepto para GC INTA 27.

PROPIEDADES MECÁNICAS

- Definición:
 - Son aquellas relacionadas con la resistencia que opone la pieza de madera a la aplicación de fuerzas o cargas externas (Medina, 2009; Sánchez Acosta, 1995).



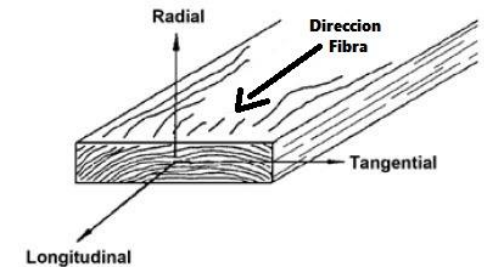
INTRODUCCIÓN

❑ Propiedades Mecánicas:

- Pueden estar afectadas por diferentes factores, tales como **factores genéticos**, silvícolas, **edad**, propiedades físicas como el contenido de humedad y la densidad.

❑ La madera es un material de naturaleza ortotrópica:

- Propiedades mecánicas son únicas e independientes en las tres direcciones perpendiculares entre sí: longitudinal, radial y tangencial.

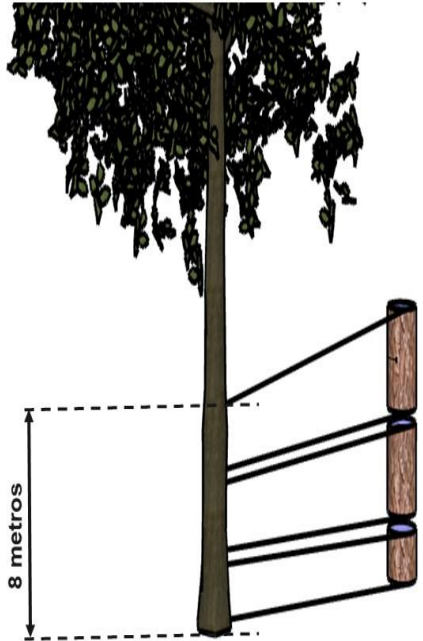


Ejes principales de la madera.
Fuente: Forest Product Laboratory, 2010.

Objetivo

- ❑ **Determinar las propiedades mecánicas de dos clones de *Eucalyptus grandis*, dos clones híbridos, *E. grandis* x *E. camaldulensis*, y realizar su comparación con el material seminal de *E. grandis*.**
 - ❖ **La resistencia a la flexión estática.**
 - ❖ **La resistencia a la compresión paralela a las fibras.**
 - ❖ **El cizallamiento paralelo a la fibra.**
 - ❖ **La resistencia al clivaje o rajadura, hendimiento.**
 - ❖ **La Dureza Janka.**

MATERIALES Y MÉTODOS



Rollizo 2: "R2" (4,8 – 8 m), longitud.: 3,2 m

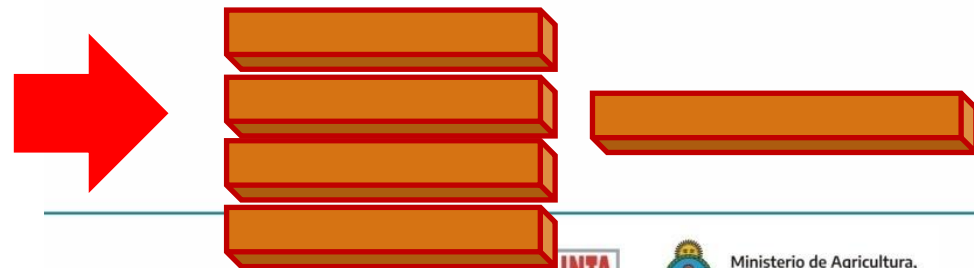
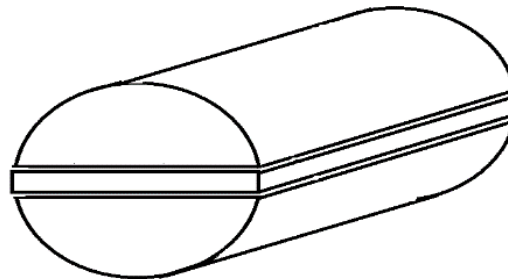
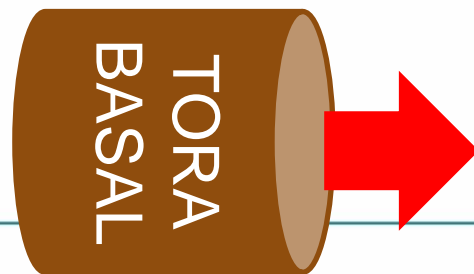
Rollizo 1: "R1" (1,45 – 4,65 m), longitud.: 3,2 m

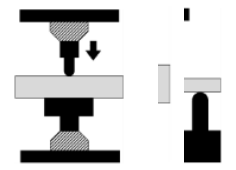
Tora Basal (0 – 1,3 m)

- Troza basal de 1,30 m.
- Tablón central de 8 cm aproximadamente.
- Listones de 8 cm x 8 cm x 1,30 m.



TORA
P/PROP.
MECÁNICAS

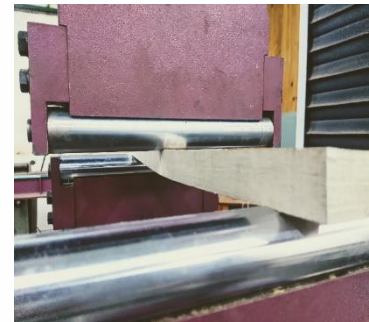
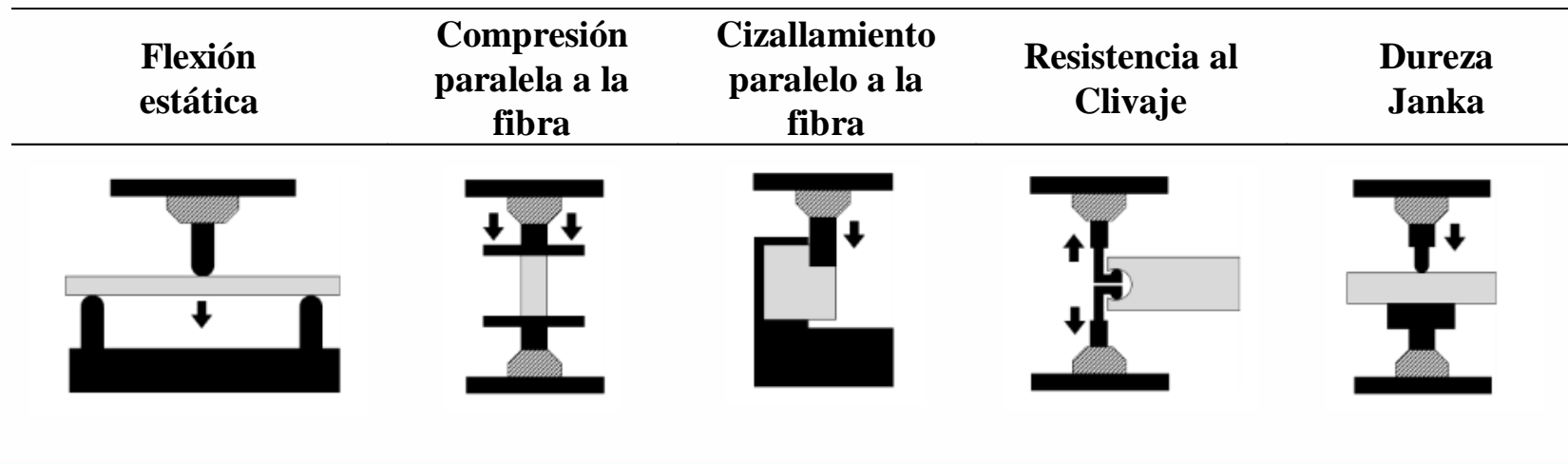




MATERIALES Y MÉTODOS

Ensayo	Norma	Dimensiones de probeta (mm)
Flexión estática	IRAM 9542	20 x 20 x 340
Compresión paralela	IRAM 9541	20 x 20 x 60
Cizallamiento paralelo a la fibra	IRAM 9596	50 x 50 x 65
Resistencia al clavaje o rajadura	ASTM D143	50 x 50 x 95
Dureza Janka	IRAM 9570	50 x 50 x 150

Esquema de los ensayos mecánicos*.

