



**Universidad Nacional de La Plata
Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales**

INFORME DE TRABAJO FINAL DE CARRERA

**“Caracterización anatómica de nuevos clones del género
Eucalyptus desarrollados por INTA Concordia”**

Monterubbianesi, Rocío Inés

DIRECTOR: Cabanillas, Pablo Alejandro

CO-DIRECTORA: Tesón, Natalia

Marzo, 2020.

ÍNDICE

| | |
|---|---------|
| RESUMEN..... | pág. 3 |
| INTRODUCCIÓN..... | pág. 4 |
| Híbridos de Eucalyptus..... | pág. 6 |
| Evaluación de las características ecológicas a través de la madera..... | pág. 7 |
| Objetivo general..... | pág. 9 |
| Objetivos específicos..... | pág. 9 |
| MATERIALES Y MÉTODOS..... | pág. 9 |
| Obtención de las muestras..... | pág. 10 |
| Corte y preparación de las muestras..... | pág. 10 |
| Análisis de las muestras..... | pág. 10 |
| RESULTADOS..... | pág. 13 |
| Caracteres xilológicos cualitativos..... | pág. 13 |
| Caracteres xilológicos cuantitativos..... | pág. 22 |
| Índice de vulnerabilidad..... | pág. 24 |
| Análisis de correlación entre variables..... | pág.24 |
| Análisis de clúster..... | pág. 26 |
| DISCUSIÓN..... | pág. 26 |
| CONCLUSIONES..... | pág. 26 |
| ANEXO..... | pág. 30 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | pág. 34 |

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue caracterizar la anatomía cuali-cuantitativa de la madera de cuatro materiales genéticos de *Eucalyptus* L'Hér (Myrtaceae), que se cultivan en Concordia para poder determinar si los caracteres xilológicos brindan información acerca de la resistencia diferencial que estos materiales experimentan frente a los eventos de heladas, principal limitante para el cultivo de este género en la localidad. De los materiales analizados, dos son parentales: EG-INTA-36 (clon de *E. grandis*) y *E. camaldulensis* (proveniente de semilla) y dos son clones híbridos: GC-INTA-24 y GC-INTA-27. También se tuvo por objetivo compararlo con *E. grandis*, principal especie de eucalipto cultivada y comercializada en esta localidad, y determinar si alguno de los nuevos materiales presentan mejor comportamiento ante heladas. Para esto se obtuvieron rodajas de madera al 1,30 m de un ensayo clonal demostrativo de dos años de edad instalado en la Estación Experimental INTA Concordia. Luego de su preparación, las muestras fueron fotografiadas y analizadas. En el análisis cualitativo pudo verse que los materiales no presentaron diferencias considerables en: porosidad, ancho de paredes y contorno de las fibras, placas de perforación, puntuaciones vaso-radio y composición de los radios; y que las diferencias encontradas fueron en el tipo de disposición diagonal y la abundancia de parénquima y traqueidas vasicéntricas. En el análisis cuantitativo se vio que el parental *E. camaldulensis* presenta semejanzas con el híbrido GC-INTA-24, y a su vez el clon parental EG-INTA-36 se asemeja al híbrido GC-INTA-27. Si bien el alcance del estudio presenta limitaciones por el bajo número de individuos evaluados, se pudo establecer las características encontradas de: menor diámetro de vasos, el mayor espesor de las paredes de las fibras, el menor valor de índice de vulnerabilidad y la mayor frecuencia de vasos, presentadas por el clon GC-INTA-24, serían indicadores anatómicos de mayor tolerancia a las heladas. Esta condición resulta interesante para ser incluidas en evaluaciones futuras de materiales en el proceso de selección en los programas de mejoramiento genético de INTA. También pudo observarse que el clon híbrido GC-INTA-27, debido a las características de mayor índice de vulnerabilidad y mayor diámetro tangencial medio de vasos sería más propenso a cavitarse, aunque sería al menos en parte compensado por el mayor espesor de pared de las fibras. En condiciones sin estrés aumentaría su crecimiento por presentar mayor diámetro medio de vasos y menor frecuencia de vasos. Ambos híbridos estarían presentando caracteres superadores frente al estrés ocurrido por las heladas respecto de su parental más vulnerable como es *E. grandis*.

INTRODUCCIÓN

El género *Eucalyptus* L'Hér (Myrtaceae) comprende alrededor de 500 especies que abarcan desde arbustos pequeños hasta árboles muy grandes, que crecen en una gran variedad de ambientes (Dasdwell, 1972). Este género constituye uno de los principales componentes de la actividad forestal mundial, con más de 20 millones de hectáreas plantadas en el mundo (Iglesias-Trabado y Wilstermann, 2009), gracias a su rápido crecimiento, capacidades de aclimatación a diversos ambientes y de regeneración (Salto, 2008).

El cultivo de *Eucalyptus* es la base de una de las principales actividades foresto-industriales de la Argentina. En la actualidad existen 255.000 ha implantadas, de las cuales casi el 90% se encuentran en la Mesopotamia. La Provincia de Entre Ríos, cuenta con un total de 131.600 ha de bosques implantados, de las cuales el 90% corresponde a especies del género *Eucalyptus*, en su mayoría concentradas en el noreste de la provincia, sobre las terrazas del Río Uruguay en una franja de 20 Km. paralela a la costa. El 46,4 % de ese total se localiza en el departamento de Concordia, y el resto se reparte entre los departamentos de San Salvador, Concepción del Uruguay, Gualeguaychú, Colón y Federación (MAGyP-DPF, 2015; SAGyP, 2017).

El eucalipto es reconocido por ciertas características que lo colocan en posición de superioridad frente a otras especies de aptitud forestal, algunas de ellas son: rápido crecimiento, calidad de madera y buena adaptación a las condiciones de crecimiento de la Mesopotamia argentina. No obstante, los cambios en el mercado, las amenazas como la aparición de plagas y enfermedades, además de los efectos del cambio climático, demandan que los programas de mejoramiento conserven una amplia base de materiales genéticos. En este sentido, la silvicultura clonal puede permitir una rápida respuesta a estos eventos, logrando proveer de genotipos (clones) tolerantes/resistentes a estreses bióticos y/o abióticos en un corto plazo (Harrand *et al.*, 2017).

En sus comienzos, el cultivo de las diversas especies de *Eucalyptus* tuvo destino celulósico-energético, luego progresó hacia la producción de tablas, postes y finalmente productos sólidos de alta calidad (Sánchez Acosta, 2006). En la actualidad las plantaciones en el noreste de Entre Ríos tienen como principal destino la industria del aserrado, que abastece al mercado interno con madera para la construcción, pisos, decks, machimbre, molduras, zócalos, muebles, tableros MDF (fibras de mediana densidad), tableros de listones, vigas multilaminadas, pallets y envases (Mastrandrea y Alberti, 2009).

La especie más utilizada en las forestaciones comerciales en la provincia es *Eucalyptus grandis* W. Mill ex Maiden y, en menor medida, *E. dunni* Maiden y *E. globulus* Labill. (Díaz y Tesón, 2001).

E. grandis constituye hoy la principal latifoliada cultivada en Argentina. Combina de manera adecuada rapidez de crecimiento, buena forma de los árboles y una madera apta para gran variedad de usos industriales (Harrand *et al.*, 2017). Entre ellos se destacan madera para aserrado, laminado, impregnaciones y construcciones hortícolas así como industrias de molienda. En los últimos años se aprecia un incremento en sus usos, como es el caso de la madera para terminaciones, molduras y muebles (Aparicio *et al.*, 2005).

Las plantaciones clonales de *E. grandis* están en continuo aumento, debido a la mayor oferta de materiales con mayor adaptación a diferentes condiciones edafo-climáticas; y al aumento de la productividad y homogeneidad de las plantaciones (Aparicio y Maggio, 2018). Esta homogeneidad permite lograr mayor eficiencia tanto en el manejo silvícola de las plantaciones como en los procesos industriales. A su vez, la homogeneidad genética acarrea riesgos, por ejemplo, puede volver la plantación más susceptible a problemas sanitarios o climáticos, como las heladas (Harrand *et al.*, 2017).

Luego de varios años de evaluación, en el año 2003, INTA inscribió 10 clones de *E. grandis* en el Registro Nacional de Cultivares, para su uso en plantaciones comerciales. Estos clones pertenecen a las primeras selecciones fenotípicas, y se evaluaron ensayos en varios sitios de la Mesopotamia a diferentes edades y con diversas características. Estos nuevos clones poseen características muy destacables, lo que permite llevar a cabo forestaciones con igual, e incluso mayor, productividad que las realizadas a partir de semillas (Harrand *et al.*, 2017). Según los resultados que se obtuvieron de las evaluaciones de los genotipos, el clon EG-INTA-36 destaca entre éstos ya que presenta mejores características de crecimiento, sanidad, rectitud de fuste y densidad de la madera en comparación con los ejemplares producidos a partir de la semilla comercial.

Las plantaciones de *E. grandis* se distribuyen en una amplia variedad edáfica, como los suelos rojos arcillosos lateríticos del norte de Corrientes (Alfisoles y Ultisoles), los cordones arenosos del centro y sudoeste de Corrientes (Alfisoles y Entisoles) y los suelos arenosos, franco arenoso y arcilloso de la costa del río Uruguay de Entre Ríos y Corrientes (Alfisoles, Molisoles, Entisoles y Vertisoles). En general, la productividad disminuye desde suelos altos y profundos hacia suelos bajos y superficiales (Larocca *et al.*, 2004). La principal limitante ecológica para su cultivo a gran escala es su alta sensibilidad al frío (Harrand *et al.*, 2017) que causa quemado de los márgenes de las hojas, daño de la yema apical, grietas en la corteza y, en casos extremos muerte de las plantas.

El Departamento de Concordia (31°23'34.7" S 58°1'15.2"O) presenta un periodo medio libre de heladas meteorológicas de 298 días lo cual representa una importante limitante para

su cultivo (INTA Concordia, 2010). De la diferencia anual entre la fecha de la primera helada (FPH) y fecha de la última helada (FUH) surge el periodo con heladas (PH). Según el informe presentado en el año 2018 por la sección de Agrometeorología de Estación Experimental INTA Concordia (EEA), desde el año 2010 se evidencia un acortamiento del periodo con heladas, que se manifiesta por la ocurrencia cada vez más tardía de la aparición de la fecha de la primera helada, mientras que la FUH permanece invariable. Las diferencias estadísticas no resultaron significativas a un 95% de confianza, sin embargo se observa una tendencia en este sentido (Ramos *et al.*, 2018)

E. dunnii es una de las especies alternativas a *E. grandis* debido a que es más tolerante a las heladas. Sin embargo, presenta serias restricciones para usos sólidos de la madera ya que acumula tensiones de crecimiento que derivan en problemas y pérdidas financieras en el proceso de aserrado (Murphy *et al.*, 2005; Souza 2006 nombrado por Hernández *et al.*, 2014). Por otro lado, el empleo de especies originarias de áreas templadas, resistente a las heladas, como *E. globulus*, *E. badjensis* Beuzeville y Welch, y *E. viminalis* Hook presentan serias restricciones de adaptabilidad a la Mesopotamia (Oberschelp *et al.*, 2016). *E. camaldulensis* Dehnh es el eucalipto de más amplia distribución en su zona de origen, encontrándose en casi todo el sector continental de Australia. Si bien en Argentina la especie está muy difundida, las plantaciones comerciales no son tan comunes y en climas húmedos se prefieren especies de mayor crecimiento como *E. grandis* o *E. dunnii* (Ballesteros *et al.*, 2006). *E. camaldulensis* es una especie resistente a condiciones frías y de heladas, que prospera en suelos húmedos pero también en suelos áridos y salinos (Salto, 2008). Esto se debe, al menos en parte, a que presenta dos sistemas de raíces, uno casi a ras del suelo, con el que absorbe humedad superficial, y otro en profundidad, con el que absorbe agua de las capas más profundas (Attiwill, 1972). Es una especie cuyo material genético posee la capacidad de desarrollar rodales con características silviculturales adecuadas para el cultivo con fines industriales en el Noroeste argentino (Golfari, 1985). A su vez, su cultivo tiene importancia en las provincias de Buenos Aires, Santa Fe y, fundamentalmente, Jujuy (Ballesteros *et al.*, 2006). Según Marcó y Harrand (2005) pertenece al grupo de los *Eucalyptus* de crecimiento mediano a bajo y posee muy buenas características para madera sólida, debido a su resistencia y durabilidad, así como para usos energéticos y para la fabricación de tableros de fibra de alta densidad (Mangieri y Dimitri, 1961). Esta especie es susceptible a varias plagas, entre ellas la avispa de la agalla del Eucalipto, *Leptocybe invasa* (Luo *et al.*, 2013).

