



Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales

Universidad Nacional de La Plata

Trabajo Final de Carrera de Ingeniería Forestal

PRUNELL, Yamila Mailen

Legajo: 27252/4

Correo electrónico: yprunell@gmail.com



**Caracterización morfológica de individuos jóvenes de especies e híbridos de
Eucalyptus spp.: sus implicancias en el manejo forestal**

Modalidad: Investigación en el campo de las Ciencias Agrarias y Forestales

Directora: Dra. Corina Graciano

Co-directora: Dra. Ing. Agr. Natalia Tesón

Fecha de entrega: 15 de noviembre de 2019

ÍNDICE

RESUMEN.....	3
INTRODUCCIÓN	4
Distribución geográfica del género	4
Descubrimiento y colección.....	5
Introducción en Argentina.....	5
Tendencia de la forestación con eucalipto en la Mesopotamia	6
Descripción de las especies puras de Eucalyptus spp con las que se trabajará	8
Etapas del mejoramiento genético de Eucalyptus.	12
Programa de mejoramiento genético de Eucalyptus del INTA	16
OBJETIVO	19
HIPÓTESIS.....	19
MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
RESULTADOS	26
DISCUSIÓN.....	33
CONCLUSIÓN.....	36
BIBLIOGRAFÍA	36

RESUMEN

Los parámetros de forma definen la calidad del árbol y la genética forestal busca trabajar en ellos para obtener mayor rendimiento para un destino determinado. El objetivo de este Trabajo Final es evaluar las características morfológicas de 5 materiales genéticos de *Eucalyptus* e inferir sus implicancias para el manejo forestal. El estudio se realizó en un ensayo demostrativo clonal de la EEA INTA Concordia de 2 años de edad. Se evaluaron 14 individuos de 5 materiales genéticos: 3 híbridos y dos materiales parentales.

En los resultados se pudo observar que los tres híbridos tuvieron mayor altura que sus padres (EC y EG); valores intermedios de DAP y volumen. El híbrido GC27 presentó el mayor valor de índice de copa y esbeltez, mientras que en forma de copa tuvo el menor valor. El híbrido GC24 tuvo valores de diámetro de copa intermedios respecto a ambos padres, mientras que los híbridos GC27 y GT44 tienen diámetro de copa similar a EG. En área foliar total, GC24 se diferenció de GC27 y GT44 por presentar mayor valor.

Los materiales genéticos requirieron destinar diferente cantidad de materia fresca a hojas para obtener cada unidad de volumen de madera. El análisis de conglomerados indicó que el padre EC se encuentra en un grupo solo y por ende se diferencia de todos los demás materiales. EG y GC24 guardan similitud por pertenecer a un mismo grupo y por último los híbridos GT44 y GC27 son más parecidos entre sí y más diferentes a cualquiera de sus padres.

Concluimos que este análisis preliminar demuestra que existe variabilidad en las características morfológicas de materiales parentales e híbridos de *Eucalyptus*, que pueden ser utilizados en Planes de Mejoramiento genéticos para seleccionar materiales más adecuados para diferentes fines madereros y no madereros.

INTRODUCCIÓN

La República Argentina cuenta con aproximadamente 1.300.000 ha de bosque cultivado, forestadas principalmente con especies exóticas de rápido crecimiento, entre ellas coníferas (como *Pinus eliottii* Englem. “pino” y *Pinus taeda* L. “pino”, entre otras especies del mismo género), eucaliptos (como *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden y *Eucalyptus globulus* Labill., entre otras especies del mismo género) y salicáceas (clones de *Populus deltoides* W. Bartram ex Marshall “álamo” y *Salix babylonica* var *sacramenta* L. “sauce americano”, entre otras especies de los mismos géneros). Alrededor del 80% de dicha superficie se concentra en la Región Mesopotámica, la cual abarca las provincias de Misiones, Corrientes y Entre Ríos. Esta última ocupa el tercer lugar en cuanto a superficie de plantaciones forestales a nivel nacional, con aproximadamente 150.000 ha de las cuales el 75% corresponden a eucaliptos (Secretaría de Agroindustria, 2019). La principal especie cultivada es *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden “eucalipto” y en sitios no aptos para la misma se emplean *Eucalyptus dunnii* Maiden “eucalipto”, *Eucalyptus saligna* Sm. “eucalipto”, *Pinus eliottii* Englem. “pino” y *Pinus taeda* L. “pino”. Las plantaciones con *E. grandis* se concentran en las terrazas del Río Uruguay, en una franja de 20 km paralela a la costa de dicho río, desde Concordia hacia el norte de la provincia (Entre Ríos Forestal, 2019).

Distribución geográfica del género

El género *Eucalyptus*, con más de 700 especies y variedades, es casi exclusivo de Australia, pues sólo unas pocas especies son indígenas de las islas al norte de Australia. Debido a la gran diversidad de especies que crecen en Australia, se asume que el género ha tenido en este lugar su centro de desarrollo y evolución y que en el pasado, los progenitores de los eucaliptos estuvieron allí y dieron origen a una gran cantidad de especies adaptadas a cada nicho de su variada geografía (SAGyP, 1995).

Descubrimiento y colección

Los primeros ejemplares de eucaliptos fueron coleccionados en 1770 por Joseph Banks y Daniel Solander. La fauna y flora de Australia tienen características únicas porque evolucionaron aisladas del resto del mundo y por ello sorprende su fauna con abundancia de marsupiales, y su flora donde los eucaliptos aparecen como elemento dominante de la vegetación boscosa y arbustiva. El comportamiento de los eucaliptos como especie, población o individuo sigue patrones propios, por lo que el estudio de su biología es fundamental para todo proyecto de forestación o mejoramiento genético (SAGyP, 1995).

Introducción en Argentina

El eucalipto en la Argentina fue introducido en 1857 por Domingo F. Sarmiento, con semillas de *E. globulus* que hizo sembrar en estancias y campos de la provincia de Buenos Aires, entre los que se destacó el establecimiento San Juan, cerca de la ciudad de La Plata, perteneciente al Sr. Leonardo Pereyra Iraola. En nuestro país la forestación con eucaliptos acompañó el desarrollo de los grandes establecimientos agrícolas, donde se lo plantó como cortina rompeviento y para protección de vivienda, siguiendo luego la ornamentación de parques y plazas (SAGyP, 1995).

La introducción de los eucaliptos en la región Mesopotámica reconoce principalmente dos vías: en Misiones desde Brasil y en Entre Ríos desde Australia. Las primeras plantaciones industriales realizadas en la provincia de Misiones con eucaliptos datan de 1946 en propiedad de Celulosa Argentina S.A. Las especies utilizadas fueron principalmente *E. grandis*, *E. saligna* y *E. urophylla*, provenientes de Río Claro, San Pablo, Brasil. El material genético plantado en general fue muy dispar reconociendo principalmente un origen híbrido natural. Han pasado casi 75 años y sin embargo el cultivo de los eucaliptos en Misiones no se ha difundido en la magnitud que sí ha sucedido con el de los pinos, que cubre cerca de 350000 ha. La superficie cultivada con eucaliptos en Misiones fue de 40902 ha para el año 2015, mientras que en las provincias de Corrientes y Entre Ríos la superficie plantada fue de 121857 ha para el mismo año y 112785 ha en el año 2016 (Secretaría de Agroindustria, 2019).

En la iniciación de la actividad forestal fueron importantes las decisiones tomadas por los primeros productores. La falta de una experimentación previa sobre especies, manejo y

usos, llevó este primer gran esfuerzo a que los resultados no fueran los esperados. Más adelante, algunos de los productores de eucalipto cambiaron hacia una visión empresarial de la producción (SAGyP, 1995). Posteriormente, la Administración de Bosques introdujo especies y fomentó la forestación a través de una red de Estaciones Forestales en todo el país. Más adelante el trabajo de empresas foresto-industriales, instituciones tales como el INTA y el IFONA y organizaciones como el CIEF y Consorcios Forestales, contribuyeron a la experimentación con nuevas especies y orígenes de semilla, la que junto al avance logrado en la selección y preparación de sitios, la implantación y el empleo de prácticas culturales y manejo intensivo, han contribuido significativamente al desarrollo tecnológico que es factible observar en muchas plantaciones de la región Mesopotámica (SAGyP, 1995).

Tendencia de la forestación con eucalipto en la Mesopotamia

La plantación con *Eucalyptus grandis* en la Mesopotamia se inició en la década del 50 alcanzando gran difusión a partir de 1970; entre este año y 1975 se produjo la mayor expansión del área plantada, que luego se estabilizó, para decaer en la década del 80. La actividad forestal se había iniciado en la región en base a otras especies, especialmente pinos, pero los buenos resultados logrados con *Eucalyptus grandis* hicieron que en algunas áreas de Entre Ríos y Corrientes los productores dieran preferencia a esta especie. El desarrollo de la actividad estuvo muy ligado a las facilidades otorgadas por el estado, y el mayor desarrollo se logró cuando se utilizó como incentivo un sistema de créditos a bajo interés unido a una desgravación impositiva. También jugaron un rol importante en la realización de nuevas plantaciones las expectativas sobre el resultado de la inversión, tomándose como indicadores la demanda y los precios pagados por el mercado. En la década del 80 se pensó que el mercado de *E. grandis* se iba a saturar. En ese momento la base de la demanda estaba constituida por las industrias de la construcción y la cajonería. Hacia fines de la década, la exportación de rollizos para celulosa de *E. grandis* y *E. globulus* determinó un fuerte incremento en la demanda y la consecuente mejora de los precios. En los años siguientes el número de hectáreas cosechadas superó sensiblemente al de las plantadas. En la provincia de Entre Ríos el promedio de hectáreas cortadas durante el quinquenio 1988- 1992 fue de alrededor de 5400 hectáreas por año mientras el promedio de plantación fue ligeramente superior a 1000 hectáreas por año (SAGyP, 1995).