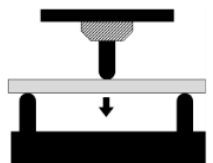


*Fuente: Derikvand *et al.*, 2019

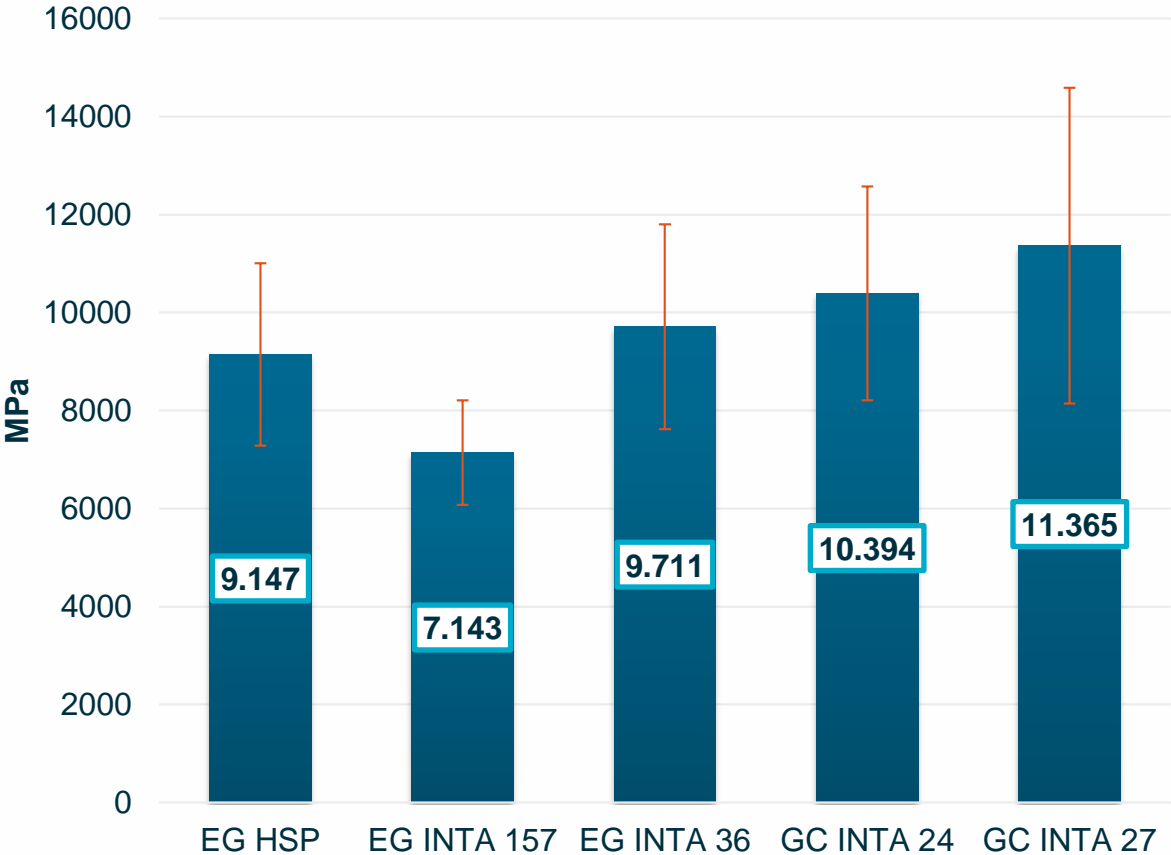
Análisis Estadístico

- ❑ Análisis descriptivo.
- ❑ Modelos lineales generales mixtos (MGL), por la estructura dependiente de datos y desbalanceado.
- ❑ Comparación de medias mediante el test de Tukey-Kramer.
- ❑ Se empleó un nivel de significancia de 5 %, como variable de efecto aleatorio se empleó al árbol y como variables de efectos fijos se empleó el material genético (MG) y sentido de corte de las muestras (radial, tangencial y axial).
- ❑ Los datos extremos considerados “*outliers*” se desestimaron del análisis.

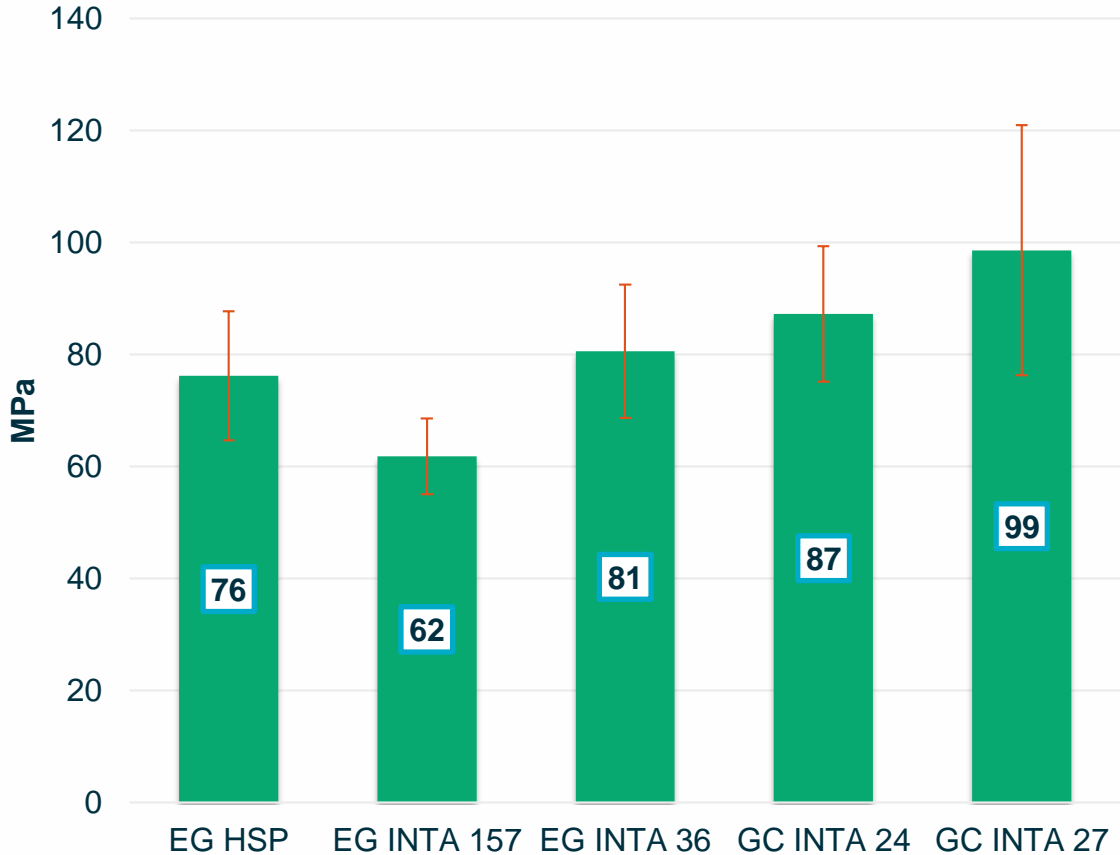
Resultados



Flexión Estática: MOE (MPa)



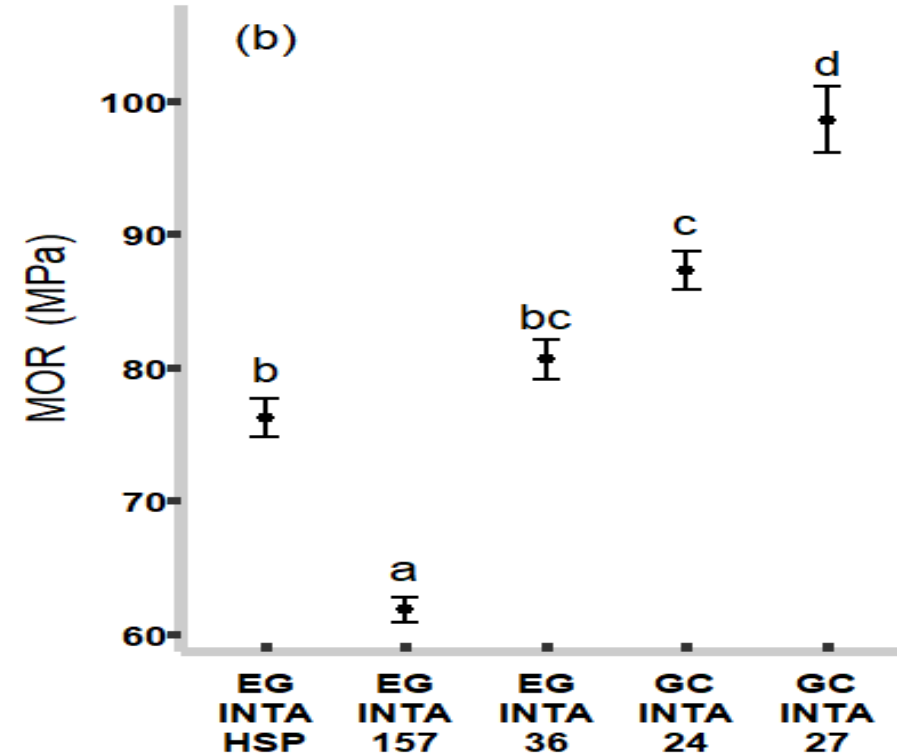
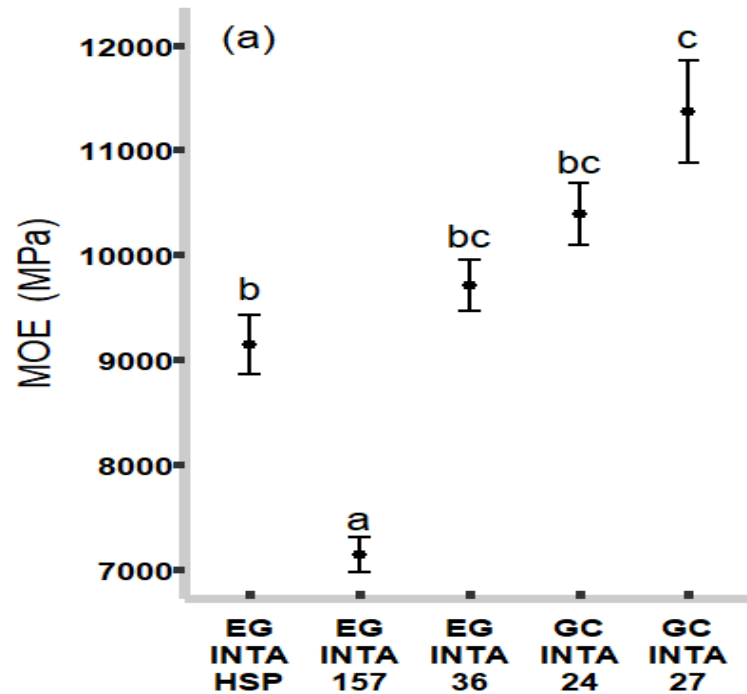
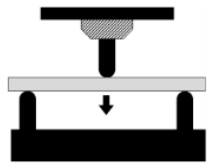
Flexión Estática: MOR (MPa)