Híbridos de *Eucalyptus*

El desarrollo de plantaciones a escala comercial con híbridos interespecíficos de este género se realizan hace décadas con el fin de aprovechar la complementariedad, la adaptabilidad y la heterosis, o vigor híbrido, entre parentales selectos en regiones donde las especies tienen limitantes bióticas, como plagas y enfermedades, y abióticas como riesgo de heladas o sequías y restricciones edáficas (Assis y Mafia, 2007; Harwood, 2011).

El propósito que se persigue, con la obtención de híbridos radica en lograr una combinación de las aptitudes (buena forma, rapidez de crecimiento, buena aptitud maderera y sanidad) atribuibles al *E. grandis* con la mayor adaptabilidad a suelos secos, pobremente drenados, arcillosos y/o ambientes de bajas temperaturas, como *E. camaldulensis* (Harrand *et al.*, 2017).

En la EEA Concordia del INTA, desde la década del 1990 se realizan selecciones de individuos de *Eucalyptus* para su utilización con diferentes propósitos dentro del Programa de Mejoramiento Genético Forestal. En la actualidad, la EEA Concordia dispone de más de 500 clones de *E. grandis* y de híbridos interespecíficos, en diferentes niveles de evaluación (Harrand *et al.*, 2017).

Los primeros ensayos de clones híbridos evaluados, han demostrado la existencia de genotipos con crecimientos similares a los mejores clones de *E. grandis*, con mayor tolerancia al frío, mayor densidad de madera y tensiones de crecimiento iguales o inferiores a esta especie. Dentro de estos clones ensayados se hallan dos clones híbridos *E. grandis* x *E. camaldulensis* GC-INTA- 27 y GC-INTA- 24 (nomenclatura propuesta por INTA). Este último recientemente inscripto en el Registro Nacional de Cultivares y Registro Nacional de Propiedad de Cultivares del INASE. GC-INTA-24 se destaca por tener una mayor productividad, tolerancia a heladas, densidad de madera y menor rajado en tablas (Oberschelp, 2019).

En el año 2013 se llevó a cabo un ensayo clonal en la EEA Concordia en el que se evaluó la tolerancia diferencial a heladas de distintas especies de *Eucalyptus* y de dos clones híbridos, entre ellos GC-INTA-27. Para la evaluación se realizaron tres mediciones, una anterior y dos posteriores a eventos de heladas. El fundamento del ensayo recae en el rendimiento cuántico del fotosistema dos (PS II) como indicador del daño o tolerancia al estrés por frío. Se calcularon eficiencias máximas de este fotosistema mediante la aplicación de pulsos de luz y a partir de estos datos se calcularon índices de daño (ID). Las mediciones indicaron que los materiales que presentaron el menor índice de daño (ID) fueron *E. benthamii* (ID=7,5), el híbrido GC-INTA-27 (ID=7,57) y *E. dunnii* (ID=8,97). Como conclusión surge que el material híbrido que se encuentra registrado e inscripto, representa una alternativa prometedora para ser incorporada en zonas con condiciones edafo-climáticas desfavorables para *E. grandis* (Surenciski *et al.*, 2013).

Evaluación de características ecológicas a través de la madera

La madera es un tejido que cumple funciones mecánicas e hidráulicas y conserva registro de las condiciones ambientales en las que la planta creció (Niklas, 1992; Carlquist, 2001). El análisis anatómico de la madera permite estimar estas condiciones y las respuestas ecológicas de la planta, por ejemplo ataques de insectos, incidencia de heladas, sequías e incendios, tasas de crecimiento, entre otros (Scholz, 2013; Von Arx *et al.*, 2016). Las características del xilema son en su mayoría fijas una vez formadas y definen en gran medida su funcionalidad.

Los elementos traqueales, desempeñan un papel crucial en el transporte de agua desde las raíces hasta las hojas. Éstos muestran una amplia diversidad anatómica con respecto a su tamaño, forma, disposición y agrupamiento (Carlquist, 2001) y su estudio cuantitativo brinda información sobre las adaptaciones funcionales de la planta a los diferentes parámetros del entorno (Scholz, 2013). Las especies leñosas que son hidráulicamente vulnerables a la cavitación del xilema pueden experimentar embolismos (Ogasa *et al.*, 2012). Las heladas son responsables de la interrupción de la conducción hidráulica (cavitación) como resultado de los ciclos de congelación y descongelación del agua dentro de los conductos. Varios estudios han demostrado que cuando el xilema se congela bajo tensión, se producen extensos embolismos a medida que las burbujas de aire formadas durante el congelamiento se expanden durante el descongelamiento (Tyree y Sperry, 1989).

La resistencia a la cavitación está controlada por una compleja interacción entre la red de vasos, sus diámetros, distribución y las características de las punteaduras (Lens, 2010; Davis *et al.*, 1999; Christman *et al.*, 2012). Para ajustar las tasas de suministro de agua a través de albura, las plantas pueden alterar la estructura del xilema de varias maneras, por ejemplo cambiar la fracción de lumen ocupada por vasos (diámetro del conducto), o modificar la densidad de vasos (Zanne *et al.*, 2010).

El diámetro del vaso es una de las variables anatómicas más importante en el xilema de las angiospermas ya que la conductividad hidráulica de un conducto es proporcional al radio elevado a la cuarta potencia. El diámetro de los vasos y su densidad son uno de los principales controles de la vulnerabilidad de un tallo a sufrir embolismos (Carlquist, 2001). Considerables evidencias confirman que los vasos más grandes del xilema son más vulnerables a la cavitación por congelación que los vasos más pequeños y las traqueidas (Davis *et al.*, 1999).

Los vasos están sometidos a una tensión que deben resistir a fin de poder conducir agua de manera efectiva. Durante la formación de embolias se producen caídas abruptas en la presión interna y el vaso es sometido a tensiones mayores a las normales (Hacke *et al.*,

2001). La resistencia a la tensión, y por lo tanto a la formación de burbujas de aire, está condicionada tanto por el grosor de las paredes de los vasos como de las fibras que lo rodean (Jacobsen *et al.*, 2005).

Las células vivas, como el parénquima, las fibrotraqueidas y fibras nucleadas, tienen la capacidad de hidrolizar el almidón de reserva. Esto provoca el aumento de la presión osmótica en las proximidades de los vasos embolizados. De este modo el agua es forzada a ingresar a los vasos y las embolias son reparadas de esta forma. La cantidad de células vivas en torno a los vasos condiciona la capacidad de la planta de reparar embolismos (Jacobsen *et al.*, 2005).

Objetivos generales

Caracterizar y comparar la anatomía de la madera de dos clones híbridos interespecíficos que se comercializan actualmente en Concordia *E. grandis* EG-INTA-36 x *E. camaldulensis* GC-INTA-24 y GC-INTA- 27, con sus parentales. E identificar posibles indicadores anatómicos de mayor tolerancia a heladas de los nuevos híbridos, con respecto a *E. grandis*.

Objetivos específicos

- Describir la anatomía del leño de los clones híbridos interespecíficos GC-INTA-24, GC-INTA- 27 y sus parentales: *E. camaldulensis* (de semilla) y el clon de *E. grandis* EG-INTA-36.
- Medir indicadores anatómicos relacionados a la mayor resistencia al frío y a las heladas: índice de vulnerabilidad, espesor de las paredes de las fibras, diámetro y frecuencia de vasos.
- Inferir el posible comportamiento de los clones GC-INTA-24 y GC-INTA-27 con respecto a sus parentales EG-INTA-36 y *E. camaldulensis* frente a las heladas a través de la medición de características anatómicas de la madera.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de las muestras

El área de estudio se localiza en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Concordia (-31.373277, -58.116014), ubicada en la Estación Yuquerí, Ruta Provincial 22 y vías del Ferrocarril (3200), Entre Ríos (Fig. 1 en anexo).

Las muestras del leño fueron tomadas de un ensayo clonal demostrativo de 2 años de edad, establecido con un marco de plantación de 3 x 2 m. Los árboles fueron apeados para obtener rodajas a 1,3 m. de altura. Se extrajeron muestras de 4 materiales genéticos

diferentes, los cuales cuentan con 3 repeticiones cada uno, cuya nomenclatura corresponde a la posición de cada material en el ensayo (Fig. 2 en anexo).

Materiales del ensayo:

- *Eucalyptus grandis* EG-INTA-36 (nombrado así por INTA). Repeticiones: EG-INTA-36 (3), EG-INTA-36 (5) EG-INTA-36(7).
- *Eucalyptus camaldulensis* EC (semilla obtenida del Huerto Semillero INTA Famailá). Repeticiones: EC (5), EC (7), EC (11).
- *Eucalyptus grandis* x *E. camaldulensis* GC24 (nomenclatura propuesta por INTA). Repeticiones: GC24, GC24 (A), GC24 (B). De estos híbridos se desconocen las posiciones en el ensayo de allí que fueron identificados letras.
- *Eucalyptus grandis* x *E. camaldulensis* GC27 (nomenclatura propuesta por INTA). Repeticiones: GC27 (3), GC 27(6), GC27 (9).