El crecimiento de las forestaciones en la Mesopotamia no fue ordenado. En algunas regiones se hicieron plantaciones alejadas de los centros de consumo que en algunos casos hacen poco redituable su aprovechamiento. Desde la década de 1990 se realizaron plantaciones por parte de grandes empresas de capitales extranjeros, que enfocaron la actividad con un criterio estrictamente de "empresarios forestales". Las principales industrias se hallan localizadas en el noreste de Entre Ríos, Corrientes y en la costa del río Paraná en Misiones. En la región Mesopotámica, las principales áreas de cultivo con especies de eucaliptos de rápido crecimiento (Ej. *E. grandis*) se ubican en casi todo el litoral del río Uruguay y Paraná en las provincias de Entre Ríos y Corrientes y en menor medida en el litoral del río Paraná, provincia de Misiones. Mientras que las correspondientes a especies de menor crecimiento (Ej. *E. tereticornis* y *E. camaldulensis*), se localizan más en el interior de las provincias de Entre Ríos y Corrientes. La especie más plantada es sin lugar a dudas *E. grandis* con una superficie de cultivo de unas 130000 ha aproximadamente. La especie crece muy bien en un variado rango de condiciones edáficas y climáticas, exceptuando aquellas con drenaje deficiente y ocurrencia de heladas. Su madera es apta para múltiples usos (aserrado, laminado, aglomerado, pulpa, postes cortos y largos, tijeras, varas, rodrigones, etc.). Además, en base a los requerimientos de las especies, existe la potencialidad para plantar muchas otras especies como por ejemplo: *E. dunnii*, *E. saligna*, *E. bohyoides*, *E. robusta*, *E. pilularis*, *E. maculata*, *E. urophylla*, *E. cloeziana*, *E. badjensis*, *E. globulus maidenii*, *E. camaldulensis*, *E. tereticornis* y *E. sideroxydon*. Esto es sin dejar de mencionar las grandes posibilidades que ofrecen los híbridos interespecíficos, tales como: *E. grandis* x *E. camaldulensis*, *E. grandis* x *E. tereticornis*, *E. grandis* x *E. globulus*, *E. grandis* x *E. dunnii*, *E. grandis* x *E. nitens*, etc. Estos logran combinar caracteres deseables de ambas especies y muchas veces manifiestan vigor híbrido (SAGyP, 1995).

Dependiendo de la especie, turno y manejo realizado de la plantación el destino de la madera puede ser la transformación mecánica o química. Las especies del género se caracterizan por poseer:

- Rápido crecimiento en general y turnos relativamente cortos que, dependiendo de la especie, el objetivo de la plantación y la calidad del sitio seleccionado, pueden variar entre 6 – 15 años (Martínez, 2015).

- Silvicultura conocida, experiencia nacional e internacional, y disponibilidad de técnicos capacitados e información disponible, productos de investigación realizada en el pasado (Martínez, 2015).
- Existencia de incentivos y la posibilidad de acceder a créditos para el establecimiento y manejo (Martínez, 2015).
- Buena calidad de madera y adaptación a las condiciones de crecimiento de la Mesopotamia argentina (Harrand et al 2017).

La descripción de la arquitectura de los árboles a través de diferentes parámetros morfométricos nos permite caracterizar individuos y rodales, y utilizar esta información para la toma de decisiones en el manejo silvicultural (distanciamiento, podas, raleos, etc). En general los programas de mejoramiento se centran en productividad, rectitud de fuste y sanidad. Los clones comerciales, híbridos entre especies o puros, presentan diferencias importantes en su morfología lo cual justifica su caracterización para el manejo adecuado de cada clon (Arias, 2005).

Descripción de las especies puras de *Eucalyptus* spp con las que se trabajará

Eucalyptus camaldulensis (E. colorado):

Distribución natural: Es el eucalipto de más amplia distribución, encontrándose en casi toda el sector continental de Australia. La especie crece en una variedad de condiciones climáticas que van de las cálidas a calientes, de las subhúmedas a las semiáridas y áreas donde se registran heladas. Las precipitaciones varían de los 250 a 600 mm con algunas zonas donde se registran 1250 mm y otras con 150 mm. En las áreas con bajas precipitaciones la especie se desarrolla gracias a la ocurrencia de inundaciones estacionales o debido a la presencia de una napa freática alta. Crece típicamente sobre suelos arenosos aluviales.

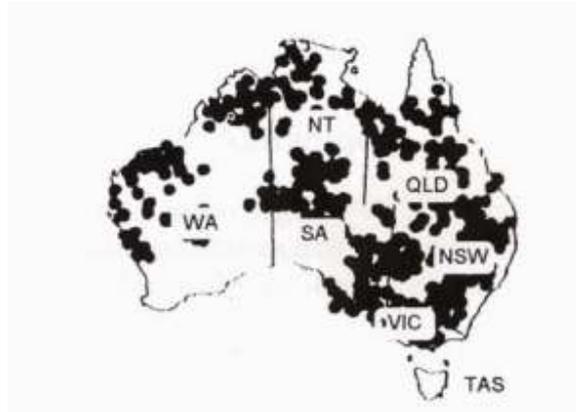


Figura 1: Área geográfica de distribución natural de *E. camaldulensis* (fuente: SAGyP, 1995).

Es quizás el eucalipto de mayor adaptabilidad cultivado en Argentina. Las razones de su uso generalizado son: crecimiento rápido aun en condiciones adversas, facilidad de asociarse con cultivos debido al tipo de copa; utilidad en la formación de cortinas rompe viento y cercos vivos y la calidad de la madera. Se trata de una especie perenne de 20-40 m de altura total, fuste grueso de base recta y tronco generalmente torcido, de 60 cm a 1 m de DAP (diámetro a 1,30m) con copa abierta e irregular, corteza liza, blanca, ligeramente grisácea, desprendible en tiras largas o placas irregulares que exponen capas internas de corteza blanquecina. En suelos sueltos forma un sistema radical profundo y bastante amplio. Tiene importancia en las provincias de Buenos Aires, Santa Fe y, fundamentalmente, Jujuy (Ballesteros et al, 2006).

Se lo clasifica como eucalipto de "régimen templado cálido" (Curso de silvicultura, 2015); adaptado a regímenes de precipitaciones relativamente amplios (400 mm anuales o más, tolerante a extremos hídricos como sequía y anegamiento); es más tolerante a las heladas que *E. grandis*; posee mayores rendimientos en suelos fértiles, francos y profundos, neutros y sin salinidad, pero tolera hasta ciertos límites diversas texturas, anegamientos temporarios, fuego, sodicidad y salinidad; posee una forma forestal buena a regular dependiendo de la genética empleada; admite tanto regímenes de fustal (plantaciones reproducidas por semilla o plantín) como de tallar (plantaciones reproducidas por rebrote). Su madera es apta para diversos usos como triturado para tableros de partículas, aserrado, parquet, leña, postes, tutores, producción de carbón.

Eucalyptus tereticornis:

Distribución natural: Se lo encuentra desde la costa sudeste de Victoria hasta el sur de Papua, New Guinea. En Australia cubre un rango latitudinal que va de los 15 a 18° S. Esta distribución cubre una amplia gama de condiciones climáticas con precipitaciones que varían de los 650 mm a más de 3000 mm anuales y algunas zonas del interior donde se registran heladas. La especie crece sobre suelos aluviales ricos y también arenosos (SAGyP, 1995).



Figura 2: Área geográfica de distribución natural de *E. tereticornis* en Australia (Fuente: SAGyP, 1995).

Luego de *E. camaldulensis* es el eucalipto más plantado y difundido en Argentina. Siendo una especie de mediano a gran porte, de aspecto piramidal, tronco derecho y copa bastante densa. Su corteza es lisa caediza, de color blanquecino o grisáceo. La madera es de color rojo con albura amarillenta, pesada y dura, difícil de aserrar y cortar en estado seco. Posee textura uniforme y fibra entrecruzada, muy similar a la de *E. camaldulensis*. Es apta para diversos usos como ser triturado para tableros de partículas, aserrado para parquet, y leña, dando un excelente carbón (SINAVIMO, 2018).