Las barras indica el desvío estándar. 1MPa = 1000000 Pa (N/m²) = 10 Bar = 10,2 kg/cm² = 101971,6 mm Hg = 145,03 PSI (lb/in²)



Flexión Estática



EG INTA 157 < MOE.

37 % GC INTA 27 > EG INTA 157

22 % EG INTA 157 < HSP < 24 % GC INTA 27

EG INTA 157 < MOR.

35 % GC INTA 27 > EG INTA 157

19 % EG INTA 157 < HSP < 29 % GC INTA 27

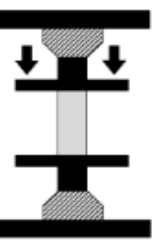
Maderas muy resistentes > 600 kg/cm²

1MPa = 1000000 Pa (N/m²) = 10 Bar = 10,2 kg/cm² = 101971,6 mm Hg = 145,03 PSI (lb/in²)

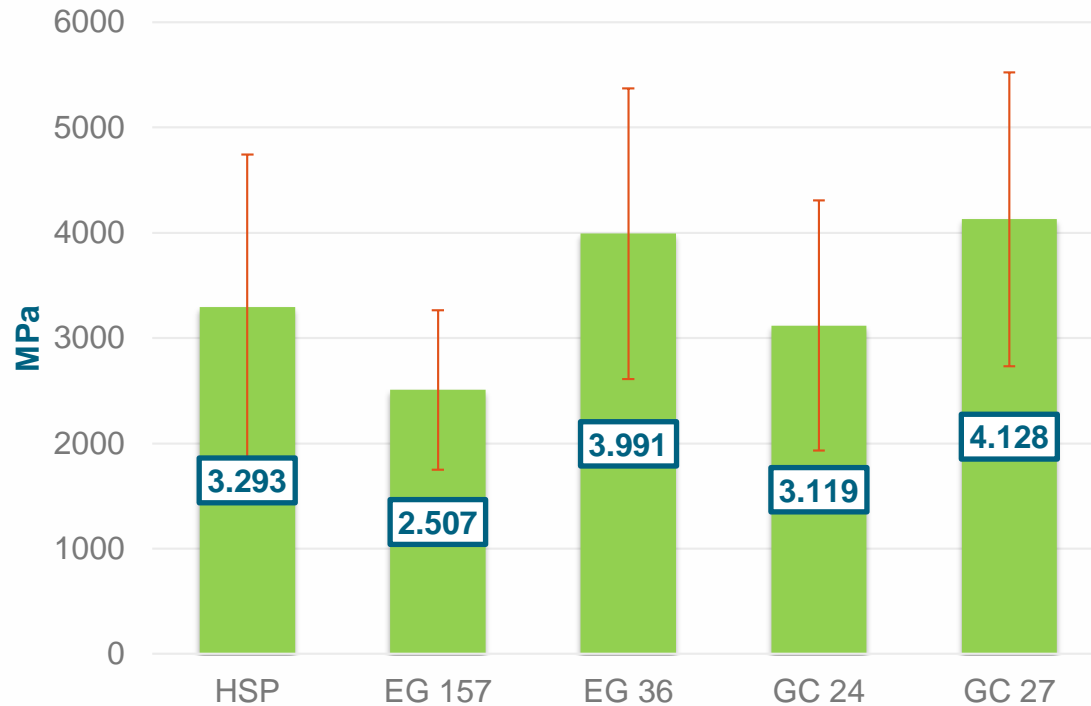
Las barras indica el error estándar.



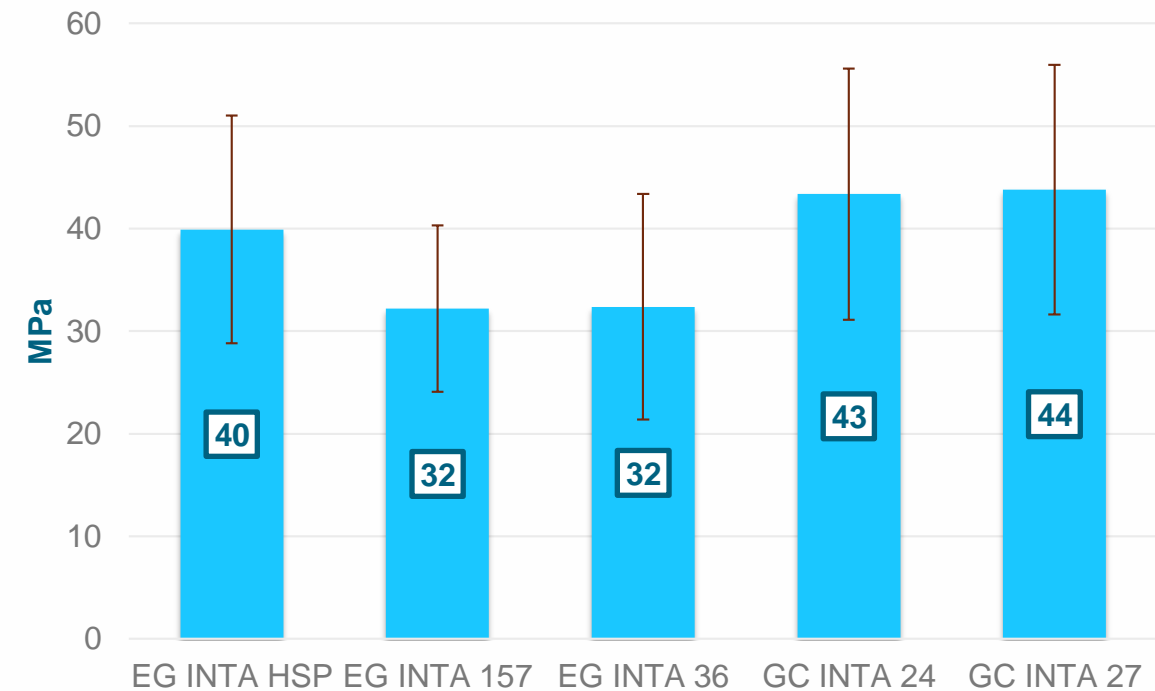
Compresión paralela a las fibras



Módulo de Elasticidad (MOE)



Módulo de Rotura (MOR)