Corte y preparación de las muestras anatómicas

Dentro de este estudio, las descripciones anatómicas se basaron en la terminología de la Asociación Internacional de Anatomistas de la Madera (IAWA, por sus siglas en inglés-IAWA Comitee, 1989), y en la terminología específica para *Eucalyptus* propuesta por Dadswell (1972) y ajustada a las especies plantadas en Argentina por Villegas y Rivera (2002). Para llevar a cabo la descripción anatómica y estudio del material, se obtuvieron cubos de 1 cm de lado extraídos de la zona más periférica de cada rodaja. Para su ablandamiento fueron hervidos en agua durante 2 horas. Luego, se le realizaron cortes histológicos de 30 um de espesor en sus tres secciones: transversal (CT), tangencial (CTg) y radial (CRd), los cuales fueron diafanizados en hipoclorito de sodio y teñidos con safranina 1% en alcohol 80° y safranina 1% en alcohol 80° /fast-green 1% en alcohol 100°, y posteriormente montados con Bálsamo de Canadá sintético. Una vez montados fueron secados en estufa por más de 24 horas para luego ser observados al microscopio óptico. Para completar la descripción cuantitativa se realizaron macerados: se colocaron 4 astillas (una por genotipo, seleccionadas al azar) en 4 tubos de ensayo y se utilizó como solvente partes iguales de ácido acético y agua oxigenada. Se llevaron a estufa a 60°C hasta aspecto hialino (48h aproximadamente). Luego se lavaron con agua, se montaron, y se observaron al microscopio.

Análisis de las muestras

Se llevaron adelante las descripciones de los caracteres cualitativos microscópicos de todas las repeticiones disponibles, dentro de las cuales se describe el carácter más

frecuente y algunas observaciones pertinentes. Se detallan también las principales diferencias encontradas entre las repeticiones de cada genotipo. Dentro de esta descripción se adaptó de Dasdwell (1972), y Villegas y Rivera (2002) la clasificación según el arreglo que presentan los vasos, manifestando diferentes tipos de disposición diagonal, que vistos en sección transversal, presentan un diseño intermedio entre tangencial y radial. (Fig. 3).

- A) Muy común, demarcada, o localmente pronunciada.
- B) Bastante común a común en parte de los ejemplares.
- C) No común, pero evidente en ciertas áreas.
- D) Rara, o sólo presente en unos pocos parches localizados.

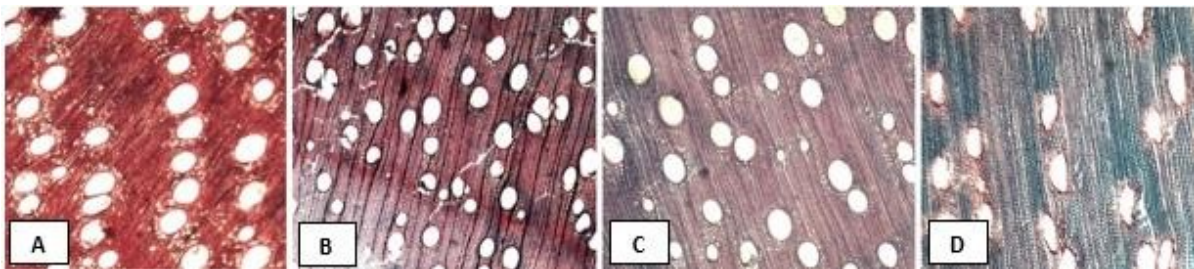


Figura 3: arreglo de los vasos formando las diagonales, las letras se corresponden con el tipo de disposición.

Para llevar adelante la medición de las variables cuantitativas se obtuvieron imágenes a partir del microscopio óptico (Olympus CX31, Japón) adosado a una cámara digital (Infinity, Lumenera). Para el procesamiento de imágenes digitales se utilizó un software específico (ImagePro, Media Cybernetics, USA). Se midieron en sección transversal: diámetro tangencial medio de los vasos DTM (μm) vistos con 4X, diámetro tangencial medio máximo de los vasos (DTMx) en los que se promediaron los 10 mayores valores de DTM, espesor doble de pared EDP (μm) que al dividirlo por dos se obtuvo el espesor de pared EP (μm), el diámetro de lumen de las fibras DLF (μm) vistos con 40x. También se midió la frecuencia de vasos FV (μm) para luego calcular el índice de vulnerabilidad definido según Carlquist como el cociente entre el diámetro del vaso y el número de vasos por mm^2 . Se midió también el número de radios por mm lineal en corte transversal. Se realizaron aproximadamente 100 lecturas para cada componente morfológico. En material disociado: longitud de los elementos de vaso LV (μm) y de fibras Long. F (μm). Se realizó un mínimo de 25 lecturas para cada componente morfológico (según Villegas y Rivera, 2002).

Otras de las variables propuestas a analizar es el índice de vulnerabilidad (IV). El mismo fue propuesto por Carlquist en 1977 y busca determinar si la anatomía de la madera

está suficientemente correlacionada con la ecología, para establecer que las características de los elementos del vaso tienen valor predictivo. Este índice (diámetro de vaso/ núm. Vasos x mm²) establece que cuanto más numerosos son los vasos por mm², menor será la interrupción en la conducción de agua causada por la formación de embolias formada bajo congelación. En otras palabras, un valor bajo de este índice indicaría la capacidad de resistir la congelación.

Para el análisis estadístico se utilizó el software InfoStat/L 2018. Para el cálculo de las variables cuantitativas se realizó ANOVA y la comparación de medias se llevó adelante mediante test de Tukey ($p < 0,05$). También se realizó análisis de correlación de Pearson entre variables en dos etapas: en la primera donde se correlacionaron DTM; LF; AF; FV; LV; RADIOS X MM LINEAL; EP; LONG. VASO; y LONG. FIBRA. Los valores se ajustan a los datos promedios de las progenies. En la segunda etapa, para profundizar el análisis, se correlacionaron las variables por repetición de los materiales genéticos (DTM; LF; AF; FV; EP; RADIOS X MM). Se excluyeron diámetro tangencial máximo (DTMx) e Índice de vulnerabilidad (IV) por estar fuertemente influenciados o ligados entre sí a otros datos y no generar relaciones de interés para este análisis.

Por último, se hizo análisis de Clúster o de Conglomerados, que es una técnica estadística multivariada que busca agrupar elementos (o variables) tratando de lograr la máxima homogeneidad en cada grupo y la mayor diferencia entre los mismos. Para este análisis, se especificó en una planilla los promedios de cada una de las mediciones realizadas para los cuatro materiales genéticos. Se utilizaron todas las variables cuantitativas medidas en esta tesis, es decir se incluyeron las variables que fueron descartadas en el análisis de correlación.

RESULTADOS

Según las descripciones macroscópicas cualitativas de los genotipos observados se obtuvieron los caracteres xilológicos presentados en las correspondientes figuras: *Eucalyptus camaldulensis* (Fig. 4) *E. grandis* clon EG-INTA-36 (Fig. 5), clon híbrido GC-INTA-27, (Fig. 6), y clon híbrido GC-INTA-24 (Fig. 7).

Caracteres xilológicos cualitativos

Caracteres xilológicos microscópicos cualitativos del genotipo *E. camaldulensis*

Anillos de crecimiento no demarcados. *Porosidad* difusa. *Disposición diagonal* de tipo C/D. *Vasos* exclusivamente solitarios. *Paredes de las fibras* finas a gruesas. *Contorno de las fibras* rectangular, cuadrangular, oval y angular. *Parénquima axial* paratraqueal vasicéntrico, apotraqueal difuso y difuso en agregados. *Placas de perforación* simple. *Puntuaciones intervasculares* alternas, ovales y de apertura elíptica. *Traqueidas vasicéntricas* presentes. *Células del parénquima axial* en series de 3-4, y apotraqueal de 2 células. *Puntuaciones vaso-radio* simples, de forma circular a oval, frecuentes en los márgenes de los radios. *Composición de los radios* células procumbentes, con procumbentes de mayor altura en los márgenes. *Ancho de los radios* uniseriados, parcialmente biseriados con una altura de 1-2 células biseriadas y con la porción biseriada del mismo ancho que la uniseriada. *Altura de los radios*: de 4 a 14 células. *Observaciones*: la repetición EC (7) presentó disposición diagonal de tipo A. Los individuos EC (7) y EC (11) fueron los que más similitudes entre sí demostraron. En EC (5) se vieron traqueidas vasicéntricas menos abundantes que en EC (7), y a su vez las punteaduras vaso-radio de estos dos se vieron similares. EC (5) presentó en algunos sectores punteaduras intervasculares opuestas, también pudieron observarse radios biseriados de forma esporádica y bastante menos parénquima apotraqueal que los otros dos individuos. EC (7) presentó algunos radios 1-2 seriados. En el individuo EC (11) las traqueidas vasicéntricas fueron más comunes que en los otros dos.

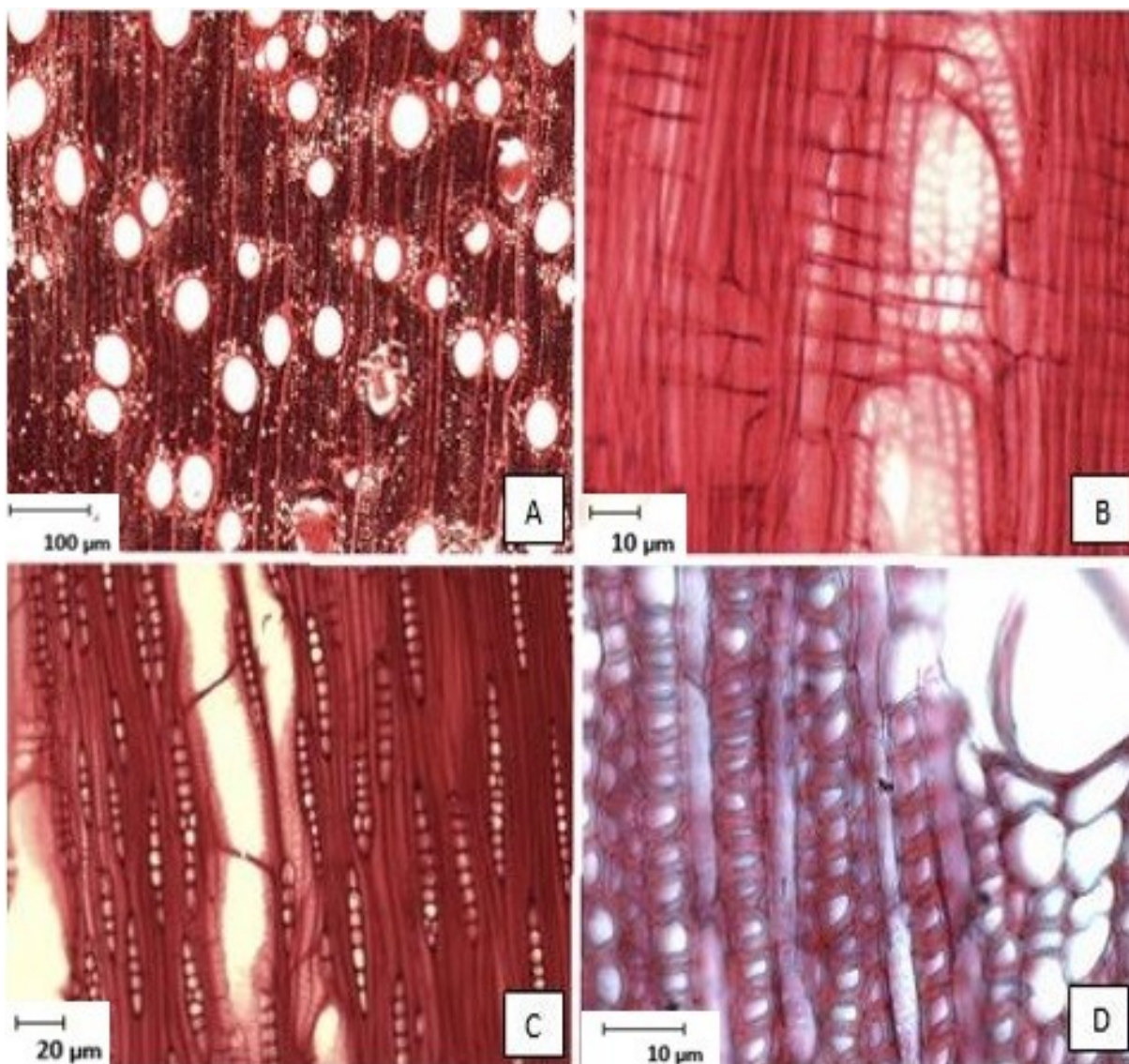


Figura 4: *E. camaldulensis*. A: vista en 4x, disposición diagonal de tipo C-D, parénquima paratraqueal vasicéntrico, difuso y difuso en agregados. B: vista en 20x, puntuaciones del vaso, puntuaciones vaso-radio más frecuentes en los márgenes del mismo. Células del radio procumbentes y procumbentes marginales de mayor altura. C: sección longitudinal tangencial vista en 10x, radios uniseriados, parcialmente biseriados y con la porción biseriada del mismo ancho que la uniseriada, elemento de vaso rodeado de series parenquimáticas. Altura de los radios: 4 a 14 células. D: paredes de las fibras finas a gruesas vistas en 40x, células del parénquima paratraqueal vasicéntrico.