Se lo clasifica como eucalipto de "régimen templado cálido" (Curso de silvicultura, 2015); supera a *E. camaldulensis* en rendimientos y en forma forestal, aunque tiene menor adaptabilidad; prospera bajo regímenes de precipitaciones relativamente amplios (500 mm anuales o más), tolerante a sequía; más tolerante a las heladas que *E. grandis*; menos tolerante a anegamientos que *E. camaldulensis*. Posee mayores rendimientos en suelos fértiles, francos y profundos, neutros y sin salinidad y admite tanto regímenes de fustal como de tallar.

Las mejores condiciones para su cultivo se dan en Entre Ríos, Corrientes, Santa Fe y Córdoba. Existen plantaciones que manifiestan buenos crecimientos en Santiago del Estero y en Jujuy. Otras zonas de cultivo son Misiones, Salta, Tucumán, Chaco y Formosa (SINAVIMO, 2018).

Eucalyptus grandis (Eucalipto):

Su principal área de ocurrencia natural es entre Newcastle, New South Wales (NSW) y Bundaberg en Queensland (QLD), donde el clima es predominantemente cálido y húmedo con ausencia de heladas en las áreas costeras y con heladas en los sitios de mayor altitud alejados de la costa. Las precipitaciones varían entre los 1000 a 3500 mm con máximos en verano, particularmente en el centro y noreste de QLD. La especie crece sobre suelos húmedos de origen aluvial o volcánico, profundo y bien drenado (SAGyP, 1995).



Figura 3: Área geográfica de distribución natural de *E. grandis* en Australia (Fuente SAGyP, 1995).

E. grandis es una especie de gran porte y tronco recto, presenta una copa bien abierta y bastante rala. Puede alcanzar los 50 metros de altura total. La corteza normalmente persistente en la base hasta una altura de 1-2 m, color gris claro y fibrosa. Posee una madera liviana de color rosado claro con grano derecho y una densidad de 0,4-0,6 kg/dm³. Es fácil de trabajar, por lo tanto los usos son diversos; entre ellos se destacan pasta celulósica, tableros tanto de fibra como de partículas, aserrado para tablas y

tirantes, laminado y postes. A esta especie se la cultiva en la franja arenosa del Río Uruguay, desde Concordia hacia el norte, y en las provincias de Corrientes, Misiones, Tucumán, Jujuy y Salta (SINAVIMO, 2018).

E. grandis, constituye hoy la principal latifoliada cultivada comercialmente en Argentina. Combina adecuadamente la rapidez de crecimiento con una muy buena forma forestal y su madera es apta para una variedad de usos industriales. La especie muestra además una muy buena adaptabilidad a las condiciones ecológicas generales imperantes en la región mesopotámica (Harrand et al 2017). Es clasificado como eucalipto de "régimen subtropical" (Curso de silvicultura, 2015), de climas cálidos y húmedos; está adaptado a regímenes de precipitaciones de 1000 mm anuales o más; es muy sensible a las heladas, sobre todo en plantaciones jóvenes; presenta mayores rendimientos en suelos fértiles y profundos, ligeramente ácidos y sin salinidad y admite tanto regímenes de fustal como de tallar.

Etapas del mejoramiento genético de Eucalyptus.

En el curso de siglos el hombre ha mejorado mucho sus plantas de cultivo seleccionando los mejores individuos para fuente de semillas con destino a la sucesiva cosecha, multiplicándolos vegetativamente o produciendo nuevas variedades por medio de cruzamientos controlados. En los últimos 20 años se han emprendido, siguiendo las mismas orientaciones, muchos programas de mejoramiento de árboles. El conocimiento y la experiencia acumulados durante estos años proporcionan una buena base para planear nuevos programas y orientar correctamente los ya establecidos (Pryor, L.D. 1981).

Se pueden definir algunas etapas en un programa de mejoramiento genético de los árboles. El primer paso en la planificación es determinar qué tipos de productos tendrán más demanda cuando los árboles sean adultos y los objetivos futuros de la ordenación forestal. Estos factores determinarán al final las especies a emplear y la estrategia a seguir en materia de mejora genética (Pryor, L.D. 1981).

Etapas 1: selección de especies y de procedencias

Se ha reconocido en general la importancia de usar una procedencia apropiada en cuanto a la similitud de las condiciones climáticas y edáficas como punto de partida para la mejora genética. El éxito de una transferencia radica en comparar el ambiente de la especie o procedencia donadora con aquel donde se establecerá la plantación. La adaptabilidad para la supervivencia, el crecimiento y las propiedades de la madera son los puntos esenciales que deben observarse cuando se pretenda seleccionar un material adecuado para cultivarlo en un país receptor (Zobel y Talbert, 1988).

Por lo tanto es necesario evaluar las diferentes procedencias de cada especie. Sin embargo, las evaluaciones en bosques nativos en los lugares de procedencia no se pueden extrapolar directamente a otros sitios donde los genotipos pueden ser plantados. Debe también tenerse cuidado cuando se aplican los resultados de plantaciones de eucaliptos de un país o de una región a otra, especialmente porque las especies introducidas tienden a tener un comportamiento menos previsible que las especies nativas. Es indispensable repetir los experimentos en varios sitios representativos para determinar las mejores especies y las mejores fuentes de semillas para una determinada localidad (Pryor, L.D. 1981).

Etapa 2: selección y ordenación de los rodales semilleros

La recolección de semilla de los rodales superiores a la media, que han sido raleados temprano para eliminar los fenotipos inferiores y estimular el desarrollo de copas anchas capaces de dar una gran producción de semillas, es, a menudo, la mejor y más rápida medida transitoria para la obtención de grandes cantidades de semilla de eucalipto con relativo mejoramiento genético para atender las necesidades inmediatas. Uno de los criterios más importantes para los rodales semilleros de eucaliptos es que se conozca el origen del rodal, para evitar cosechar semillas de individuos con alta consanguinidad. Si se desconoce el origen de la semilla que dio origen a las plantaciones se corre el riesgo de poseer una reducida base genética, o de que haya una elevada proporción de híbridos; que son especialmente comunes en los rodales formados a partir de semilla de plantaciones exóticas (Pryor, L.D. 1981).

Etapa 3: selección individual

Es el único método que puede utilizarse para seleccionar los árboles en rodales donde se desconocen los progenitores. Para obtener los mejores resultados debe utilizarse en rodales que posean una gran proporción de buenos árboles ya que se basa únicamente en el fenotipo del árbol. Es un hecho reconocido que el empleo de semilla de árboles fenotípicamente superiores ha producido notables mejoramientos en los eucaliptos, pero de todos modos este método debe ir seguido de una prueba de progenie para determinar si el árbol seleccionado es en realidad genéticamente superior y esto es especialmente necesario en el caso de características con baja heredabilidad como las relacionadas con el crecimiento y para aquellas que muestran una alta heredabilidad y grandes cantidades de variación (Zobel y Talbert, 1988).

Etapa 4a: pruebas de progenie y clonales

Las pruebas de progenie para determinar el valor genético de los progenitores se inician al momento o poco después de establecer el huerto con los mejores fenotipos y una vez que se cuenta con los datos de la progenie, el huerto puede entonces depurarse de los progenitores indeseables. Durante el periodo de prueba que dura de 10 a 20 años, el huerto produce semilla para plantación que es considerablemente mejor que la semilla silvestre, aunque no es tan buena como la obtenida de progenitores ya probados genéticamente (Zobel y Talbert, 1988). Hay motivos para esperar que pueda obtenerse un beneficio genético por medio de la selección masal (método de mejora que implica una selección visual únicamente de diferencias fenotípicas entre individuos) especialmente si se combina la selección de familia y de individuo (por ejemplo, seleccionando solamente los mejores individuos de las familias superiores a la media (Pryor, 1981).

Etapa 4b: establecimiento de huertos semilleros

Tipos de huertos: Huertos semilleros de plántulas: Los huertos semilleros de plántulas se establecen generalmente con semilla de árboles plus de polinización libre, entendiendo como árbol plus aquel que se manifiesta fenotípicamente superior al resto de los individuos en una o varias características deseables, sin embargo, no se ha probado su valor genético. Estos huertos pueden establecerse en forma relativamente fácil, y se adaptan a la mayoría de las especies de eucaliptos. La depuración en los huertos puede

hacerse luego conforme a la información derivada de los ensayos de progenie, lo que debería aumentar notablemente los beneficios genéticos a obtener.

Huertos semilleros clonales: Resulta de interés para aquellas especies que presentan regularmente una elevada proporción de incompatibilidad patrón/púa. Uno de los defectos básicos en el proyecto de varios huertos semilleros establecidos para eucaliptos es la cantidad relativamente pequeña de clones incluidos (generalmente 10-30 clones, o menos). Los huertos de producción deberían contener, inicialmente, por lo menos 50 clones, lo que permitirá la eliminación del 50% de los mismos en base a los resultados de la prueba de progenie y en función de los datos de floración, dejando aún una base genética suficientemente amplia para la producción de semilla. Si bien una cantidad final de sólo 25 clones puede ser aceptable para producir semilla para las plantaciones, no es suficiente para fines de selección genética. Una selección muy rigurosa reduce la variabilidad genética y, por lo tanto, la ganancia genética que se podrá obtener por selección sucesiva, al mismo tiempo que aumenta los riesgos de parentesco. Este conflicto intrínseco entre los beneficios a corto y a largo plazo puede ser en parte superado manteniendo separadas las poblaciones productoras de semillas de las poblaciones de reproducción (Pryor, 1981).