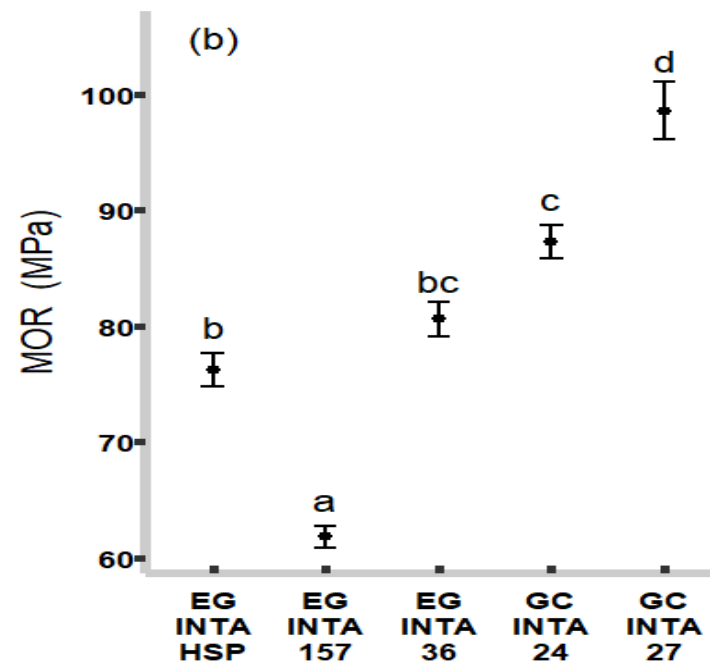
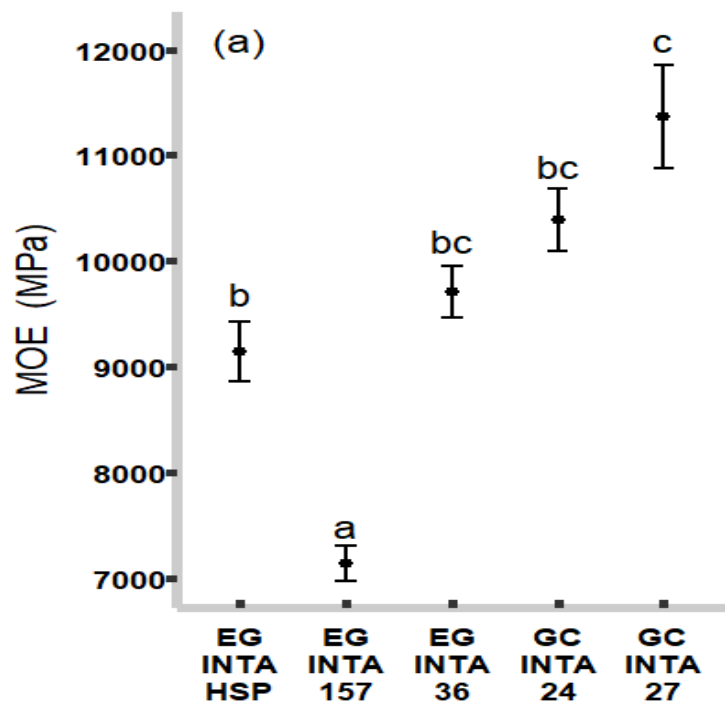
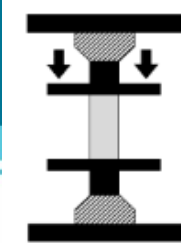


Se observó una alta variabilidad de los datos

Las barras indica el desvío estándar. 1MPa = 1000000 Pa (N/m²) = 10 Bar = 10,2 kg/cm² = 101971,6 mm Hg = 145,03 PSI (lb/in²)



Compresión paralela a las fibras



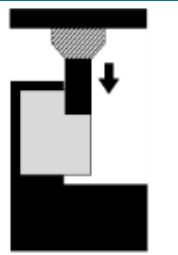
Los GC en MOE, no presentaron diferencias significativas entre ambos.

Mayores promedios de MOR para los GC.

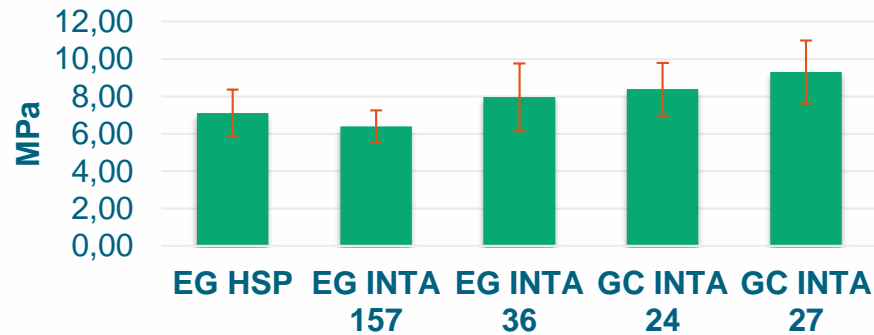
GC INTA 27 \neq GC INTA 24

EG INTA 157 < HSP < GC INTA 27

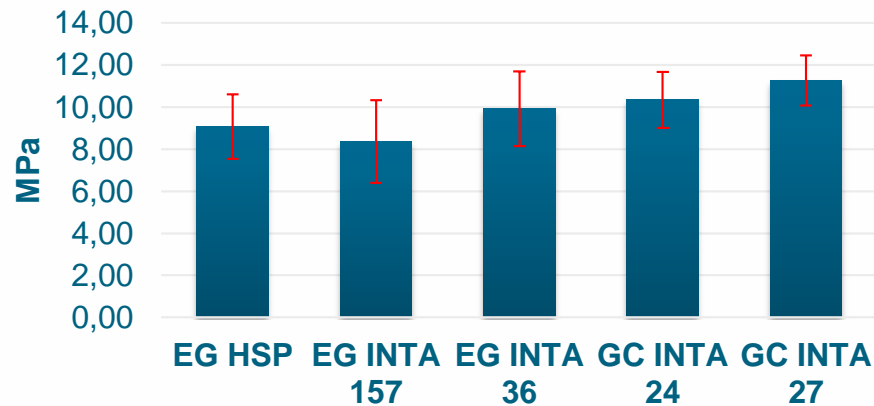
Resistencia al Corte o Cizallamiento



Sentido Radial



Sentido Tangencial



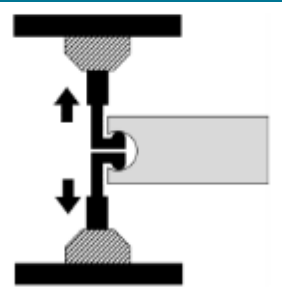
Material genético	SENTIDO	Media (Mpa)	Error Estandar	Tukey krammer
EG INTA HSP	RADIAL	7,11	0,35	ab
EG INTA 157		6,39	0,38	a
EG INTA 36		7,96	0,32	b
GC INTA 24		8,38	0,40	bc
GC INTA 27		9,30	0,33	c
EG INTA HSP	TANGENCIAL	9,08	0,36	ab
EG INTA 157		8,36	0,39	a
EG INTA 36		9,92	0,32	b
GC INTA 24		10,35	0,39	bc
GC INTA 27		11,27	0,33	c

Los promedios Tg > a los promedios Rd.

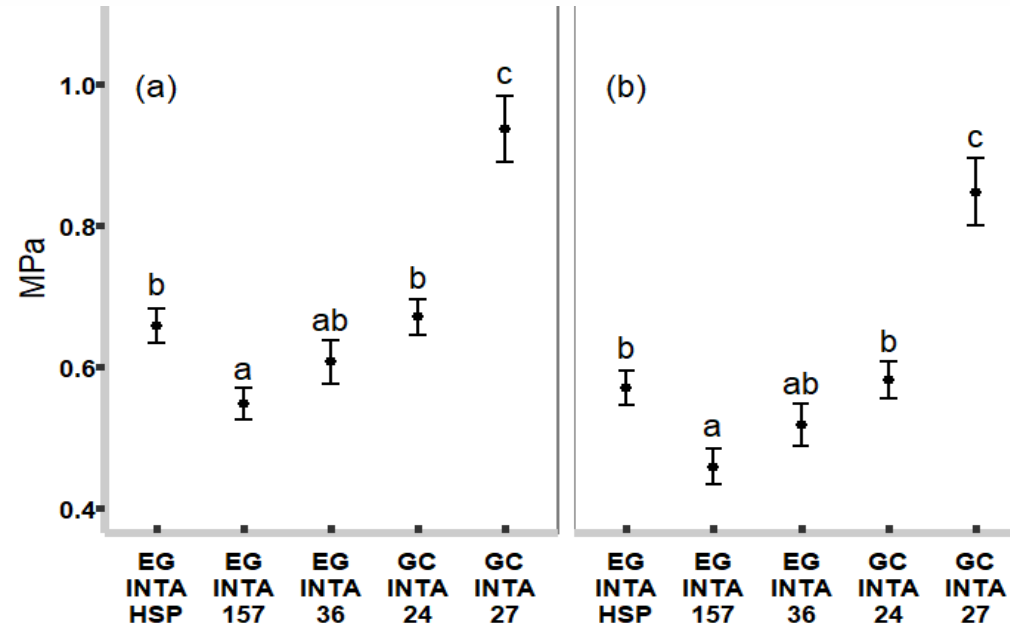
Menores variación de Tc en sentido Tg.

Principalmente en los GC.

Clivaje o Cizallamiento



Materiales genéticos	Sentido de corte	CL (MPa)	C.V. (%)
EG INTA HSP	Radial	0,66	14,82
EG INTA 157		0,55	16,15
EG INTA 36		0,61	19,32
GC INTA 24		0,67	13,60
GC INTA 27		0,94	17,97
EG INTA HSP	Tangencial	0,57	17,44
EG INTA 157		0,46	14,61
EG INTA 36		0,52	23,69
GC INTA 24		0,58	15,26
GC INTA 27		0,85	15,92



CL Rd > CL Tg (radios medulares = c. parénquimas)

19 % EG 157 Rd > EG 157 Tg.

17 % EG 36 Rd > EG 36 Tg.

16 % HSP Rd > HSP Tg.

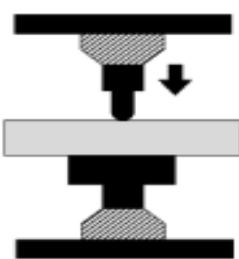
15 % GC 24 Rd > GC 24 Tg.

10 % GC 27 Rd > GC 27 Tg.

Tensión a la rajadura o clivaje. a) Sentido radial. b) Sentido tangencial. Las barras indican el error estándar.