Caracteres xilológicos microscópicos cualitativos del genotipo EG-INTA-36

Anillos de crecimiento no demarcados. *Porosidad* difusa. *Disposición diagonal* de tipo C/D. *Vasos* exclusivamente solitarios. *Paredes de las fibras* finas a gruesas. *Contorno de las fibras* rectangular, cuadrangular, oval y angular. *Parénquima axial* paratraqueal escaso, a veces vasicéntrico, a veces unilateral. *Placas de perforación* simple. *Puntuaciones intervasculares* alternas, ovales y de apertura circular a elíptica. *Traqueidas vasicéntricas* presentes. *Células del parénquima axial* en series de 3-4. *Puntuaciones vaso-radio* simples, de forma circular a oval. *Composición de los radios* células procumbentes, con procumbentes de mayor altura en los márgenes. *Ancho de los radios* uniseriados. *Altura de los radios*: de 3 a 27 células.

Observaciones: el individuo EG-INTA-36 (7) presentó disposición diagonal de tipo B. A su vez, en este mismo se observó menos cantidad de parénquima que en el individuo (5). Los materiales EG-INTA-36 (3) y EG-INTA-36 (5) presentaron las células del parénquima muy alargadas, y no se repitió para el (7). En el individuo (5) se observaron las paredes de las fibras con rebordes sinuosos, y a su vez menos finas que en el individuo EG-INTA-36 (3) quien presentó las paredes muy finas a finas a gruesas.

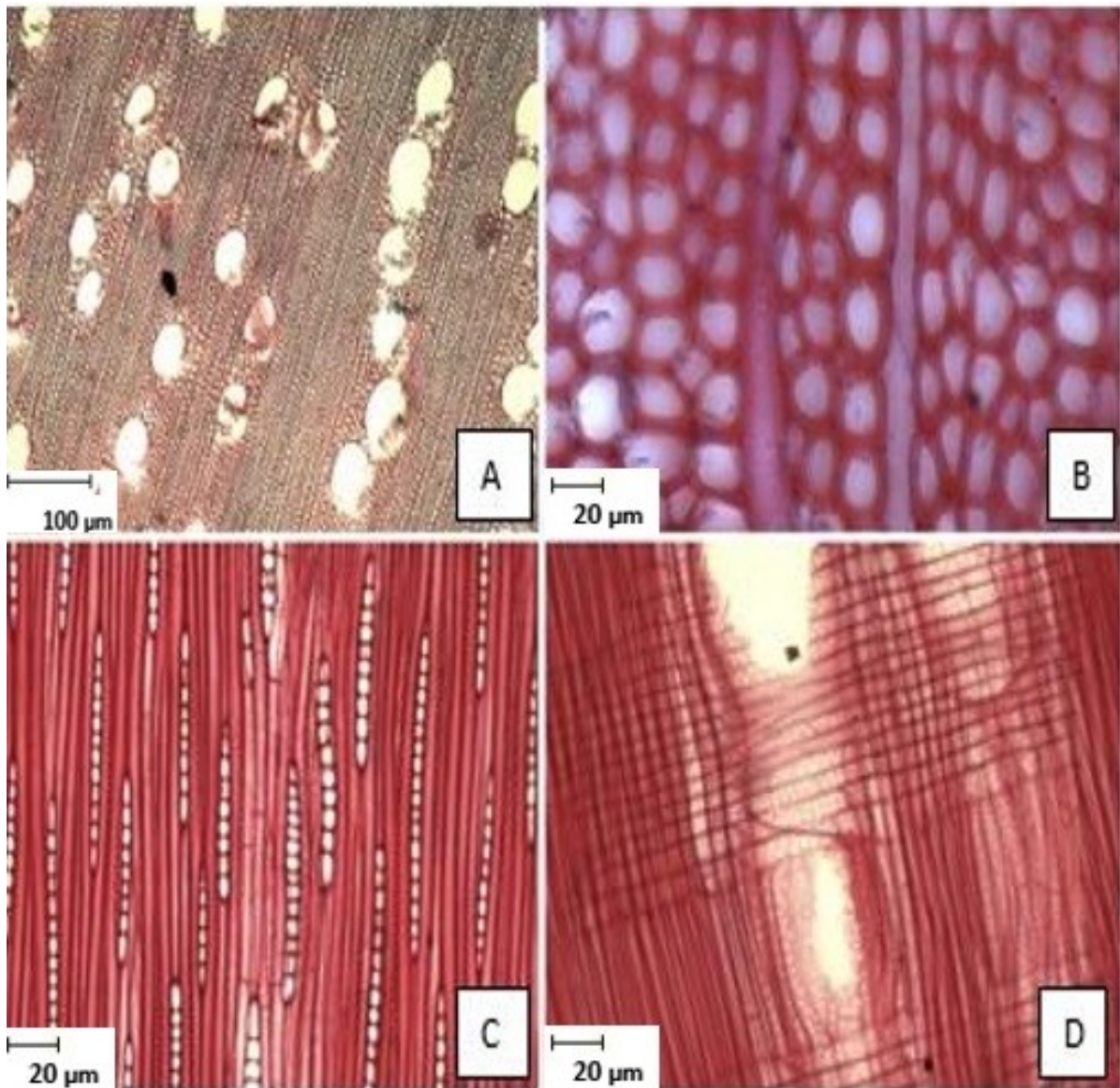


Figura 5: *E. grandis*. A: sección transversal vista en 4x, disposición diagonal de tipo C-D. B: paredes de las fibras finas a gruesas vistas en 10x. C: radios uniseriados, frecuentes de más de 10 células de alto, parénquima apotraqueal en series de 3-4 células, vistas en 10x. D: radios de células procumbentes y en los márgenes procumbentes de mayor altura, punteaduras intervasculares alternas, vaso-radio circulares grandes, de igual tamaño en todo el radio. Traqueidas vasicéntricas presentes. Células del parénquima paratraqueal vasicéntrico, vistas en 10x.

Caracteres xilológicos microscópicos cualitativos del genotipo GC-INTA-27

Anillos de crecimiento no demarcados. *Porosidad* difusa. *Disposición diagonal* de tipo C. *Vasos* exclusivamente solitarios. *Paredes de las fibras* finas a gruesas. *Contorno de las fibras* rectangular, cuadrangular, oval y angular. *Parénquima axial* paratraqueal vasicéntrico, a veces unilateral, a veces escaso y apotraqueal difuso y difuso en agregados. *Placas de perforación* simple. *Puntuaciones intervasculares* alternas, de gran tamaño, ovals y de apertura elíptica. *Traqueidas vasicéntricas* presentes. *Células del parénquima axial* en series de 3-4, y apotraqueal de 2 células. *Puntuaciones vaso-radio* simples, de forma circular a oval, frecuentes en los márgenes de los radios. *Composición de los radios* células procumbentes, con procumbentes de mayor altura en los márgenes. *Ancho de los radios* uniseriados, parcialmente biseriados con una altura de 1-2 células biseriadas y con la porción biseriada del mismo ancho que la uniseriada, y muy esporádicamente biseriados.

Observaciones: el individuo GC-INTA-27 (3) presentó poco parénquima apotraqueal difuso. Las puntuaciones vaso-radio se vieron bastante grandes y con abundante espacio entre ellas. Algunos radios presentaron células cuadradas. En las fibras del GC-INTA-27 (6), algunos sectores presentaron paredes finas a muy finas. En algunos de los radios se observaron células festoneadas. Las paredes de las fibras de GC-INTA-27 (9) fueron las más gruesas que se observaron. Las células parenquimáticas de las tres repeticiones se observaron alargadas como en los individuos (3) y (5) de *E. grandis*.