Caracteres especiales que afectan al establecimiento y gestión de los huertos de semillas de eucalipto: Las flores de los eucaliptos son polinizadas por los insectos, pájaros y otros vectores del polen. Se han señalado solamente pocos casos de polinización por el viento. La distancia mínima de seguridad entre un huerto semillero y otro rodal con el cual podría fácilmente cruzarse depende, por lo tanto, de la distancia que el vector recorre para efectuar la polinización. Parece que la distancia de 2 km es suficientemente amplia para aislar un huerto semillero de eucalipto. Una forma adicional eficaz de aislar las áreas productoras de semillas es circundarlas con otras especies de eucaliptos con las que no se hibriden. A fin de obtener los beneficios que se esperan de una producción masiva de semillas de los huertos semilleros, es esencial reducir al mínimo la consanguinidad en el huerto. En todos los casos estudiados se ha constatado que los efectos de parentesco son negativos, y provocan una decreciente producción de semilla, deformaciones de las hojas y tallos, y una reducción importante de vigor. Para evitar esta problemática y facilitar el cruzamiento al azar, es esencial que el huerto semillero esté constituido por clones que tengan la misma época de floración (Pryor, 1981).

Etapa 5a: cruzamiento controlado

Las flores de los eucalipto son bisexuales es por ello que para llevar adelante un cruzamiento controlado, en general se eliminan los estambres. Por ello los cruzamientos a gran escala son difíciles y costosos, sumado a que conducen a una mayor caída de las flores. La lejanía de las flores del suelo y del tronco principal del árbol, como también el tamaño reducido de las yemas florales, hacen que los cruzamientos artificiales sean casi imposibles de realizar sobre el árbol por ende son necesarios los huertos clonales de cruzamiento, creados para la multiplicación vegetativa. Se han efectuado cruzamientos controlados principalmente para crear híbridos de procedencia vigorosa y aparte de poner en evidencia un crecimiento vigoroso, estos cruzamientos reunirán algunas veces en un solo individuo los caracteres deseables de las dos especies progenitora (Pryor, 1981).

Etapa 5b: producción masiva de material mejorado por multiplicación vegetativa

La producción de estacas de eucaliptos facilita la formación, en escala comercial, de clones a partir de individuos genéticamente mejorados, o deseables por otros motivos. Se hace una intensa selección fenotípica, tanto en las plantaciones como en las poblaciones creadas por polinización libre o controlada, se generan clones con los individuos selectos y probados, y se observa su capacidad de enraizamiento. La producción masiva de estacas se obtiene generalmente de brotes adventicios o epicórmicos. Los resultados muestran que se obtienen los mejores resultados, tanto en cantidad como en calidad, cuando se emplean plantas de 3 a 5 años de edad (Pryor, 1981).

Programa de mejoramiento genético de Eucalyptus del INTA

El programa de mejoramiento genético de eucalipto desarrollado por el INTA para la Mesopotamia Argentina tiene como objetivo general contribuir a mejorar las características deseables de las plantaciones de eucaliptos, a través de la selección de genotipos superiores en adaptabilidad, sanidad y atributos de crecimiento y aptitud, que generen productos de alto valor, y de este modo proveer a los productores de semillas y clones de alta calidad genética (López et al, 2012) cuando el destino de la madera es la

industria del aserrado y se busca obtener un producto final de calidad, sin nudos y de unas dimensiones específicas. Para este caso es primordial que el árbol cuente con buena rectitud del fuste, pocas ramas, poca conicidad (fuste cilíndrico), menor tensión de crecimiento, entre otras, que permitan una mayor eficiencia en el aserrado, madera de calidad con mayor cantidad de usos (construcción, muebles, embalajes) y ser más aceptada en el mercado. En cambio cuando el destino es la industria celulósica las características mencionadas anteriormente no se tienen en cuenta, ya que la madera será triturada y, a través de un conjunto de procesos, se convertirá en diversos productos tales como: pasta o pulpa (mecánica, quimimecánica o química); papel (impresión, escritura, absorbentes, periódico, especiales); cartón (envoltura y empaque, industrial) (Monteoliva, 2009).

La forma del fuste contribuyen a definir la calidad del árbol y la genética forestal busca trabajar en ella para obtener mayor rendimiento. Si bien el eucalipto presenta características que lo ubican en una posición de privilegio frente a otras especies de aptitud forestal, los cambios de mercado, las amenazas recientes 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. Por otro lado, la posibilidad de contar con material de mayor homogeneidad, tanto en plantaciones como en los productos de la misma, permite una mayor eficiencia en las prácticas de manejo silvícola y en los procesos industriales (Harrand et al, 2017).

Desde principios de la década del '90, en INTA EEA Concordia (como también en otras estaciones experimentales) se han seleccionado individuos de *Eucalyptus*, para su utilización en diferentes propósitos del Programa de Mejoramiento Genético Forestal. Se ha realizado selección hasta el nivel de clon. Un clon puede definirse como un conjunto de individuos con constitución genética idéntica a nivel de ADN, y es la acción conjunta de este código genético más el ambiente lo que define el comportamiento de estos individuos (fenotipo). La utilización de clones posibilita aumentar la producción, pero sobre todo permite obtener plantaciones más homogéneas, tanto desde el punto de vista del crecimiento de estas plantaciones, como de los productos que se generen a partir de ellas. Para que las plantas expresen al máximo su potencialidad y de esta manera

aumentar la rentabilidad, deben darse a las plantaciones los cuidados culturales adecuados. Este punto es especialmente importante en plantaciones clonales, ya que el costo de los plantines clonales es superior a los que proceden de semilla. La utilización de clones también aumenta ciertos riesgos, dado que la mayor homogeneidad genética puede volver más susceptible la plantación a problemas sanitarios o de clima (como las heladas) por lo que el productor debe tener presente estos riesgos y tomar medidas que los disminuyan, como lo es la utilización de diferentes clones dentro del mismo predio (Harrand et al, 2017).

Ha tenido una gran evolución desde sus inicios la propagación vegetativa de eucaliptos y esto generó variedad de técnicas de producción de plantines clonales. Si bien la tendencia es hacia un aumento de la eficiencia y de la intensificación del manejo, cada una de ellas tiene sus particularidades que pueden ajustarse a determinadas condiciones de producción. En este sentido, es importante conocer las bases genéticas y fisiológicas de la silvicultura clonal, así como las diversas tecnologías disponibles, para poder realizar una correcta toma de decisiones (Harrand et al, 2017).

En todos los casos contar con plantas genéticamente mejoradas es siempre una buena inversión, debido simplemente a que ellas crecen mejor que las no mejoradas, realizando además la calidad del producto final (por ej. mejor forma y calidad de madera). Es oportuno destacar que el potencial de crecimiento de los materiales mejorados está directamente vinculado al empleo de prácticas culturales intensivas, tales como el control de malezas y plagas, la fertilización, podas y raleos (SAGyP, 1995).

Mejorar la productividad de las plantaciones resulta en menor superficie requerida para producir la misma cantidad de madera. La selección de la especie está muy relacionada al uso que se le dará al producto final. En este aspecto, la mayoría de las especies del género *Eucalyptus* son muy versátiles, pudiendo emplearse para destinos y usos tan diversos como: madera aserrada, laminada, faqueada y aglomerada; pulpa y papel; postes cortos y largos; leña y carbón; miel; tanino; sombra y abrigo y sistemas agrosilvopastoriles (SAGyP, 1995).

En un ensayo en el que se evaluó un clon de *E. grandis* (EG) y un híbrido con *E. camaldulensis* (GC) se observó que el clon híbrido GC presenta en general valores más bajos de área foliar que el clon de EG. El híbrido logra crecimientos similares o mayores al

EG con valores menores del IAF, lo que manifiesta una mayor eficiencia de crecimiento (García et al, 2017).

Las diferencias que se observan entre los materiales genéticos de *Eucalyptus spp.* utilizados comercialmente en el NE de Entre Ríos y Sur de Corrientes justifican el estudio detallado de cada uno. Esta información contribuirá a tomar decisiones al momento de establecer las plantaciones y las prácticas de manejo a desarrollar a lo largo del ciclo del cultivo.

OBJETIVO

Evaluar las características morfológicas de 5 materiales genéticos de *Eucalyptus* e inferir sus posibles implicancias en el destino de la madera.

HIPÓTESIS

La variabilidad genética se reflejará en características diferenciales en la arquitectura de la planta, que podrán resultar en diferentes aptitudes según el producto buscado.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en la Estación Experimental Agropecuaria del INTA Concordia, Entre Ríos, ubicado en la Estación Yuquerí, Ruta provincial 22 y vías del Ferrocarril (-31.373277, -58.116014). El INTA es un organismo público descentralizado con autarquía operativa y financiera, que se encuentra bajo la órbita del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. La EEA Concordia cuenta con una superficie total de 600 hectáreas.