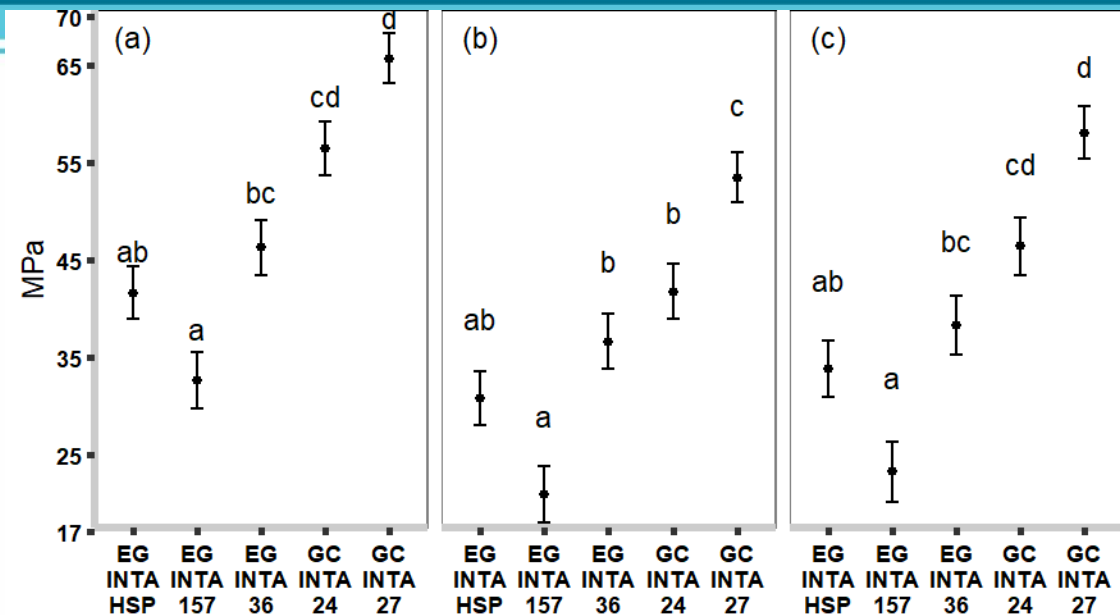
GC INTA 27 superior en Rd y Tg

EG menores valores de media en Rd y Tg

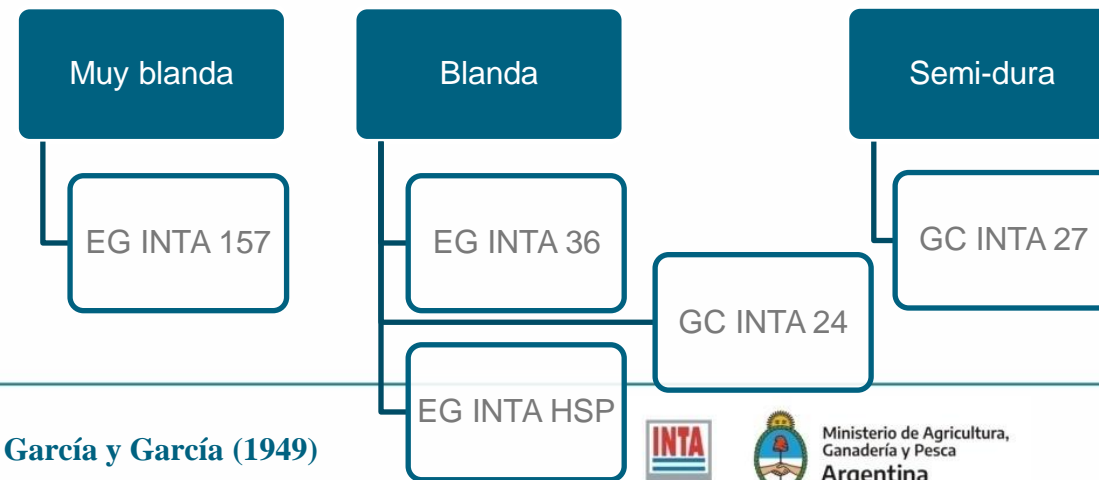


Dureza Janka

Materiales genéticos	Sentido	Du (MPa)	C.V. (%)
EG INTA HSP	Transversal	41,85	15,07
EG INTA 157		32,41	12,04
EG INTA 36		47,25	21,84
GC INTA 24		57,91	25,33
GC INTA 27		65,97	18,12
EG INTA HSP	Radial	30,95	23,34
EG INTA 157		20,78	19,00
EG INTA 36		37,48	29,40
GC INTA 24		43,42	23,23
GC INTA 27		53,61	24,17
EG INTA HSP	Tangencial	34,31	24,36
EG INTA 157		23,33	15,09
EG INTA 36		39,27	23,55
GC INTA 24		47,83	24,21
GC INTA 27		58,54	27,90



Dureza Janka. a) Sentido transversal. b) Sentido radial. c) Sentido tangencial. Las barras indican el error estándar.



EG INTA 157 < Dureza y C.V.

GC INTA 27 y GC INTA 24. > Dureza

García y García (1949)



Conclusiones

- ❑ El clon de *E. grandis* INTA 157, fue el material genético que presentó valores medios inferiores para todas las propiedades mecánicas evaluadas.
- ❑ Los clones híbridos, *E. grandis* x *E. camaldulensis*, se destacaron con valores medios superiores para todas las propiedades mecánicas ensayadas, dentro de estos, el clon *E. grandis* x *E. camaldulensis* INTA 27 resultó superior.
- ❑ Los materiales clonales de *E. grandis* puros podrían desempeñarse bien en usos para muebles, construcciones ligeras o fabricación de componentes que requieran solicitudes estructurales de manera similar a los clones híbridos, pero con la precaución de utilizar mayores escuadrías.

Conclusiones

- ❑ Los valores de rigidez, de los materiales híbridos, *E. grandis* x *E. camaldulensis*, soportaría mejor las solicitaciones en flexión, por lo que podría ser considerado adecuado para construcciones civiles en usos como vigas.
- ❑ Valores de módulo de elasticidad y de rotura a la compresión paralela a las fibras obtenidos, tanto los clones como el material seminal presentan buena aptitud para el uso en columnas y estructuras reticuladas.
- ❑ En la propiedad rajadura o clivaje, los híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis* presentaron mayor aptitud para su trabajabilidad y utilización en productos de madera tallada y también como leña.

Conclusiones

- ❑ En resistencia a la penetración o dureza, los clones híbridos intraespecíficos se podrían destinar para aplicaciones de pisos, decks.
- ❑ Los resultados obtenidos para la madera de todos los clones de Eucalyptus evaluado, se sugiere al Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad en Obras Civiles (CIRSOC) la consideración para la caracterización estructural de estos materiales y su inclusión en el reglamento, a fin de considerarlos para uso estructural.

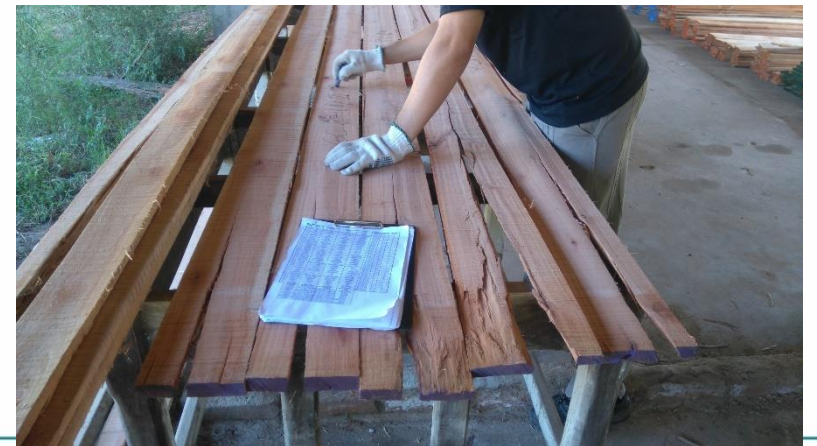
EVALUACIÓN VISUAL DE TABLAS ASERRADAS

INTRODUCCIÓN

❑ Anomalías:

- Irregularidad o imperfección en la madera que afecta Prop. Físicas, mecánicas, químicas.
- Reducen su volumen utilizable, valor estético, resistencia y calidad de producto.
- Origen:

- Por crecimiento del árbol.
- Proceso de Aserrado o secado.
- Técnica inapropiadas de almacenamientos.