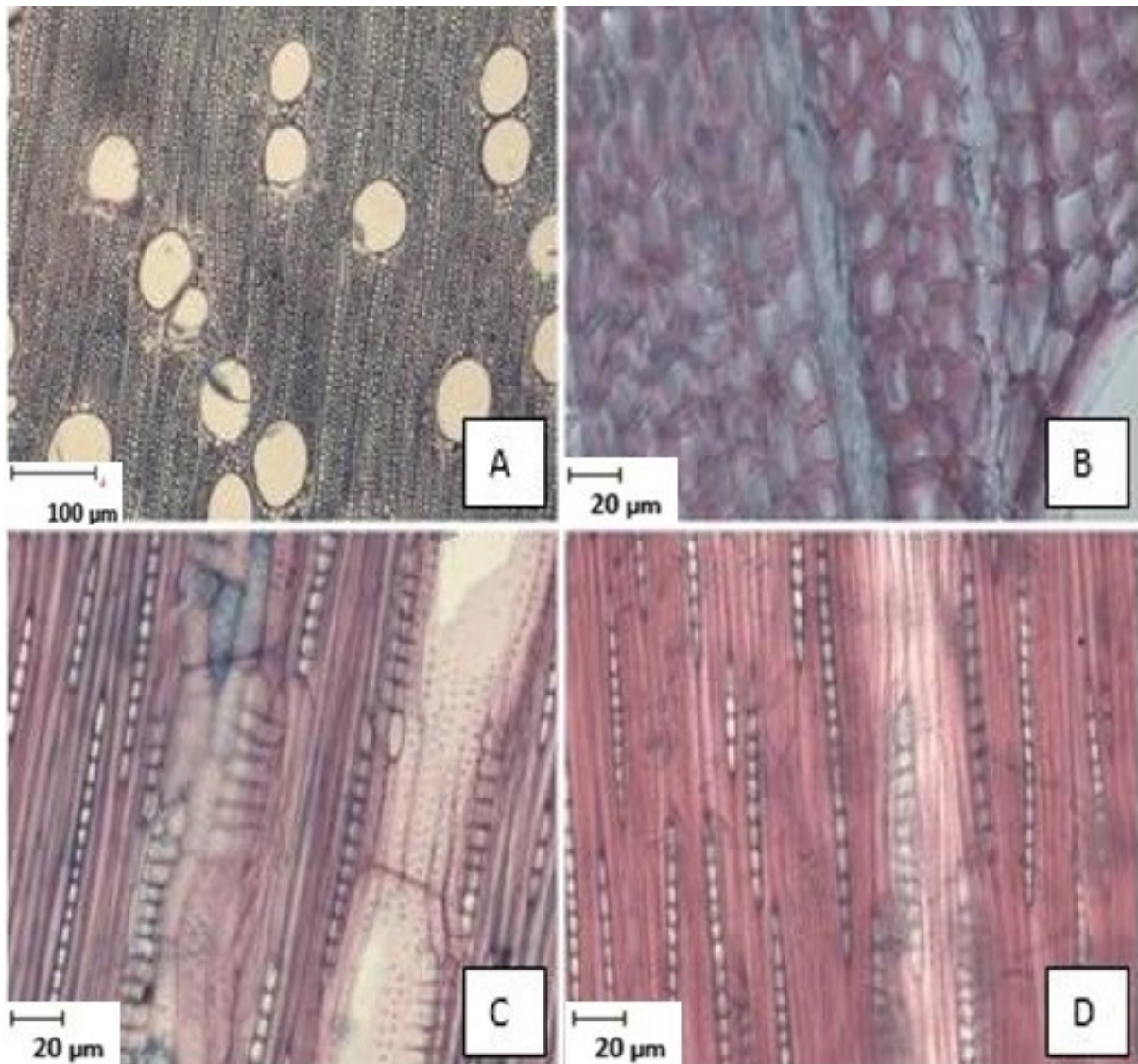


Figura 6: GC-INTA-27. A: disposición diagonal de tipo C, ordenamiento radial de las fibras muy común, parénquima paratraqueal vasicéntrico visto en 4x. B: vista en 10x espesor de las paredes finas a gruesas. C: punteaduras de los vasos alternas, traqueidas vasicéntricas, vistas en 10x. D: radios uniseriados, de 4 a 14 células de altura. Traqueidas rodeando al vaso vistas en 10x.

Caracteres xilológicos microscópicos cualitativos del genotipo GC-INTA-24

Anillos de crecimiento no demarcados. *Porosidad* difusa. *Disposición diagonal* de tipo C. *Vasos* exclusivamente solitarios. *Paredes de las fibras* finas a gruesas. *Contorno de las fibras* rectangular, cuadrangular, oval y angular. *Parénquima axial* paratraqueal escaso, a veces vasicéntrico, a veces unilateral. *Apotraqueal* difuso y escaso. *Placas de perforación* simple. *Puntuaciones intervasculares* alternas, de apertura elíptica. *Traqueidas vasicéntricas* presentes. *Células del parénquima axial* en series de 3-4, y apotraqueal de 2 células. *Puntuaciones vaso-radio* simples, de forma circular a oval, iguales en todo el radio. *Composición de los radios* células procumbentes, con procumbentes de mayor altura en los márgenes. *Ancho de los radios* uniseriados, pudiendo haber biseriados. *Altura de los radios*: de 2 a 28 células.

Observaciones: GC-INTA-24 presentó las paredes finas a muy finas. El individuo GC-INTA-24 A presentó menos parénquima que la repetición anterior y disposición diagonal de tipo A/B. En el área que presenta mayor achatamiento de fibras, las paredes de las fibras se vieron finas a muy finas. GC-INTA-24 B presentó puntuaciones de menor tamaño que el A. En este individuo las puntuaciones vaso-radio se vieron similares a las de grandis y en algunos radios se observaron contenidos.

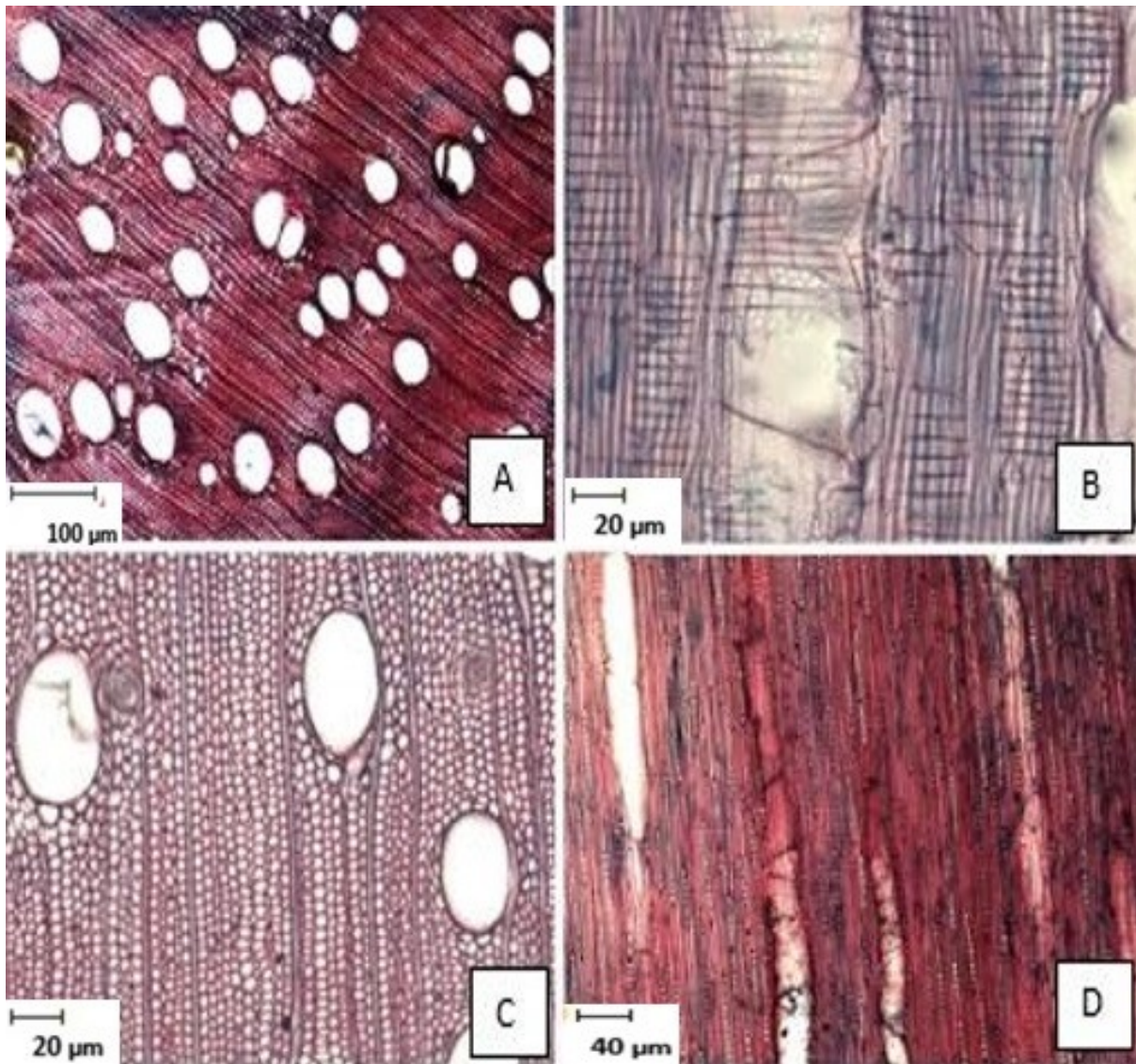


Figura 7: GC-INTA-24. A: vista en 4x se observa porosidad difusa. Disposición diagonal de tipo C. B: vista en 10x radios con células procumbentes y procumbentes de mayor altura. Puntuaciones radio-vaso. C: ordenamiento radial de fibras, parénquima paratraqueal vasicéntrico y unilateral, vistas en 10x D: 4x Radios uniseriados. Altura de los radios: 2 a 28 células.

Según las mediciones cuantitativas se obtuvieron los siguientes resultados expuestos en la siguiente tabla (tabla 5):

Caracteres xilológicos cuantitativos

Tabla 5: Caracteres cuantitativos (media y desvío estándar) separados por genotipo EC: *E. camaldulensis*, EG-INTA-36 (clon de *E. grandis*), GC-INTA-27 y GC-INTA-24 (clones híbridos). Para vasos: diámetro tangencial medio DTM (μm), diámetro tangencial máximo DTMx (μm). Para fibras: espesor de fibras (EP, μm), lumen de fibras (LF, μm), ancho de fibras (AF, μm). Número de radios por mm, frecuencia de vasos (FV, n° vasos/ mm^2), altura de radios (AR, n° células). Longitud de vasos LV (μm) y longitud de fibras Long. F (μm). Las letras iguales no son significativamente diferentes (Test de Tukey, P valor > 0,05).

| CARÁCTER | GENOTIPO | | | |
|---------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | EC | EG-INTA-36 | GC-INTA-27 | GC-INTA-24 |
| DTM(μm) | 81,9 a | 114,5,2 b | 99,1 c | 90,6 d |
| | $\pm 7,1$ | ± 18 | $\pm 20,5$ | $\pm 5,5$ |
| DTMx(μm) | 107,6 a | 132,6 b | 132,2 b | 125,6 b |
| | $\pm 8,91$ | $\pm 20,17$ | $\pm 8,91$ | $\pm 7,64$ |
| EP (μm) | 2,06 b | 1,77 a | 2,07 b | 1,9 ab |
| | $\pm 0,6$ | $\pm 0,4$ | $\pm 0,5$ | $\pm 0,5$ |
| LF (μm) | 6,69 a | 9,96 c | 9,90 c | 8 b |
| | $\pm 1,5$ | $\pm 2,1$ | $\pm 2,4$ | $\pm 1,3$ |
| AF (μm) | 10,8 a | 13,5 b | 14,04 b | 11,8 a |
| | $\pm 1,7$ | $\pm 2,1$ | $\pm 2,5$ | $\pm 1,6$ |
| n° radios/mm | 13,9 a | 11,7 a | 12,4 a | 12,6 a |
| | $\pm 0,7$ | $\pm 1,9$ | $\pm 5,3$ | ± 7 |
| FV (n°/ mm^2) | 24,4 b | 14,1 a | 12,7 a | 21,1 b |
| | $\pm 4,1$ | $\pm 2,78$ | $\pm 1,71$ | $\pm 3,71$ |
| LV (μm) | 298,3 a | 376,01 bc | 416,1 c | 315,9 ab |
| | $\pm 84,68$ | $\pm 80,54$ | $\pm 107,06$ | $\pm 88,17$ |
| Long. F (μm) | 676,19 a | 828,28 b | 906,48 c | 714,67 a |
| | $\pm 140,68$ | $\pm 140,68$ | $\pm 150,07$ | $\pm 159,89$ |
| AR (n° células) | 4 a 14 | 3 a 27 | 4 a 14 | 2 a 28 |

Según el ANOVA y posterior prueba de Tukey se observó que el material genético fue la fuente de variación excepto para el número de radios por mm lineal (Pvalor= 0,36).

Los cuatro materiales presentaron diferencias en el valor de DTM, el clon EG-INTA-36 presentó el valor más alto de diámetro de vasos. En tanto que el menor valor de DTM lo presentó EC, 1,39 veces menor que EG-INTA-36. Ambos híbridos presentaron mayor diámetro de vasos que su parental EC, pero menor que EG. El clon GC-INTA-27 presentó mayor diámetro que el EG-INTA-24. En cuanto al DTMx, EC se mantuvo diferente a los otros tres materiales (presentando el valor más bajo), y estos no presentaron diferencias entre sí.