Figura 4: Ubicación del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Concordia (imagen superior). Ubicación del ensayo clonal dentro del INTA Concordia (imagen inferior).

El estudio se realizó en una parcela demostrativa clonal de la EEA INTA Concordia, de 2 años de edad. Se evaluaron 14 individuos de los siguientes materiales genéticos:

- *E. camaldulensis* (semilla obtenida del Huerto Semillero INTA Famaillá)
- *E. grandis* x *E. camaldulensis* INTA-24
- *E. grandis* x *E. tereticornis* INTA-44
- *E. grandis* INTA-36
- *E. grandis* x *camaldulensis* INTA-27

La parcela consistió en 8 filas de 14 árboles cada fila. Todos los individuos de cada fila corresponden a un genotipo. Tres genotipos no fueron incluidos en este trabajo. El suelo en la parcela era homogéneo, sin pendiente.

El marco de plantación fue de 3 m x 2 m. Para el estudio se analizaron tres árboles por material genético, excepto para el híbrido GC INTA 24 del que se muestrearon 2 individuos, porque por problemas de logística se perdieron los datos del tercer individuo de ese clon. Los árboles se seleccionaron al azar a partir de la tercera fila para evitar el efecto borde. Se marcaron con cinta y se les dio una nomenclatura donde las dos primeras iniciales corresponden al clon y el número entre paréntesis su posición en la fila:

EC (11)	EG INTA 36 (3)	GC INTA 24 (7)	GT INTA 44 (3)
EC (5)	EG INTA 36 (5)	GC INTA 24 (3)	GT INTA 44 (5)
EC (7)	EG INTA 36 (7)	GC INTA 27 (3)	GT INTA 44 (7)
		GC INTA 27 (6)	
		GC INTA 27 (9)	



Figura 5: Parcela demostrativa clonal de dos años de edad.

En planillas de Excel se registraron las siguientes variables.

En el árbol en pie:

- Diámetro a la altura del pecho (DAP) con calibre

- Diámetros de copa: se midieron cuatro radios este, oeste, norte y sur, se sumaron y se dividieron por 2 con cinta métrica
- Desrame natural: altura del tronco hasta las ramas, con cinta métrica
- Altura del tronco hasta las ramas con hojas verdes, con cinta métrica

En el árbol volteado:

- Largo de copa verde, con cinta métrica
- Altura total, con cinta métrica
- Diámetros de las cinco ramas primarias de cada sector: alto, medio y basal, con calibre



Figura 6: *Medición de radio Este para el cálculo de diámetro de copa (izquierda) y corte de fuste a 5 cm de diámetro (derecha).*

Las tareas antes descritas se realizaron la segunda semana de diciembre. Los árboles se separaron en los siguientes compartimentos:

Fuste: a) *Fuste hasta los 5 cm de diámetro:* se cortó en secciones de 2 m de largo y se pesó. b) *Fuste menor a 5 cm de diámetro:* se pesó.

Ramas: Para analizar la relación entre el diámetro de las ramas y el área foliar se eligieron 5 ramas principales (con diámetro y longitud medio) por sector basal, medio y alto (total 15 ramas) más el ápice. Se midió el diámetro de cada una de las ramas y se separaron aquellas con diámetro entre 1- 5 cm (ramas gruesas) y de menos de 1 cm (ramas finas). En las ramas restantes de cada sector se realizó la misma medición de manera de obtener el peso fresco total de ramas finas y gruesas.



Figura 7: *Ramas finas (Izq.), gruesas (Medio) de las cinco ramas principales de cada sector y ápice (Der.)*

Hojas: en primer lugar se cosecharon las hojas de las 5 ramas seleccionadas de cada sector (alto, medio, basal) de manera tal que a cada rama le pertenecía una bolsita de hojas. Dichas bolsas se pesaron. Luego se terminaron de cosechar las hojas que estaban en las ramas restantes de cada sector y se juntaron en un balde con las hojas de las 5 bolsitas y así se obtuvo el peso total de hojas frescas para cada sector.

Para determinar el área foliar específica (AFE), se cosecharon 20 hojas sanas y bien desarrolladas por árbol, luego en el laboratorio se escanearon, utilizando como área de referencia un rectángulo de cartón de 6x3 cm, y los valores de área foliar se obtuvieron mediante el programa CMEIAS-IT 1,28 diseñado para analizar la dimensión de objetos. De esta manera cada genotipo contó con el valor de área foliar de 20 hojas de cada sector.

Para conocer el área foliar total de hojas en cada sector de copa se realizó el siguiente cálculo:

$AF_{muestra} = AF_{20 \text{ hojas}} * PF_{muestra} / PF_{20 \text{ hojas}}$

AFT: área foliar total de cada sector (alto, medio, bajo) = $AF_{muestra} * PFT$

PFT: peso fresco total de cada sector de copa

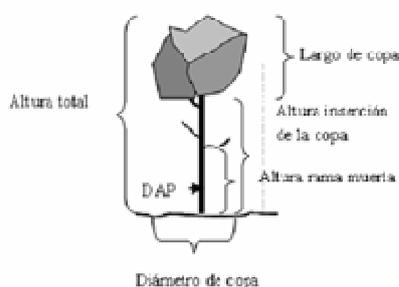


Figura 8: 1- cinco ramas principales con hojas 2- cosecha de hojas 3- cinco ramas principales de un sector con sus respectivas bolsas de hojas frescas

A partir de la información obtenida se determinó la Eficiencia de crecimiento (biomasa de madera (g)/ área foliar (m²)) para cada clon.

Se calculó el volumen de cada individuo utilizando cubicación por partes utilizando un cilindro basal con formula: $\pi \cdot r^2 \cdot h$ más dos conos truncados a 5 y 1 cm de diámetro con formula: $h \cdot \pi / 3 (r_1 + r_2^2 + r_1 \cdot r_2)$.

Se calcularon los siguientes índices de copa:



$$\text{Porcentaje de copa} = \frac{\text{Largo de copa} \times 100}{\text{Altura total}}$$

$$\text{Grado cobertura de copa} = \frac{\text{Largo de copa} \times 100}{\text{Altura total}}$$

$$\text{Índice de copa} = \frac{\text{Largo de copa} \times 100}{\text{Diámetro de copa}}$$

$$\text{Forma de copa} = \frac{\text{Diámetro de copa} \times 100}{\text{Largo de copa}}$$

$$\text{Índice de espacio vital} = \frac{\text{Diámetro de copa} \times 100}{\text{Altura total}}$$

$$\text{Manto de copa} = \frac{\text{Diámetro de copa} \times 100}{\text{Altura total}}$$

$$\text{Esbeltez} = \frac{\text{Altura total} \times 100}{\text{DAP}}$$

Figura 9: *Índices de copa. Fuente: Arias et al 2005.*

Se calculó peso ramas, peso de fuste, peso de hojas, área foliar, volumen de fuste, área basal, entre otros. Se realizaron ANOVA de cada variable, con genotipo como factor. En los casos en los que el ANOVA dio significativo ($p < 0,05$) las medias se compararon con el test de Tukey ($p < 0,05$). Letras diferentes al lado de las medias significan diferencias significativas. Para analizar de manera integrada los índices de forma, se realizó un ACP (Análisis de Componentes Principales), con genotipo como variable de clasificación. Finalmente, se realizó un Análisis de Conglomerados para conocer la similitud entre los genotipos, incluyendo en el análisis todas las variables medidas: volumen cubicado, porcentaje de copa, índice de copa, diámetro de copa, altura del tronco hasta copa viva, área foliar total, peso fresco de hojas y área foliar del sector bajo, medio y alto de la copa, altura del tronco hasta 1 cm de diámetro y hasta 5 cm de diámetro, altura de la copa, peso fresco de ramas finas y de ramas gruesas del sector bajo, medio y alto de la copa, forma de copa, peso fresco fuste con diámetro $> 5\text{cm}$ y $< 5\text{cm}$, peso de hojas /volumen de

madera, índice de espacio vital, altura total, manto de copa, diámetro medio de las ramas del sector bajo, medio y alto de la copa, peso fresco de hojas total, esbeltez, peso fresco fuste total, DAP (diámetro del fuste a 1,3 m. Las variables fueron estandarizadas, y se utilizó la distancia euclídea. Todos los análisis estadísticos se realizaron con Infostat (Di Rienzo et al. 2018).

RESULTADOS

Los tres híbridos tuvieron mayor altura que EC, mientras que sólo GC27 fue más alto que sus padres (EC y EG) (Tabla 1). En DAP, EC se diferenció de EG por tener el valor más bajo y los híbridos valores intermedios. En cuanto a volumen, PF de fuste total y PF de hojas totales no hubo diferencias significativas.

Tabla 1: Valores de altura (H), diámetro a 1,3 m (DAP), volumen cubicado (Vol.), área foliar (AF), peso fresco (PF) total de fuste y peso fresco total de hojas de los genotipos. Letras diferentes indica diferencias significativas entre las medias ($p < 0,05$).