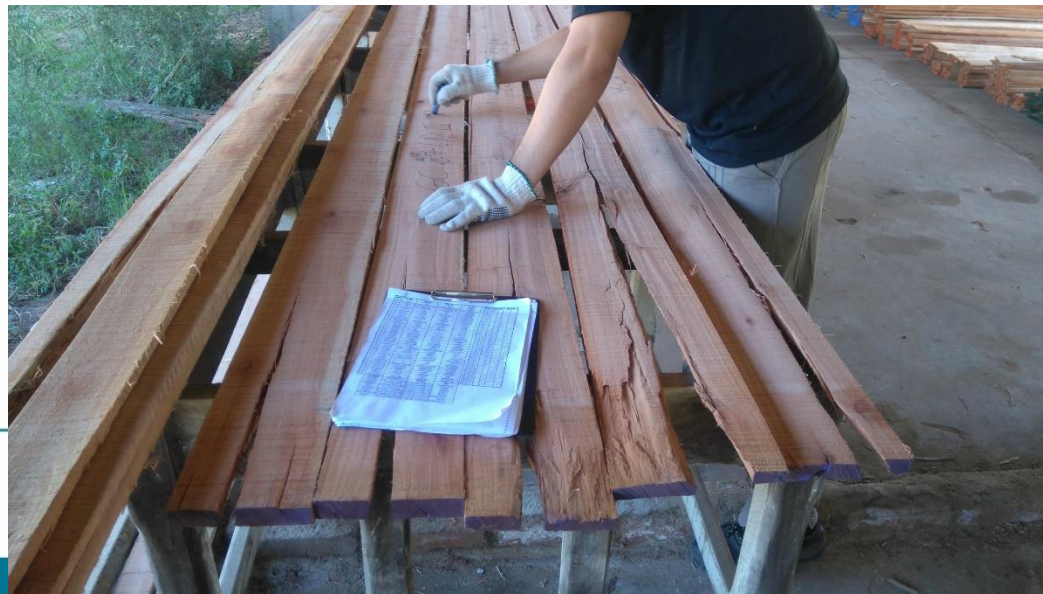
INTRODUCCIÓN

- ❑ El rajado como los alabeos, son imperfecciones de la madera que restringen sus aplicaciones, disminuyen rendimiento y calidad de madera.
- ❑ Tablas aserradas rajadas puede deberse por liberación de tensiones y proceso de secado.
- ❑ Madera aserradas con deformación son causadas principalmente por la misma contracción de la madera.



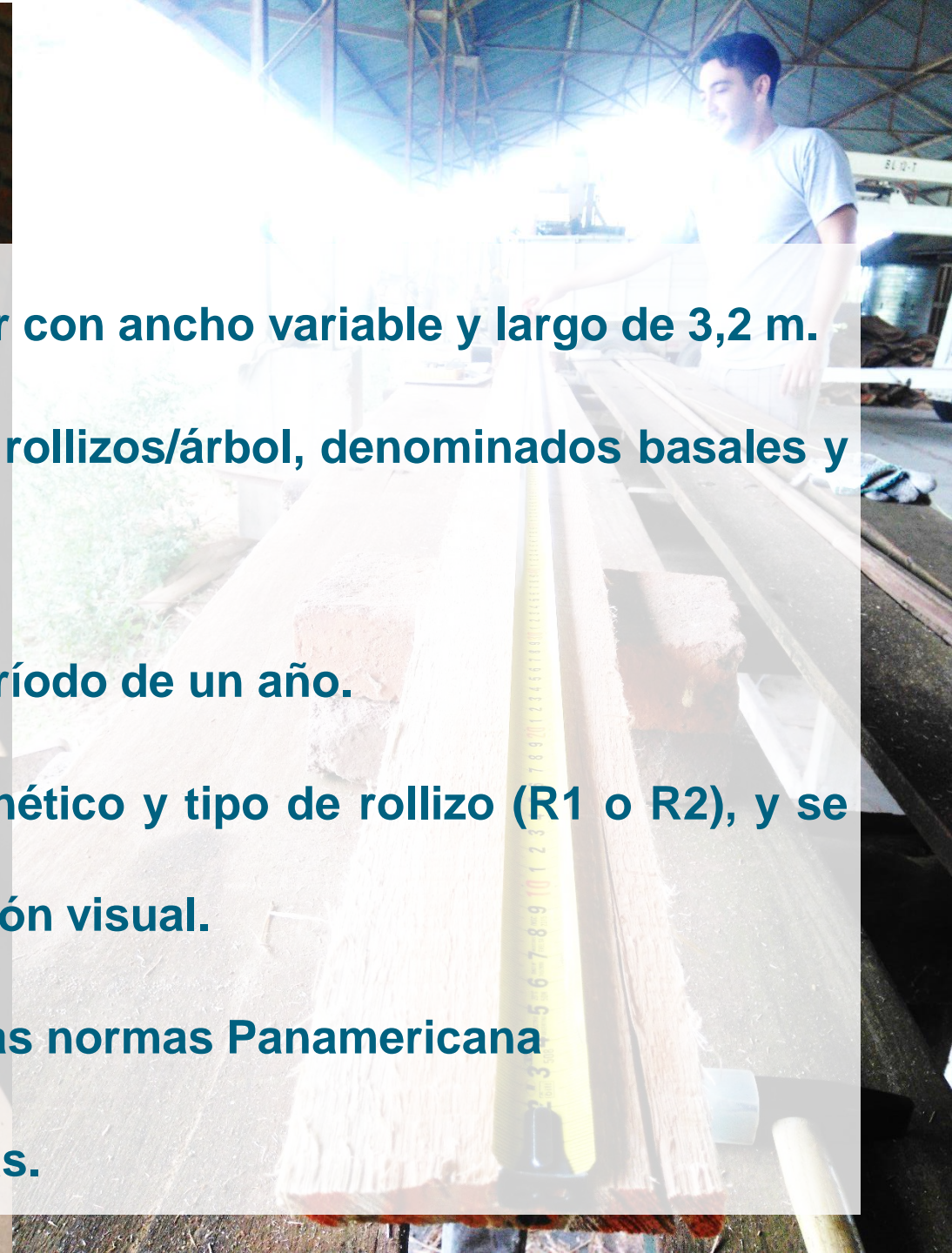
OBJETIVO

- ❑ Determinar la presencia y proporción de defectos derivados del proceso de secado natural de tablas aserradas de dos materiales clonales híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis*, dos clones puros de *E. grandis* y del material seminal.



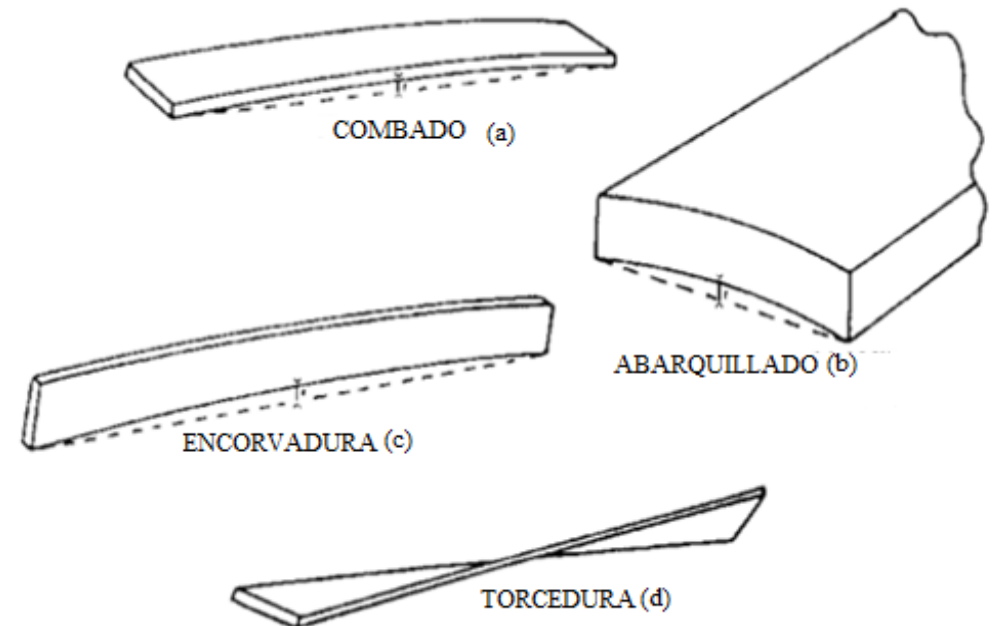
MATERIALES Y MÉTODOS

- ❑ Se emplearon tablas aserradas de 1" de espesor con ancho variable y largo de 3,2 m.
- ❑ Se midió 750 tablas proveniente de 80 rollos (2 rollizos/árbol, denominados basales y superiores, respectivamente).
- ❑ Las tablas fueron apiladas bajo techo por un período de un año.
- ❑ Fueron identificadas de acuerdo al material genético y tipo de rollizo (R1 o R2), y se procedió a su dimensionamiento y caracterización visual.
- ❑ Los defectos se determinaron de acuerdo con las normas Panamericana COPANT N° 746 para maderas aserradas y cepilladas.



Defectos

- ❑ **Combado:** se midió la desviación máxima, en milímetros, que presentaba una cara con respecto a una línea recta trazada por las cabezas de la pieza.
- ❑ **Abarquillado:** se midió la desviación máxima, en milímetro, que presenta una cara con respecto a una línea recta trazada por sus aristas.
- ❑ **Encorvadura:** se midió la desviación máxima, en milímetros, que presentaba un canto con respecto a una línea recta trazada por las cabezas de la pieza.
- ❑ **Torcedura (revirado):** se midió la distancia, en milímetros, de una esquina de la pieza a una superficie plana sobre la cual se apoyaban las otras tres esquinas.
- ❑ **Rajadura:** Fue medido con cinta métrica con precisión de 1 mm, en cada extremo de la tabla, obteniendo por sumatoria de las rajaduras de cada extremo la longitud del rajado total presente en las tablas.