Con respecto al espesor de pared de las fibras (EP), el valor más alto se corresponde con el híbrido GC-INTA-27, seguido por EC, con quien no presenta diferencias significativas. El menor valor para esta característica corresponde a *E. grandis*. El híbrido GC-INTA-24 presenta un valor muy próximo al otro material interespecífico. Para la variable lumen de fibra (LF) el valor más alto lo presentó *E. grandis*, seguido por el híbrido GC-INTA-27 con quien no presenta diferencias significativas. El menor valor lo presentó EC, quedando el híbrido GC-INTA-24 en una situación intermedia. Para el carácter ancho de fibra (AF) el valor más elevado lo presentó el híbrido GC-INTA-27 (entre 1,1 y 1,02) veces superior a EC y a EG-INTA-36 y 1,2 veces superior a GC-INTA-24 quien presentó el valor más bajo. Para este carácter los materiales GC-INTA-27 y EG-INTA-36 no son significativamente diferentes, mientras que EC y GC-INTA-24 tampoco presentan diferencias estadísticas.

Una de las características que agrupó a los materiales GC-INTA-24 y EC fue la frecuencia de vasos (FV). Estos genotipos no presentaron diferencias significativas, los valores que experimentó esta variable resultaron entre 1,65 y 1,92 veces mayor que los restantes materiales, siendo el híbrido GC-INTA-27 quien experimentó el valor más bajo.

En cuanto a la longitud de vaso se observó que los materiales presentaron diferencias significativas según la fuente de variación (genotipo). El valor más alto lo presentó el clon híbrido GC-INTA-27 mientras que el menor valor lo presentó *E. camaldulensis*.

Por último, para la variable longitud de fibras, se repite nuevamente que los materiales EC y GC-INTA-24 no presentan diferencias significativas entre sí. El valor más alto lo presentó GC-INTA-27 siendo 1,34 veces mayor que EC, quien presentó el valor más bajo.

Índice de vulnerabilidad

En la siguiente tabla se muestran los datos necesarios para su cálculo. Este índice es el cociente entre el diámetro de los vasos y la frecuencia de vasos.

| GENOTIPO | DTM (μm) | FV ($\text{n}^\circ/\text{mm}^2$) | IV |
|------------|-----------------------|-------------------------------------|----|
| EC | 81,9 | 24,4 | 3 |
| EG-INTA-36 | 114,5 | 14,1 | 8 |
| GC-INTA-27 | 99,1 | 12,7 | 8 |
| GC-INTA-24 | 90,6 | 24,1 | 4 |

Tabla 6: Cálculo del Índice de vulnerabilidad (IV) para los cuatro materiales genéticos a partir del diámetro de vasos (DTV) y de la frecuencia de los mismos (FV).

Como se observa en la tabla 6, el valor más bajo de IV lo presentó *E. camaldulensis* con valor 3, seguido del híbrido GC-INTA-24 con un valor de 4. En los casos del clon de *E. grandis* y del híbrido GC-INTA-27 los valores fueron los mismos. Para el caso de EC y GC-INTA-24 los valores de frecuencia de vasos son muy similares, lo mismo ocurre con los otros dos materiales. Esto da idea de que el valor de IV se halla fuertemente influenciado por el valor de DTM.

Análisis de correlación

Según los resultados arrojados por este análisis en el que se relacionan los promedios de las progenies (tabla 7), la variable DTM no presentó correlaciones significativas con ninguna otra variable ($P_{\text{valor}}=0,3$). Esta condición se repite para radios ($P_{\text{valor}}>0,1$) y espesor de pared ($P_{\text{valor}}>0,1$). El carácter frecuencia de vasos (FV) presenta correlación negativa con la variable longitud de fibra ($P_{\text{valor}}=0,0246$, $r=-0,98$), y a su vez con la variable longitud de vaso ($P_{\text{valor}}=0,025$; $r=-97$). Otra de las relaciones que presentaron significancia fueron las variables ancho de fibra (AF) y lumen de fibra (LF) presentando un $P_{\text{valor}}=0.0072$ y de $r=0.99$. Las variables longitud de vaso y longitud de fibra presentaron un valor de $r=1$ y $P_{\text{valor}}=0,000,1$.

Tabla 7: Análisis de correlación de variables para un P_{valor} umbral de 0,05: diámetro tangencial medio (DTM), espesor de pared de fibras (EP), lumen de fibras (LF), ancho de fibras (AF), número de radios por mm (RADIOS X MM), frecuencia de vasos (FV), longitud de vasos (LV) y longitud de fibras (Long. F).

| | DTM | LF | AF | FV | LV | EP | LONG. F | RADIOS X MM |
|-------------|-----|------|--------|-------|---------|-------|---------|-------------|
| DTM | | 0,91 | 0,94 | -0,84 | 0,7 | -0,63 | 0,71 | -0,93 |
| LF | | | * 0,99 | -0,89 | 0,83 | -0,87 | 0,83 | -0,75 |
| AF | | | | -0,92 | 0,86 | -0,81 | 0,85 | -0,82 |
| FV | | | | | * -0,97 | 0,62 | * -0,98 | 0,84 |
| LV | | | | | | -0,63 | * 1 | -0,7 |
| EP | | | | | | | -0,61 | 0,34 |
| LONG. F | | | | | | | | -0,7 |
| RADIOS X MM | | | | | | | | |

Al igual que el análisis previo, la variable DTM no presentó relación significativa con las demás variables, excepto con lumen de fibra (Pvalor=0,05 r=0,57). Por otro lado se vio que existe correlación negativa de la variable frecuencia de vasos con ancho de fibra (AF) $r=-0,8$ y Pvalor=0,0017; como así también con lumen de fibra $r=-0,86$ y Pvalor=0,0003. Estas dos últimas variables, a su vez guardan relación positiva arrojando valores de $r=0,61$ y Pvalor=0,0038.

tabla 8: Análisis de correlación de variables para un Pvalor umbral de 0,05: diámetro tangencial medio (DTM), espesor de pared de fibras (EP), lumen de fibras (LF), ancho de fibras (AF), número de radios por mm (RADIOS X MM), frecuencia de vasos (FV).

| | DTM | LF | AF | FV | EP | RADIOS X MM |
|-------------|-----|-------|-------|--------|-------|-------------|
| DTM | | *0,57 | 0,13 | -0,37 | -0,52 | -0,08 |
| LF | | | *0,61 | *-0,86 | -0,42 | 0,28 |
| AF | | | | *-0,8 | 0,04 | 0,36 |
| FV | | | | | 0,29 | -0,18 |
| EP | | | | | | 0,07 |
| RADIOS X MM | | | | | | |

Análisis de clúster o conglomerados

A partir de los datos reunidos de todas las variables medidas se obtuvo el siguiente gráfico. El mismo expresa 3 conglomerados: el conglomerado 1 compuesto por el genotipo EC, el conglomerado 2 compuesto por EG-INTA-36 y GC-INTA-27 quienes presentan las mayores similitudes en valores calculados, y por último el conglomerado 3 compuesto por el híbrido restante. El eje x expresa la distancia Euclídeana.

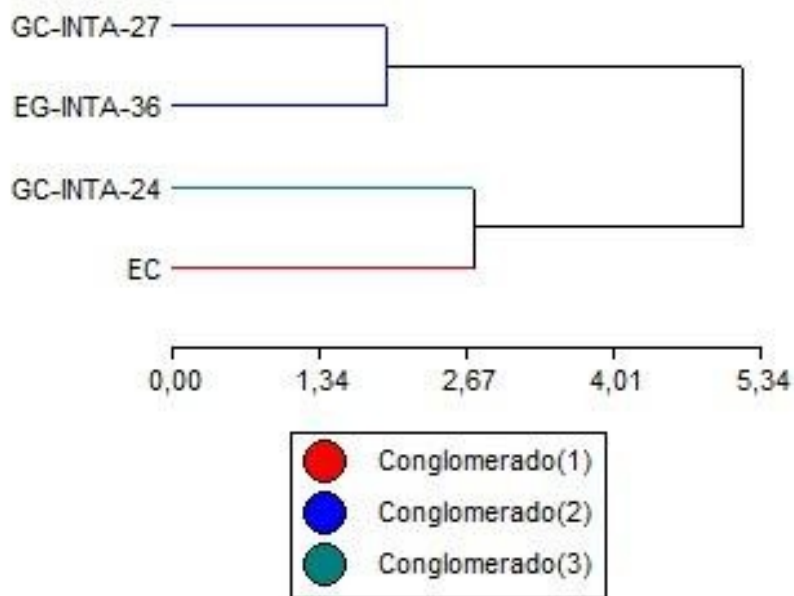


Figura 8: análisis de clúster o conglomerados

DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

Para el caso de los caracteres xilológicos microscópicos cualitativos, puede verse que los 4 materiales genéticos no presentaron diferencias notables entre sí, y que éstas fueron expresadas con mayor énfasis entre repeticiones o individuos dentro del mismo material genético que entre genotipos. Estas diferencias están dadas principalmente por la abundancia de parénquima y traqueidas vasicéntricas, y, en menor medida, el tipo de disposición diagonal de los poros. Este patrón observado coincide con lo previamente expuesto por Villegas y Rivera (2002). Al igual que exponen Villegas y Rivera (2002) no se ha encontrado, para este subconjunto de especies de *Eucalyptus*, una clara separación entre sí, basada en descripciones microscópicas, y en este caso particular entre los genotipos. Comparando esta tesis con su trabajo, los materiales *E. grandis* y *E. camaldulensis* se ajustan en general a las descripciones propuestas. Sin embargo, la disposición diagonal observada por Villegas y Rivera (2002) en *E. grandis* fue de tipo A y de tipo D para *E. camaldulensis*, en este estudio se observó tipo C/D para las dos especies. En el caso de *E. camaldulensis* no se observaron radios triseriados como en el trabajo citado, pero sí al igual que el mismo, fue la especie que presentó más abundancia en parénquima (4 tipos presentes).

Cabe destacar que los materiales del trabajo de las autoras corresponden a individuos adultos, en tanto que los materiales de la presente tesis corresponden a individuos juveniles (2 años). Este hecho podría explicar las diferencias observadas entre especies.

En cuanto a los valores cuantitativos, los calculados en esta tesis se ajustan a los rangos propuestos por las autoras excepto para diámetro tangencial medio (DTM), los cuales presentaron un patrón inverso al observado.

Es de destacar que las diferencias cuali-cuantitativas fueron escasas lo cual permitiría predecir las características de la madera adulta a partir de ejemplares juveniles, al menos en los genotipos analizados.

En cuanto a las mediciones cuantitativas, puede verse agrupamiento de los materiales genéticos *E. camaldulensis* y GC-INTA-24 que no presentan diferencias para los siguientes caracteres: ancho de fibras, frecuencia de vasos y longitud de fibra. Los otros dos materiales se agruparon en: DTMx; lumen de fibra, ancho de fibra y frecuencia de vasos.