Genotipo	H (m)		DAP (cm)		Vol. (m ³)		PF fuste total (kg)		PF hojas totales (kg)		Biomasa total (kg)	
EC	8,3	A	6,6	A	0,014	A	18,5	A	3,71	A	25,3	A
EG	9,7	AB	8,9	B	0,028	A	29,5	A	5,74	A	39,7	AB
GC24	10,2	BC	8,0	AB	0,027	A	32,8	A	5,00	A	41,8	B
GC27	11,3	C	7,9	AB	0,026	A	30,6	A	3,12	A	35,9	AB
GT44	9,9	BC	7,5	AB	0,021	A	23,4	A	2,92	A	28,9	AB

No hubo diferencias significativas en porcentaje de copa y grado de cobertura (Tabla 2). EC y GC24 tuvieron los menores valores de índice de copa y se diferenciaron de GC27 quien presentó el mayor valor. GC27 fue más esbelto que EG, el resto tomó valores intermedios. En forma de copa, EC presentó el mayor valor y se diferencia de EG y GC27 quienes tienen los menores valores. EC se diferencia del resto por tener el mayor valor de índice de espacio vital y manto de copa.

Tabla 2: Valores de Índices de copa de los genotipos. Letras diferentes indica diferencias significativas entre las medias ($p < 0,05$).

genotipo	% de copa	grado de cobertura de copa	índice de copa	Esbeltez (m/cm ²)	forma de copa	índice de espacio vital	manto de copa
EC	82,7 A	0,8 A	2,1 A	1,3 AB	0,47 C	0,50 B	0,38 C
EG	78,1 A	0,78 A	3,4 AB	1,1 A	0,29 AB	0,24 A	0,23 AB
GC24	64,9 A	0,7 A	2,3 A	1,3 AB	0,44 C	0,36 AB	0,28 B
GC27	66,5 A	0,7 A	4,7 B	1,4 B	0,23 A	0,20 A	0,14 A
GT44	61,5 A	0,6 A	2,9 AB	1,3 AB	0,35 BC	0,29 A	0,22 AB

No se encontraron diferencias significativas en diámetro de ramas sector alto y basal, pero para la zona media el híbrido GC27 se diferencia de EG por tener el menor valor (Tabla 3). La variable altura de copa no presentó diferencias significativas. EC tuvo el valor más alto de diámetro de copa que EG. El híbrido GC24 tiene valores intermedios a ambos padres. El híbrido GC27 tiene diámetro de copa similar a EG, al igual que el híbrido GT44.

Tabla 3: Valores de diámetro de las ramas alto, medio y basal; altura de copa; diámetro de copa; relación peso copa-peso madera de cada genotipo. Letras diferentes indica diferencias significativas entre las medias ($p < 0,05$).

Genotipo	Diámetro ramas alto (cm)		Diámetro ramas medio (cm)		Diámetro ramas basal (cm)		Altura de copa (m)		Diámetro de copa (m)	
EC	9,5	A	10,3	AB	12,8	A	6,8	A	3,2	C
EG	11,3	A	12,6	B	10,1	A	7,6	A	2,2	AB
GC24	10,2	A	9,9	AB	11,5	A	6,6	A	2,9	BC
GC27	9,0	A	8,6	A	10,2	A	7,5	A	1,6	A
GT44	8,3	A	10,3	AB	12,4	A	6,1	A	2,2	AB

En altura hasta fuste de 1 cm de diámetro, EC presento el menor valor lo cual hace que se diferencie del resto (Tabla 4). En cuanto a altura hasta fuste de 5 cm de diámetro, EC vuelve a presentar el menor valor y se diferencia de sus híbridos GC24 y GC27. En cuanto a PF del fuste < 5 cm, no hubo diferencias significativas entre los materiales y en PF > 5 cm, EG se diferencia notablemente de GC24 y GC27 por presentar el menor valor.

Tabla 4: Altura del fuste hasta 1 cm de diámetro, altura del fuste hasta 5 cm de diámetro, peso fuste menor a 5 cm y mayor a 5 cm de diámetro de cada genotipo. Letras diferentes indica diferencias significativas entre las medias ($p < 0,05$).

Genotipos	Altura tronco hasta 1 cm diámetro (m)		Altura tronco hasta 5 cm diámetro (m)		PF fuste < 5 cm (kg)		PF fuste > 5 cm (kg)	
EC	7,15	A	3,6	A	3,3	A	15,2	A
EG	8,79	B	5,6	AB	3,0	A	26,5	A
GC24	9,23	B	6,6	B	3,1	A	29,7	A
GC27	10,23	B	6,3	B	4,3	A	26,3	A
GT44	8,80	B	5,1	AB	4,0	A	19,5	A

En cuanto a ramas finas en la zona alta y media, no hubo diferencias significativas entre los materiales, pero hubo diferencias en la parte basal ya que GC27 tuvo más ramas que GC24 y EG, y el resto de los materiales tuvieron valores intermedios (Tabla 5). Las variables rama gruesas y área foliar no presentaron diferencias significativas en ninguno de los tres sectores.

El área foliar por estratos (tercio superior, medio y basal) fue similar entre todos los materiales genéticos (Tabla 6). En área foliar total, GC24 tuvo más área foliar que GC27 y GT44. Los materiales parentales tuvieron valores intermedios.

Tabla 5: Peso fresco de ramas finas y gruesas divididas por tercios de copas. Letras diferentes indica diferencias significativas entre las medias ($p < 0,05$).

Genotipo	Rama fina tercio superior de copa (g)		Rama fina tercio medio de copa (g)		Rama fina tercio basal de copa (g)		Rama gruesa tercio superior de copa (g)		Rama gruesa tercio medio de copa (g)		Rama gruesa tercio basal de copa (g)	
EC	1292,7	A	775,7	A	470,7	ABC	267,3	A	226,7	A	69,3	A
EG	1459,0	A	1661,0	A	641,3	BC	228,7	A	522,7	A	0,0	A
GC24	1536,5	A	1097,1	A	855,5	C	51,0	A	272,0	A	203,5	A
GC27	1080,0	A	692,3	A	163,0	A	55,3	A	132,3	A	122,3	A
GT44	845,3	A	817,7	A	264,0	AB	15,3	A	292,3	A	301,7	A

Tabla 6: Área foliar dividida por tercios de copas y área foliar total. Letras diferentes indica diferencias significativas entre las medias ($p < 0,05$).

Genotipo	Área foliar tercio superior de copa (m ²)		Área foliar tercio medio de copa (m ²)		Área foliar tercio basal de copa (m ²)		AF total (m ²)	
EC	5,61	A	4,84	A	1,72	A	12,2	AB
EG	9,57	A	6,70	A	1,10	A	17,4	AB
GC24	8,20	A	8,30	A	2,65	A	19,2	B
GC27	5,52	A	3,93	A	1,93	A	11,4	A
GT44	5,37	A	4,50	A	1,03	A	10,9	A

Existió una relación única para todos los materiales genéticos entre el peso fresco de las hojas y el área foliar, ya que todos los puntos se acomodaron en una recta (Figura 10). Esto quiere decir que todos los materiales tuvieron similar área foliar específica (AFE), alrededor de 36,6 cm²/g.

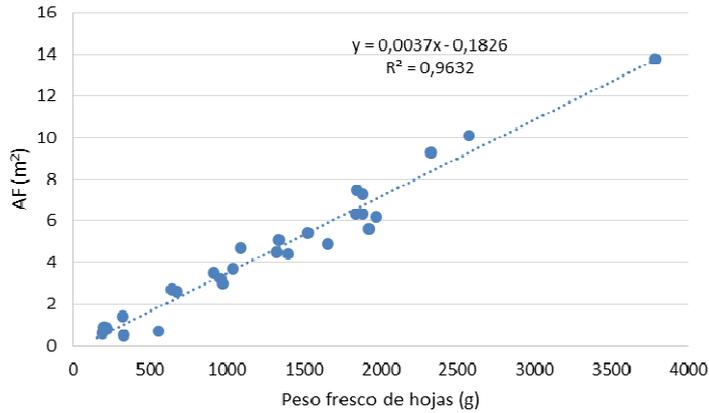


Figura 10: Relación entre el peso fresco de las hojas y el área foliar. Todos los genotipos se ajustan en una sola recta.

Los materiales genéticos requirieron destinar diferente cantidad de materia fresca a hojas para obtener cada unidad de volumen de madera (Figura 11). Los híbridos GC27 y GT44 produjeron madera con menor inversión en hojas, mientras que EC fue el que requirió mayor peso de hojas para lograr cada metro cúbico de madera.

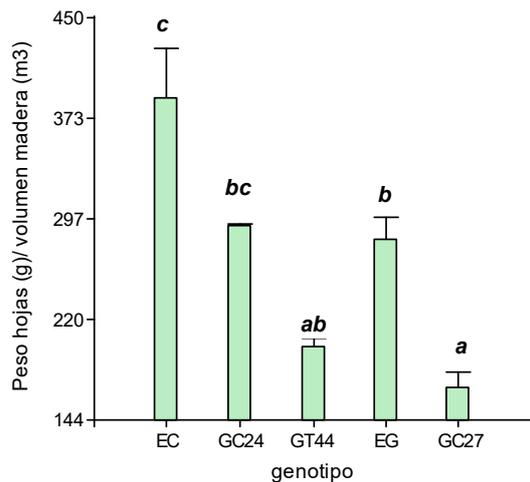


Figura 11: Peso fresco destinado a hojas por cada m³ de madera obtenida. Letras diferentes indica diferencias significativas entre las medias ($p < 0,05$).