Análisis Estadístico

- ❑ Resumen Estadístico de las variables de interés.
- ❑ MGL para análisis de varianza.
 - Efecto fijo: MG, tipo rollizo.
 - Efecto aleatorio: árbol.
 - Test de Tukey y Kramer para diferencia de medias.
 - Nivel de significancia 5 %.

RESULTADOS

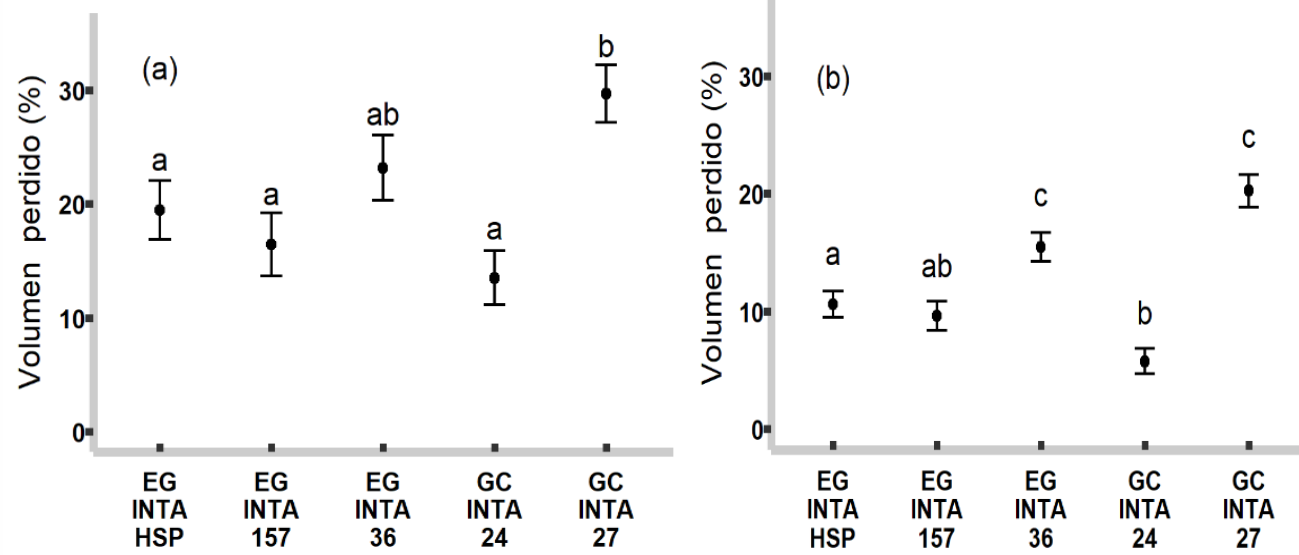
Caracterización de los rollizos evaluados

Materiales genéticos	TR	PF s/c (cm)	PG s/c (cm)	Vol. s/c (m ³)
EG INTA HSP	R1	25,1	27,2	0,17
	R2	22,9	25,0	0,14
EG INTA 157	R1	19,1	20,6	0,10
	R2	17,6	19,4	0,09
EG INTA 36	R1	26,4	28,2	0,19
	R2	24,8	26,5	0,17
GC INTA 24	R1	18,2	20,1	0,09
	R2	16,2	17,9	0,07
GC INTA 27	R1	23,1	24,6	0,14
	R2	21,2	22,9	0,12

- ✓ + 80 de las tablas evaluadas sin médula.
- ✓ GC INTA 24 con menores tablas con médula.
- ✓ GC INTA 27 mayor % presencia de médula.

Materiales genéticos	Médula			Total
	NO	SI	% PRESENCIA	
EG INTA HSP	144	30	17,24	174
EG INTA 157	107	19	15,08	126
EG INTA 36	165	28	14,51	193
GC INTA 24	101	16	13,68	117
GC INTA 27	115	28	19,58	143

RESULTADOS



a) Con presencia de médula. b) Ausencia de médula. Las barras indican el error estándar.

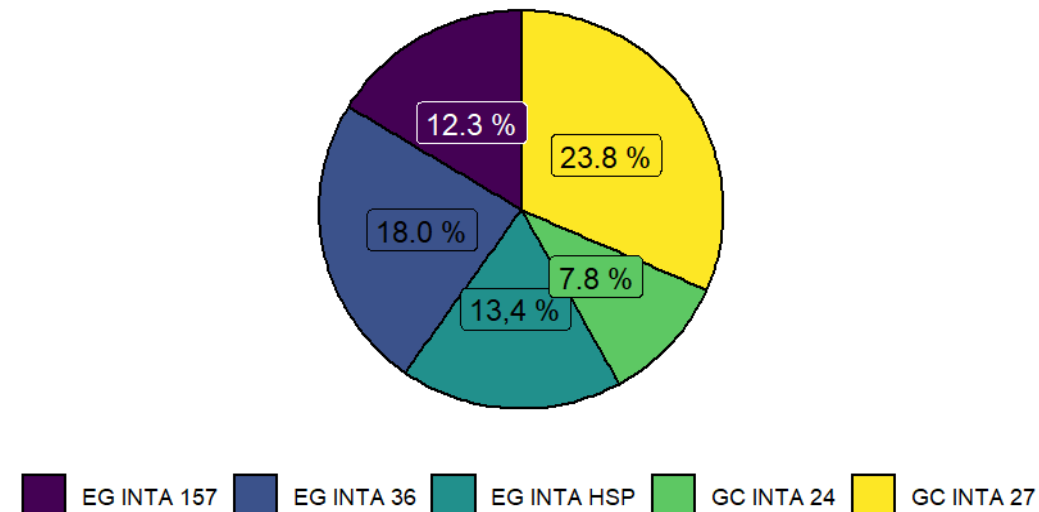
Materiales genéticos	Pérdida de madera debido al rajado (%)*
EG INTA 157	6
EG INTA 36	11
EG INTA HSP	8
GC INTA 24	5
GC INTA 27	13

* Porcentaje de pérdida de madera sobre el volumen de rollizos procesados debido al rajado en tablas.

Porcentaje promedio en pérdida por presencia de rajado en tablas aserradas

Estadístico de resumen para rajado en tablas

Materiales genéticos	Promedio (cm)		Long. Media (cm/m)	C.V. (%)
EG INTA HSP	42,17	ab	13,18	61,27
EG INTA 157	38,29	bc	11,97	53,80
EG INTA 36	57,41	ad	17,94	48,69
GC INTA 24	24,04	c	7,51	61,57
GC INTA 27	73,03	d	22,82	46,36



ALABEOS

Presencia de defectos en tablas aserradas expresada en porcentajes.

Materiales genéticos	N° Tablas	Combado (%)	Abarquillado (%)	Encorvado (%)	Revirado (%)
EG INTA HSP	174	95,98	95,98	82,18	16,09
EG INTA 157	126	93,65	78,57	79,37	16,67
EG INTA 36	193	92,75	91,71	78,76	10,88
GC INTA 24	117	99,15	90,60	66,67	7,69
GC INTA 27	143	98,60	94,41	76,22	10,49

Combado

Materiales genéticos	Ausencia de médula en tabla		Presencia de médula en tabla	
	Combado (mm)	C.V. (%)	Combado (mm)	C.V. (%)
EG INTA HSP	12,27 a	57,72	9,07 a	44,80
EG INTA 157	13,98 a	52,53	9,82 a	50,23
EG INTA 36	11,35 a	53,44	9,94 a	62,15
GC INTA 24	12,49 a	55,52	6,85 a	26,58
GC INTA 27	13,08 a	50,06	10,56 a	52,45

Sin diferencias significativas entre MG

Dispersión alta

Defecto de combado fue debido al sistema de aserrado más que por orígenes genéticos

Encorvado

Materiales genéticos	Ausencia de médula en tablas		Presencia de médula en tablas	
	Encorvado (mm)	C.V. (%)	Encorvado (mm)	CV (%)
EG INTA HSP	13,57 ab	70,71	23,40 a	70,51
EG INTA 157	14,39 ab	62,61	14,37 a	36,74
EG INTA 36	12,85 ab	47,42	17,52 a	48,02
GC INTA 24	12,34 a	49,19	19,58 a	71,59
GC INTA 27	15,40 b	45,15	17,21 a	34,89

GC INTA 27 tablas sin médula – mayores valores de encorvado.

GC INTA 24 tablas sin médula – menores valores de encorvado.

Alta dispersión de EG INTA HSP.