Según Jacobsen *et. al.*, 2005, la resistencia a la implosión del vaso, causada por un evento de congelación, se incrementa con un menor diámetro de vasos y/o un aumento en el espesor de la pared. En esta tesis, el menor valor de diámetro de vasos fue para *E. camaldulensis* lo cual podría estar explicando por qué esta especie resiste con mayor facilidad a las heladas. En el otro extremo se ubica *E. grandis* que presentó el valor más alto de diámetro.

Una segunda premisa revela que otra forma de evitar la cavitación, está generada por la presencia de los tejidos circundantes al vaso, por ejemplo las paredes de las fibras, que pueden fortalecer el desempeño de los vasos frente a un evento de heladas, aumentando la resistencia a la cavitación. Los valores más elevados de espesor de pared de fibra fueron arrojados por GC-INTA-27, seguido por EC y GC-INTA-24.

Cabe destacar, que no se pudo cuantificar el porcentaje de elementos vivos que rodean al vaso (traqueidas vasicéntricas y células del parénquima axial) que favorecerían la resistencia a la cavitación por heladas, porque resultó dificultoso visualizar estos tipos celulares y diferenciarlos de los demás en el las preparaciones anatómicas en corte transversal.

El menor lumen de fibra fue arrojado por EC, mientras que el mayor lumen lo presento EG-INTA-36. El mayor valor de ancho de fibra lo tuvo GC-INTA-27

Según los estudios realizados por Carlquist (1977), estos sugieren una fuerte correlación entre la anatomía del xilema y el hábitat o la condición ambiental en la que las especies se desarrollan. Es por eso que permite establecer el índice de vulnerabilidad (IV) como estimador de la capacidad que tiene un individuo o una especie de sobrellevar eventos de estrés abiótico, como lo es en este caso la exposición al frío. En esta tesis, el menor valor de este índice lo presentó *E. camaldulensis* seguido por el híbrido GC-INTA-24. Los restantes materiales podrían presentar, en base a sus valores, la menor resistencia a este tipo de estrés.

EC y GC-INTA-24 presentaron la mayor frecuencia de vasos por mm^2 y los menores valores de longitud de fibras, con respecto a los otros genotipos. Puede destacarse que la longitud de los vasos permite determinar según Carlquist, la tendencia al colapso o deformación de los mismos. Elementos de vasos con longitudes menores son menos susceptibles a estos efectos debido a la extremidad que presentan en las paredes a lo largo de la longitud del vaso.

Con respecto al análisis de correlación, en el análisis por genotipo la variable DTM no experimentó relación con ninguna de las otras variables, en tanto que en el análisis por individuos se observó relación negativa con la variable lumen de fibra. También puede observarse una correlación positiva entre ancho de fibra y lumen de fibra (en ambos análisis), y esta relación se debe a que a mayor lumen, mayor será el ancho de la fibra. Las otras dos correlaciones que se presentan son de la frecuencia de vasos con longitud de fibra, y con longitud de vaso, ambas negativas. Lo cual indica que cuanto mayor sea la frecuencia de vasos, menor será la longitud de las fibras y a su vez menor será la longitud de los elementos de vasos. Para el carácter frecuencia de vasos (FV) en el segundo análisis, las relaciones significativas fueron con las variables ancho de fibra (AF) y lumen de fibra (LF).

La relación esperable entre frecuencia de vasos (FV) y diámetro de vasos (DTM) es negativa. En este estudio no se manifestó dicha relación y esto podría estar significando que se pueden hallar genotipos con vasos numerosos y de gran diámetro, lo que incrementaría la conductividad hidráulica y consecuentemente, el crecimiento. Esta condición, en eventos de congelamiento resultaría desfavorable por la disminución de la resistencia al estrés por frío.

Según el análisis de conglomerados, se obtuvo un agrupamiento de acuerdo a todas las mediciones realizadas en esta tesis (DTM, DTMx, EP, LF, AF, RADIOS X MM, LONG. F, LONG. V, IV). Para este análisis se tuvieron en cuenta todas las variables cuantitativas, es decir se incorporaron índice de vulnerabilidad (IV) y diámetro tangencial máximo (DTMx) que se habían excluido del análisis de correlación previo, y se concluyó que los materiales de *E. grandis* y GC-INTA-27 presentan más similitudes anatómicas entre sí (conglomerado 2), es decir que el híbrido nombrado se asemeja a las características de uno de sus parentales. Para el caso de los restantes materiales, no presentaron similitudes entre sí y forman parte de distintos conglomerados. Para finalizar es pertinente concluir que anatómicamente cada híbrido mostró más similitud por uno de los parentales: GC-INTA-27 a EG-INTA-36 y el híbrido GC-INTA-24 a EC.

La ing. Yamila Prunell en su tesis de grado (2020) utilizó datos de biomasa y características morfométricas de los mismos materiales genéticos que se estudian en este trabajo para establecer cuál de estos posee mejor aptitud para destino comercial. En su

trabajo establece que los genotipos GC24 Y GC27 son superadores en crecimiento a los parentales.

En resumen, en el estudio de los caracteres cualitativos se vio que las mayores diferencias se presentaron a nivel intragenotipo, más que entre genotipos. A partir de los caracteres cuantitativos, se pudieron establecer similitudes de los materiales en estudio y presumir el comportamiento de los mismos frente al estrés abiótico. Resulta interesante destacar que es posible obtener a partir de los mismos progenitores, híbridos con características diferenciales entre sí.

Se puede concluir que el clon GC-INTA-24 podría ser más resistente al estrés abiótico dado las características encontradas de: menor IV, menor DTM, mayor FV y mayor espesor de pared. A su vez el clon híbrido GC-INTA-27 podría ser más vulnerable a este tipo de eventos por presentar mayor IV, pero en condiciones en las que no se halle bajo estrés, obtendría mejores crecimientos dado su mayor valor de DTM y de menor FV. Aunque sería al menos en parte compensado por el mayor espesor de pared de las fibras. Ambos híbridos estarían presentando caracteres superadores frente al estrés ocurrido por las heladas respecto de su parental más vulnerable como es *E. grandis*.

Esta condición resulta interesante para ser incluidas en evaluaciones futuras de materiales en el proceso de selección en los programas de mejoramiento genético de INTA.

ANEXO

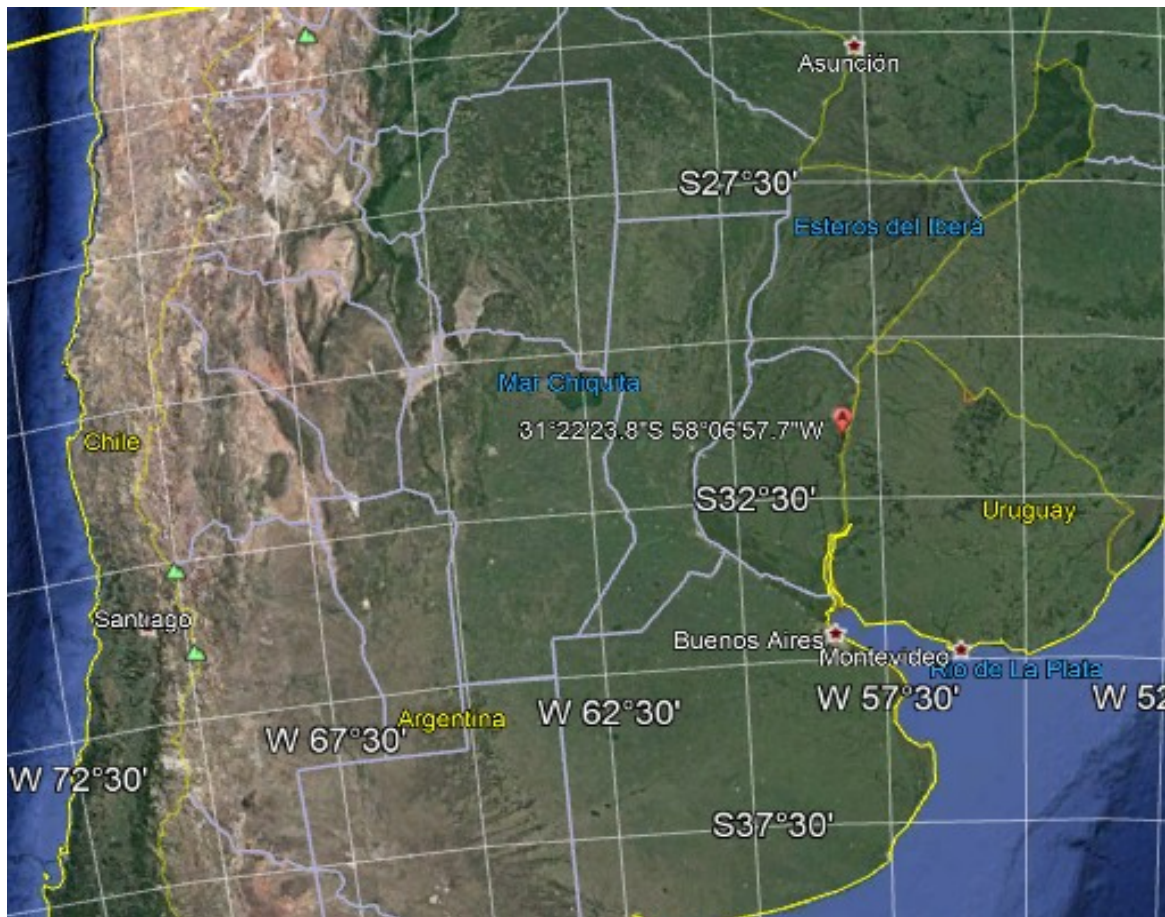


Figura 1: localización EEA INTA Concordia.



Figura 2: ensayo clonal demostrativo, EEA Concordia.