El análisis de componentes principales (ACP) consiste en transformar el conjunto de datos inicial (variables correlacionadas) en un nuevo conjunto reducido de nuevas variables independientes llamadas componentes principales. Las nuevas variables o componentes principales serán combinaciones lineales de las anteriores y se van construyendo según el orden de importancia en cuanto a la variabilidad total que recogen de la muestra. Cuando las líneas se disponen a 90° significa que las variables no tienen relación entre sí, aquellas que se contraponen indican que existe una correlación negativa, es decir cuando una variable aumenta la otra disminuye y por último cuando las líneas poseen igual sentido y se encuentran agrupadas significa que existe una correlación positiva entre las mismas (al aumentar una variable aumenta otra).

En el ACP se observa una correlación positiva entre volumen e índice de copa por ende el individuo que tenga más índice de copa tendrá mayor volumen y viceversa (Figura 12). El híbrido GC27 es quien presentó los mayores valores de estas variables.

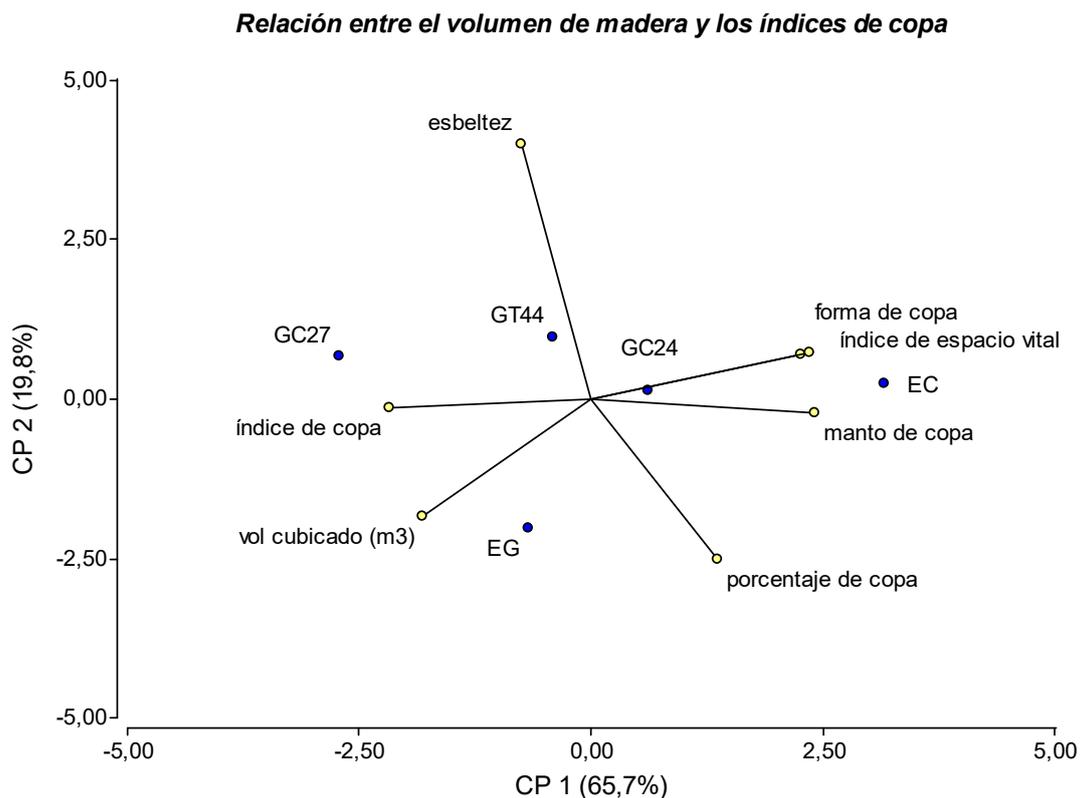


Figura 12: Interpretación de índices de copa mediante el análisis de componentes principales.

El grado de cobertura de copa y la esbeltez por un lado no se relacionan con las variables volumen cubicado e índice de copa ya que se disponen casi a 90° y por el otro presentaron correlación negativa entre ellas (Figura 12). El híbrido GC27 demostró ser el más esbelto. Las variables manto de copa, índice de espacio vital y forma de copa están muy relacionadas y presentaron correlación positiva. EC tuvo el mayor valor de estos índices (Tabla 2).

El Análisis Cluster o Análisis de Conglomerados, 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. Es por lo tanto, una técnica descriptiva, atórica y no inferencial.

El análisis de conglomerados (Figura 13) nos indica que para las variables analizadas EC se encuentra en un grupo solo y por ende se diferencia mucho de todos los demás materiales genéticos. EG y GC24 guardan similitud por pertenecer a un mismo grupo (azul), por último los híbridos GT44 y GC27 (grupo amarillo) son más parecidos entre si y más diferentes a cualquiera de sus padres.

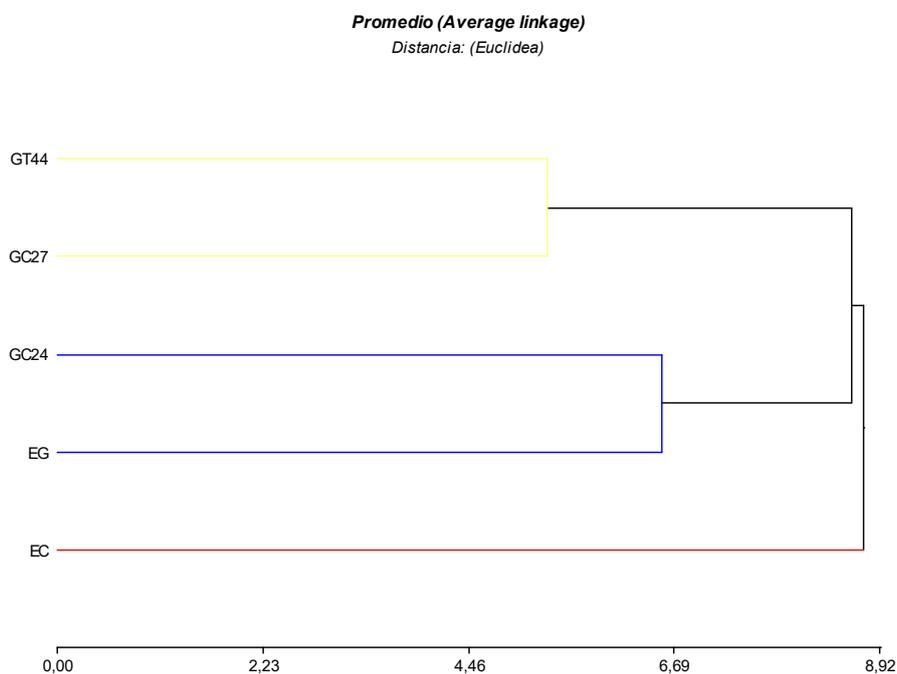


Figura 13: Agrupamiento de los genotipos analizados mediante análisis de conglomerado para observar las similitudes y diferencias entre los materiales genéticos.

DISCUSIÓN

Los resultados se discuten en base a las características más deseables según el destino de la madera, y sobre la potencialidad del mejoramiento genético en identificar arquitecturas de árboles más adecuadas para cada destino. El bajo número de individuos analizados y la corta edad de la plantación, no permite sacar conclusiones definitivas contundentes, pero dejan en evidencia diferencias en la estructura de los materiales genéticos que justifican un análisis más profundo. El bajo número de muestras es compensado por homogeneidad de los individuos de cada material genético, por eso se encuentran diferencias significativas en muchas variables, aún con 2 o 3 repeticiones. Todos los resultados que se discuten están respaldados por diferencias significativas reportadas en la sección de Resultados.

Cuando el destino productivo de la madera es aserrado-debobinado lo que se busca en el material genético principalmente son trozas de forma cilíndrica, madera libre de nudos (madera clear), densidad y otras propiedades de la madera homogéneas, tanto en sentido radial, como tangencial y longitudinal (Otaño, 2007) y un determinado diámetro de troza al momento de la tala final (mayor a 14 cm para aserrado y mayor a 20 cm para debobinado). Obtener madera de calidad y consecuentemente mayor precio en el mercado implica entre otras cosas que se realicen podas y raleos a nivel de rodal. El objetivo principal de dichos tratamientos culturales es producir rollos de mayor diámetro con un alto contenido de madera libre de nudos para utilizarla en tablas o láminas obtenidas por debobinado (Larocca et al, 2004). Cuando el destino de la madera es triturado para celulosa o tableros de partículas las características antes descritas no son relevantes ya que se prioriza obtener mayor volumen en detrimento de una menor calidad de madera. Si se quiere lograr calidad de madera debemos resignar algo de cantidad y viceversa, si se quiere lograr cantidad de madera debemos resignar algo de calidad. No podemos maximizar los dos aspectos (Kolln, 2000).