Abarquillado

Revirado

Materiales genéticos	Tabla sin médula		Tabla con médula	
	Abarquillado (mm)	C.V. (mm)	Abarquillado (mm)	C.V. (mm)
EG INTA HSP	4,25 ab	20,64	4,07 ab	16,12
EG INTA 157	4,36 a	69,53	3,46 a	34,64
EG INTA 36	5,13 bc	21,91	5,48 bc	36,86
GC INTA 24	4,48 ab	25,95	4,09 a	14,49
GC INTA 27	5,73 c	42,99	6,00 c	37,45

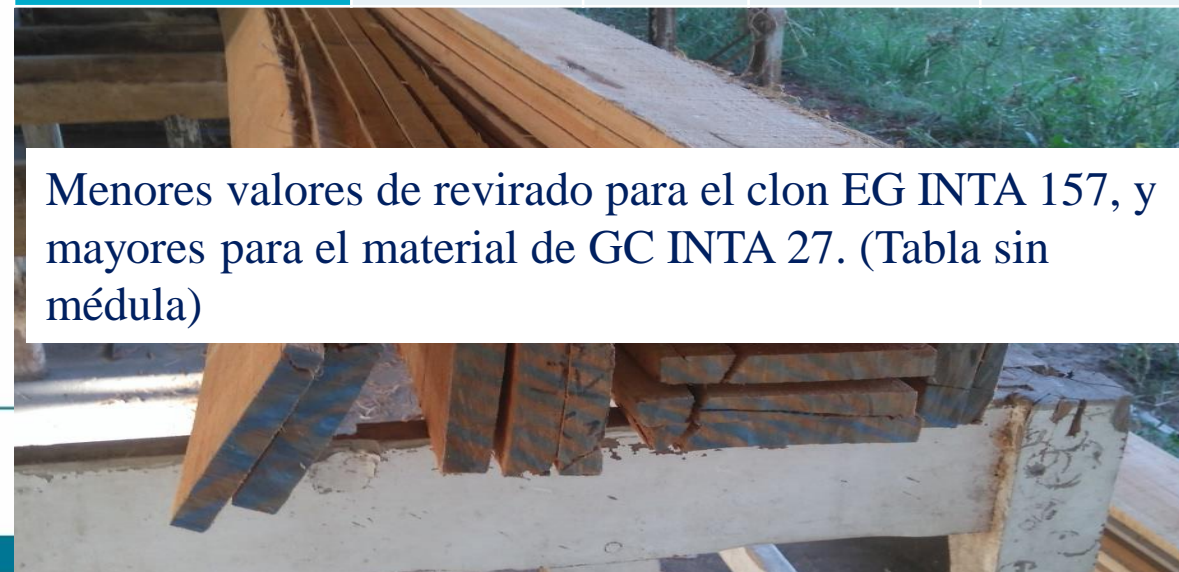
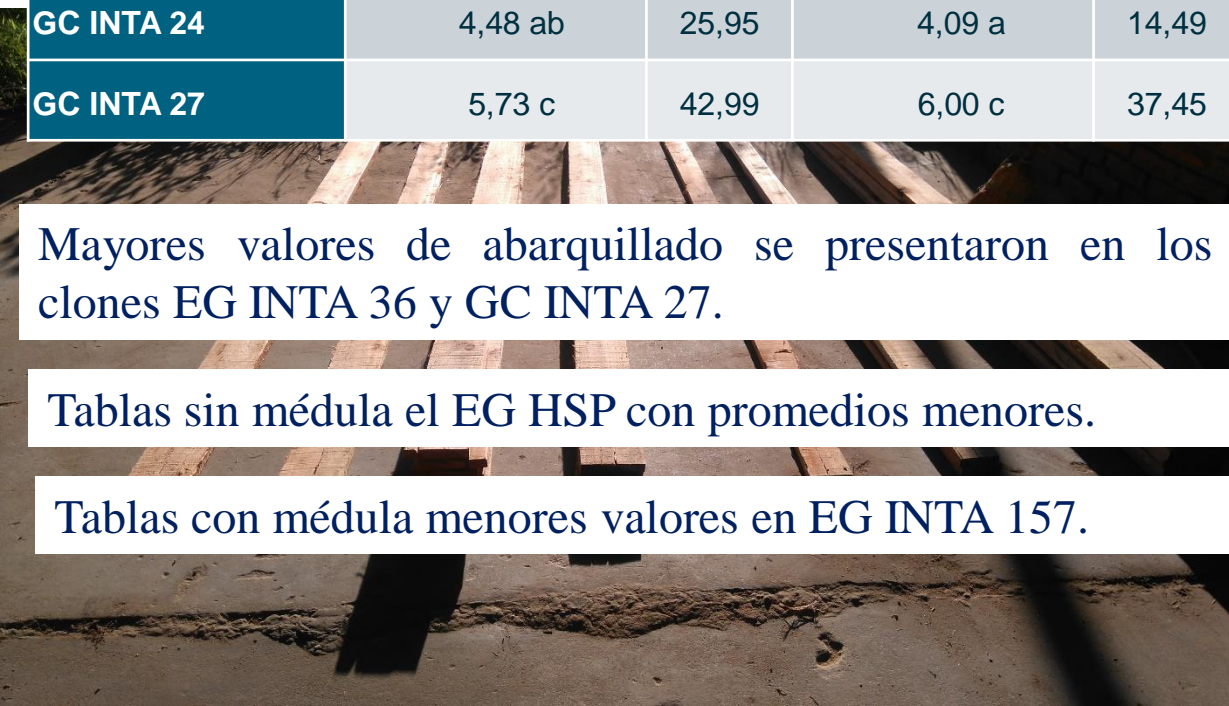
Materiales genéticos	Revirado en tablas sin médula		Revirado en tablas con médula	
	Revirado (mm)	C.V. (mm)	Revirado (mm)	C.V. (mm)
EG INTA HSP	11,73 a	18,59	12,64 a	15,99
EG INTA 157	8,24 a	66,85	6,61 a	72,81
EG INTA 36	11,17 a	22,22	10,71 a	36,79
GC INTA 24	10,82 a	14,60	12,50 a	19,91
GC INTA 27	12,52 a	30,21	7,60 a	26,05

Mayores valores de abarquillado se presentaron en los clones EG INTA 36 y GC INTA 27.

Tablas sin médula el EG HSP con promedios menores.

Tablas con médula menores valores en EG INTA 157.

Menores valores de revirado para el clon EG INTA 157, y mayores para el material de GC INTA 27. (Tabla sin médula)



CONCLUSIONES

- ❑ Los diferentes materiales genéticos y la presencia de defectos afectan al rendimiento del producto final obtenido, ocasionando una disminución de la producción.
- ❑ La presencia de médula en las tablas favoreció la aparición del defecto de rajado, causando una reducción en el rendimiento del producto final.
- ❑ Las tablas aserradas proveniente del segundo rollizo arrojaron una mayor cantidad de piezas con presencia de médula.

CONCLUSIONES

- ❑ El clon *E. grandis* x *E. camaldulensis*, GC INTA 24 se destacó como uno de los materiales con menores pérdidas de volumen por rajado en tablas. En cambio, el clon *E. grandis* x *E. camaldulensis*, GC INTA 27 demostró lo contrario, y el material seminal presentó un comportamiento intermedio entre los materiales genéticos evaluados.
- ❑ El clon *E. grandis*, EG INTA 157 tuvo un mejor desempeño en cuanto a abarquillado, revirado y encorvado. En el caso de combado, *E. grandis* x *E. camaldulensis*, GC INTA 24 y el clon *E. grandis*, EG INTA 36 se destacaron por presentar un mejor comportamiento.

CONCLUSIONES GENERALES

- ❑ La aceptación de las diferentes hipótesis planteadas, donde se puede concluir la existencia dentro de los clones de *Eucalyptus* evaluados, la superioridad o similitud de comportamiento de la madera con respecto al material seminal de *E. grandis*, contemplando la alternancia de diferentes clones para determinadas características evaluadas.
- ❑ Diferencias halladas deberán ser consideradas en el momento de analizar la aptitud o conveniencia de uso de los diferentes materiales genéticos en su transformación industrial.
- ❑ La forma de fuste y conicidad media de los rollizos, se destacó el E. grandis INTA 157, superando al material seminal y diferenciado de los demás clones. Inciden en el rendimiento en aserrado y debobinado.

CONCLUSIONES GENERALES

- ❑ *E. grandis* x *E. camaldulensis* INTA 24 presentó mejor performance en cuanto al índice de rajado en rollizos.
- ❑ Los clones intraespecíficos de *E. grandis* presentaron características más homogéneas para la densidad tanto en sentido radial como axial, permitiendo mejores propiedades tecnológicas para el secado y variaciones dimensionales.
- ❑ Los clones híbridos *E. grandis* x *E. camaldulensis* se destacaron con valores medios superiores para todas las propiedades mecánicas ensayadas, dentro de estos, *E. grandis* x *E. camaldulensis* INTA 27 resultó superior a *E. grandis* x *E. camaldulensis* INTA 24.

CONCLUSIONES GENERALES

- ❑ Respecto al estudio de las características visuales de las tablas aserradas, la presencia de defectos afecta al rendimiento del producto final obtenido, ocasionando una disminución de la producción.
- ❑ El clon *E. grandis* x *E. camaldulensis*, GC INTA 24 se destacó como uno de los materiales con menores pérdidas de volumen por rajado en tablas.
- ❑ *E. grandis*, EG INTA 157, tuvo un mejor desempeño, respecto a las deformaciones de tablas en cuanto al abarquillado, revirado y encorvado.

Personas que contribuyen al proyecto.



CAMARAN MARIO-
GUSTAVO MOLEDO ,
TERESA SUIREZ