Tablas resumen de los caracteres microscópicos cualitativos

Tabla 1: caracteres xilológicos microscópicos cualitativos del genotipo E. camaldulensis

| <i>Carácter</i> | <i>lo más frecuente</i> | <i>observaciones</i> |
|---------------------------------------|---|--|
| Anillos de crecimiento | no demarcados | |
| Porosidad | difusa | |
| Disposición de los vasos y tipo | diagonal de tipo C-D | |
| Tipos de vasos | exclusivamente solitarios | |
| Espesor de las paredes de las fibras | finas a gruesas | |
| Contorno de las fibras | rectangular, cuadrangular, oval, angular | forman hileras radiales visibles |
| Parénquima axial | paratraqueal vasicéntrico y apotraqueal difuso y difuso en agregados | en algunos casos vasicéntrico a unilateral |
| Placas de perforación | simples | |
| Puntuaciones intervasculares | alternas, de forma oval y apertura elíptica | son de gran tamaño |
| Traqueidas vasicéntricas | presentes | |
| Tipos de células del parénquima axial | paratraqueal en series de 3-4 células y apotraqueal de 2 células | |
| Puntuaciones vaso-radio | simples, de forma circular a oval, frecuentes en los márgenes de los radios | |
| Composición de los radios | Células procumbentes. En los márgenes procumbentes de mayor altura | |
| Ancho de los radios | uniseriados | rara vez 1-2 seriados y muy esporádicamente biseriados |

Tabla 2: caracteres xilológicos microscópicos cualitativos del genotipo EG-INTA-36

| <i>Carácter</i> | <i>lo más frecuente</i> | <i>observaciones</i> |
|---------------------------------------|--|--|
| Anillos de crecimiento | no demarcados | |
| Porosidad | difusa | |
| Disposición de los vasos y tipo | diagonal de tipo C-D | |
| Tipos de vasos | exclusivamente solitarios | muy ovales, casi poligonales |
| Espesor de las paredes de las fibras | finas a gruesas | |
| Contorno de las fibras | rectangular, cuadrangular, oval, angular | hileras radiales muy comunes |
| Parénquima axial | paratraqueal escaso, a veces vasicéntrico y a veces unilateral | |
| Placas de perforación | simples | |
| Puntuaciones intervasculares | alternas, ovales y de apertura circular a elíptica | algunas se vieron opuestas |
| Traqueidas vasicéntricas | presentes | |
| Tipos de células del parénquima axial | en series de 3-4 | se vieron células muy alargadas |
| Puntuaciones vaso-radio | simples, de forma circular a oval | de gran tamaño y a su vez iguales en todo el radio |
| Composición de los radios | Células procumbentes. En los márgenes procumbentes de mayor altura | |
| Ancho de los radios | uniseriados | esporádicamente 1-2 seriados |

Tabla 3:caracteres xilológicos microscópicos cualitativos del genotipo GC-INTA-27

| <i>Carácter</i> | <i>lo más frecuente</i> | <i>observaciones</i> |
|---------------------------------------|---|--|
| Anillos de crecimiento | no demarcados | |
| Porosidad | difusa | |
| Disposición de los vasos y tipo | diagonal de tipo C | |
| Tipos de vasos | exclusivamente solitarios | |
| Espesor de las paredes de las fibras | finas a gruesas | |
| Contorno de las fibras | rectangular, cuadrangular, oval, angular | hileras radiales muy comunes |
| Parénquima axial | Paratraqueal vasicéntrico, a veces escaso, a veces unilateral. Apotraqueal difuso y difuso en agregados | |
| Placas de perforación | simples | |
| Puntuaciones intervasculares | alternas, ovales y de apertura elíptica | son de gran tamaño |
| Traqueidas vasicéntricas | presentes | |
| Tipos de células del parénquima axial | series de 3-4 células | |
| Puntuaciones vaso-radio | simples, de forma circular a oval | frecuentes en los márgenes de los radios |
| Composición de los radios | células procumbentes y en los márgenes procumbentes de mayor altura | |
| Ancho de los radios | uniseriados | rara vez 1-2 seriados y muy esporádicamente biseriados |

Tabla 4:caracteres xilológicos microscópicos cualitativos del genotipo GC-INTA-24

| <i>Carácter</i> | <i>lo más frecuente</i> | <i>observaciones</i> |
|---------------------------------------|---|------------------------------|
| Anillos de crecimiento | no demarcados | |
| Porosidad | difusa | |
| Disposición de los vasos y tipo | diagonal de tipo C | |
| Tipos de vasos | exclusivamente solitarios | |
| Espesor de las paredes de las fibras | finas a gruesas | |
| Contorno de las fibras | rectangular, cuadrangular, oval, angular | hileras radiales muy comunes |
| Parénquima axial | paratraqueal escaso, a veces unilateral, a veces vasicéntrico. Apotraqueal difuso y escaso. | |
| Placas de perforación | simple | |
| Puntuaciones intervasculares | alternas, ornadas y de apertura elíptica | |
| Traqueidas vasicéntricas | presentes | |
| Tipos de células del parénquima axial | series de 3-4 células | |
| Puntuaciones vaso-radio | simples, de forma circular a oval | iguales en todo el radio |
| Composición de los radios | células precumbentes con hileras marginales de precumbentes de mayor tamaño | |
| Ancho de los radios | uniseriados | se vieron algunos biseriados |

BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio J. L., y Maggio A. D., 2018.** Respuesta a la fertilización con NPK en 5 clones de *Eucalyptus grandis* en planicies arenosas de Corrientes. *XXII JORNADAS FORESTALES DE ENTRE RÍOS*. 5 p.
- Assis, T., F., y R., G., Mafia. 2007.** Hibridação e clonagem. In: Borém, A. (Ed.) Biotecnologia florestal. Viçosa, MG: [s.n.], 2007: 93-121.
- Attiwill P. M., 1972.** On the cycling of elements in mature *Eucalyptus obliqua* forest in: "Australian Forest Tree Nutrition Conference". Pp. 39-46.
- Ballesteros, S.I, Berton J.A; Collado A.D, Echeverría J.C, d' Hiriart, A, Giuletti, J.D, Gómez M.M, Gómez Hermida, V.F, Jobbagy E.G, Nosetto, M.D.2006.** Aptitud Forestal de la Provincia de San Luis. Convenio de cooperación técnica entre el INTA EEA San Luis y el Gobierno de la provincia de San Luis. 110 pp.
- Carlquist S., 2001.** Comparative wood anatomy: systematic, ecological, and evolutionary aspects of dicotyledon wood. 2nd edn. Springer Berlin. 447 p.
- Christman M. A., Sperry J. S., Smith D. D., 2012.** Rare pits, large vessels and extreme vulnerability to cavitation in a ring-porous tree species. *New Phytologist* 193: 713–720.
- Dadswell, H. E., 1972.** The Anatomy of Eucalypt Woods. CSIRO, Division of Applied Chemistry. Technical Paper N° 66.
- Davis S. D., Ewers F. W., Wood J., Jamie, J., J. Kolb R & K., 1999.** Differential susceptibility to xylem cavitation among three pairs of *Ceanothus* species in the Transverse Mountain Ranges of southern California, *Écoscience*, 6:2, 180-186.
- Díaz D. y Tesón, N., 2001.** Unidades de Manejo Forestal en los Departamentos Federación, Concordia y Colón, del Nordeste de Entre Ríos. INTA EEA Concordia. 11 p.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W.** 2018 - InfoStat versión 2018 - Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Golfari L., 1985.** Distribución regional y condiciones ecológicas de los eucaliptos cultivados en la Argentina. Problemas inherentes. Publicación Técnica N° 1: 20. CIEF, Buenos Aires
- Hacke U. G., Sperry J. S., Pockman W. T., Davis S. D., Mc Culloh K. A., 2001a.** Trends in wood density and structure are linked to prevention of xylem implosion by negative pressure. *Oecologia* 126: 457–461.
- Harrand L., Oberschelp J., Mastrandrea C., 2017.** Mejoramiento Genético de especies cultivadas en Entre Ríos. Curso: Principios técnicos para el cultivo de especies Forestales de Entre Ríos. Disponible en: (https://inta.gob.ar/sites/default/files/materiales_geneticos_y_tecnologia_de_la_madera.pdf) consultado: 22-III-2019.

IAWA Comitee (Wheeler, E. A., Baas, P., & Gasson, P. E. -Eds.). (1989). IAWA list of microscopic features for hardwood identification.

Iglesias-Trabado, G. y Wilstermann D., 2009. *Eucalyptus universalis*. *Global cultivated eucalypt forests map 2009*. Disponible en: (<http://git-forestryblog.blogspot.com/2008/09/eucalyptus-global-map-2008-cultivated.html>). Consultado: 20-II-2019.

Jacobsen A. L., Ewers F. W, Brandon Pratt R., Paddock W. A. III, Davis S. D., 2005. Do Xylem Fibers Affect Vessel Cavitation Resistance? *Plant Physiologist* Vol. 139: 546–556.

Lens F., Sperry S., Chrisman M., Choat B., Rabaey D., Jansen S., 2010. Testing hypotheses that link Wood anatomy to cavitation resistance and hydraulic conductivity in the genus *Acer*. *New Phytologist* vol. 190: 709–723.

Larocca F., Dalla Tea F., Aparicio J., L. 2004. Técnicas de implantación y manejo de *Eucalyptus grandis* para pequeños y medianos forestadores en Entre Ríos y Corrientes.

Luo J., Roger A., Wahhong L., Yan L., 2014. Genetic variation in *Eucalyptus camaldulensis* and *E. tereticornis* for early growth and susceptibility to the gallwasp *Leptocybe invasa* in China. *Euphytica* 196 (3): 397–411.

Mangieri H. R.; Dimitri M., J. 1961. Los eucaliptos en la silvicultura. Edit. ACME, Buenos Aires.

Marcó, M. A. y Harrant L., 2005. Valor potencial de los Eucaliptos colorados en combinaciones híbridas - I Jornada sobre potencialidad foresto industrial del Eucalipto en Santiago del Estero.

Mastrandrea C., y Alberti S., 2009. Características de las trozas de *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex Maiden) y su relación con el rendimiento de aserrado. XIII Congreso Forestal Mundial 2009. Buenos Aires, Argentina. 3 p.

Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca- Dirección de Producción Forestal, 2015. Plantaciones Forestales y Gestión Sostenible. 24 p.

Niklas K. J., 1992. Plant Biomechanics: An Engineering Approach to Plant Form and Function. 607 p. Chicago.

Oberschelp, G.P.J., Guarnaschelli, A.B., Margarit, E., Podestá, F., Tesón, N.

Ogasa M., Naoko H. M., Yuki M., y Yoshikawa K., 2012. Recovery performance in xylem hydraulic conductivity is correlated with cavitation resistance for temperate deciduous tree species. *Tree Physiology* 33, 335–344.

Oberschelp, G.P.J 2019. Presentan clones de eucalipto con mayor potencial productivo. Disponible en <https://intainforma.inta.gob.ar/presentan-clones-de-eucalipto-con-mayor-potencial-productivo/>.

- Pastorini G.N., Bianchi E.G., Harrand L., 2016.** Evaluación de la tolerancia a estrés por temperaturas de congelación en tres especies de Eucalyptus: primeros resultados. VII Reunión GEMFO, San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina. 4 p.
- Ramos S., De Ruyver R., Gattinoni N., Garin R., Garran S., 2018.** Síntesis Agrometeorológica INTA Concordia.
- Salto C. S., 2008.** Variación genética en progenies de polinización abierta de Eucalyptus tereticornis Smith. 46 p.
- Sánchez Acosta M., 2006.** Productos sólidos a partir de eucaliptos cultivados. Bol. Inf. CIDEU 2: 103-117.
- Scholz A., Jansen S., Klepsh M., Karimi Z., 2013.** How to quantify conduits in wood? *Front. Plant Sci.* 4:56.
- Surenciski M., Teson N., Fernandez M. E., 2013.** Cuantificación de la respuesta al estrés por frío en especies e híbridos de Eucalyptus. XV Congreso Latinoamericano, XXX Reunión Argentina de Fisiología Vegetal. Mar del Plata, 21-24 de septiembre de 2014.
- Tyree M. T, Sperry S., 1989.** Vulnerability of Xylem to Cavitation and Embolism. *Phys. Mol. Bio.* 140:19-38.
- Von Arx G., Crivellaro A., Prendin L. A., Cufar, K., Carrer M., 2016:** Quantitative Wood Anatomy – Practical Guidelines. *Front. Plant Sci.* 7:781.
- Zanne E. A., Westoby M., Falster D.S., Ackerly D. D., Loarie S. R., Arnold S. E. y Coomes D. A., 2010.** Angiosperm Wood structure: global patterns in vessel anatomy and their relation to Wood density and potential conductivity. *American Journal of Botany* 7 (2): 207–215.