Los resultados obtenidos indican que el híbrido GC27, por presentar valores más bajos de ramas finas a nivel basal junto con un menor diámetro de ramas, mayor altura de fuste hasta 1 cm y altura total se posiciona satisfactoriamente para ser utilizado en la industria del aserrado y/o debobinado, porque demandaría, por ejemplo menores esfuerzos de podas y mayor altura en madera libre de nudos. A estas características morfológicas se le

suma que presenta el valor más alto de esbeltez y buenos valores de DAP haciéndolo útil para el objetivo planteado (Otaño, 2007).

En cambio, si el objetivo de la producción es maximizar el volumen, por ejemplo para utilizar el material para bioenergía, todos los genotipos produjeron el mismo volumen de madera en el fuste, y peso total de madera, sumando peso del fuste y la biomasa de ramas (Tabla 1). El clon GC24 tuvo el mayor valor de hojas totales que los otros dos híbridos (GC27 y GT44) (Tabla 6), por lo tanto un uso posible podría ser en sistemas silvopastoriles, en los cuales se busca brindar sombra al ganado, y mayor cantidad de hojas amortiguarán más las temperaturas. En cuanto al DAP, EG tuvo mayor valor que EC y los híbridos no se diferenciaron de ninguno de ellos. Por ende, los híbridos podrían ser buenos candidatos para la industria del debobinado, que requiere diámetros mayores. Sólo GC27 tiene ramas de menor diámetro en la mitad de la copa que EG, por lo que este híbrido demandará menores esfuerzos de poda por ser un material menos voluminoso en cuanto a copa y ramas.

Un uso posible que se le puede asignar al genotipo GC24 es en forestaciones establecidas para mitigar el cambio climático generando lo que se conoce como bonos o créditos de carbono, ya que por presentar los mayores valores de área foliar y biomasa total (hojas + ramas + fuste) se puede inferir que dicho híbrido fija más dióxido de carbono. Un árbol para producir 446 g de madera, deberá tomar 650 g de CO₂ y liberará a la atmósfera 477 g de O₂, por lo cual un m³ de crecimiento en biomasa forestal (fuste, raíces, ramas, hojas) absorbe 0,26 tCO₂. Asumiendo un valor promedio de crecimiento de 25 m³ /ha/año se capturarían 650.000 t CO₂ cada año (Santos, 2007).

GC27 y GT44 fueron los más eficientes en cuanto a crecimiento (menos hojas frescas/volumen de madera) y presentaron valores altos de DAP lo cual podría acortar los turnos tecnológicos de los individuos cuando el objetivo sea llegar al final de la rotación con un determinado DAP. Las ventajas de producir árboles de mayor diámetro se evidencian en el rendimiento en el aserrado y en la calidad de la madera obtenida (García et al, 2017).

En cuanto a la relación de los genotipos con la densidad de plantación, los híbridos tuvieron menor índice de espacio vital que EC, por lo que podrían plantarse a mayor densidad, especialmente para destinos de chipeado y celulosa. El índice de espacio vital

se relaciona con el espacio requerido, y a mayor índice, más espaciados deberían estar los individuos para maximizar su crecimiento (Arias et al 2005).

En cuanto a las formas de los árboles, el ACP indica que las copas piramidales (mayor índice de copa) se relacionan positivamente con el volumen de madera producido. Esto quiere decir que si se busca volumen, deberían seleccionarse los genotipos con copas piramidales y menor espacio vital, porque en el caso del espacio vital (diámetro de copa en relación al DAP), hay una relación negativa con el volumen. EG tiene copa piramidal, tal como se describió en los antecedentes, y esta característica se repitió en uno de los híbridos (GC27), mientras que otro de los híbridos (GC24) tuvo valores intermedios entre EG y EC. La esbeltez y el porcentaje de copa se relacionaron negativamente entre sí, y no se relacionan con el volumen de madera producido. Esto es importante porque son dos características que repercuten en el posible destino de la madera, y que podrían seleccionarse de manera independiente al volumen. Tal como se discutió previamente, la esbeltez es deseable para destinos de aserrado y debobinado, mientras que un elevado porcentaje de copa garantiza mucha biomasa en copa, que puede ser deseable para fijación de carbono, biomasa para energía o triturado o para monte de abrigo y reparo en sistemas silvopastoriles (OEA, 1996) .

El Análisis de Conglomerados, nos indica que EC difiere de todos los demás, por lo tanto los híbridos GC24 y GC27 se asemejan más a EG que a EC, es decir, que las características de uno de los progenitores fueron preponderantes sobre las del otro. Esto es positivo porque EG tiene mayor aptitud maderera que EG, tanto por la forma como por la tasa de crecimiento. Sin embargo, EC posee tolerancia a los estreses abióticos frecuentes como sequía, anegamiento, altas temperaturas y heladas (Fundación para la Innovación Agraria, 2009). Por lo tanto, es deseable obtener híbridos que posean la forma y tasa de crecimiento de EG, pero la tolerancia a los estreses de EC. Esta tolerancia deberá ser evaluada en ensayos conducidos para ese fin.

Si comparamos los dos híbridos GC, GC24 se asemeja más a EG que GC27, que a su vez se asemeja al híbrido GT44. Estos resultados permiten visualizar que mediante cruzamientos se pueden lograr híbridos con características diferenciales, de manera que aún con los mismos progenitores se pueden lograr materiales con características adecuadas para diferentes usos (López et al, 2012).

Este análisis es valioso como un análisis preliminar de estos materiales. Para futuras evaluaciones recomendamos la inclusión del material parental de *Eucalyptus tereticornis*, y realizar un diseño de plantación en que los individuos se distribuyan al azar en el bloque de plantación. Asimismo, las evaluaciones deberían repetirse a edades más avanzadas de plantación.

CONCLUSIÓN

El objetivo planteado fue evaluar las características morfológicas de 5 materiales genéticos de *Eucalyptus* e inferir sus posibles implicancias en el destino de la madera.

En base a los resultados concluimos que los programas de mejoramiento genético permiten seleccionar individuos con características morfológicas diferenciales, que conllevan a arquitecturas deseables para diferentes usos. En el presente trabajo se pudo observar que los híbridos permiten mantener características morfológicas deseables de los progenitores. Es de destacar que existe variabilidad aún entre híbridos de los mismos progenitores en aspectos relacionados con la forma, que deben ser contemplados junto con otras características deseables, como tolerancia a enfermedades, heladas y bajas temperaturas.

BIBLIOGRAFÍA

- Arias, D.** 2005. Morfometría del árbol en plantaciones forestales tropicales. Kurú: Revista Forestal (Costa Rica) 2(5): 1-13
- 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.
- Curso de Silvicultura.** 2015 - Generalidades sobre el cultivo de Eucalyptus en Argentina. Curso de Silvicultura de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. 11 pp.

- 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>
- Entre Ríos Forestal.** 2019. Blogspot sobre información sobre el sector forestal de la provincia de Entre Ríos. Disponible en: www.entreriosforestal.blogspot.com.ar
- Fundación para la Innovación Agraria.** 2009 - Resultados y Lecciones en Eucaliptus resistente a la sequía para zonas de secano. Proyecto de Innovación en IV Región de Coquimbo y V Región de Valparaíso. Serie Experiencias de Innovación para el Emprendimiento Agrario. Disponible en: https://www.opia.cl/static/website/601/articles-75578_archivo_01.pdf
- García, M., Peña, C., Tesón, N., Mastrandrea, C., Lupi, A., Martínez, M., y Barrios, F.** 2017 - ENSAYOS DE SILVICULTURA CLONAL: ESPACIAMIENTO INICIAL Y MANEJO DE LA DENSIDAD. Trabajo de Cooperación Técnica INTA – Forestal Argentina. El Duraznal (Concordia) y Paso de los Libres (Corrientes). 8 pp. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_concordia_ensayos_de_silvicultura_clonal.pdf
- Harrand, L.; Oberschelp, J; Mastrandrea, C.** 2017 - Curso: Principios técnicos para el cultivo de especies Forestales de Entre Ríos. Mejoramiento Genético de especies cultivadas en Entre Ríos CHAJARÍ. INTA EEA Concordia. 19 pp. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/materiales_geneticos_y_tecnologia_de_la_madera.pdf
- Kolln, R.** 2000 - Criterios de Poda y Raleo en *Eucalyptus grandis* en Shell Posadas, C.A.P.S.A. 7 pp.
- Larocca F.; Dalla Tea F.; Aparicio L. J.** 2004. - Técnicas de implantación y manejo de *Eucalyptus grandis* para pequeños y medianos forestadores en Entre Ríos y Corrientes. Concordia, Entre Ríos. 16 pp.
- López, J.A., Harrand, L., Salto, C., Marcó, M., Surenciski, M.** 2012 - Mejoramiento Genético de Pinos y Eucaliptos Subtropicales. Resúmenes Jornadas de Actualización Técnica, Concordia, Entre Ríos: 100pp. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-jornada_mejoramiento_completo.pdf
- Martínez, H.** 2015 - Eucalipto (*Eucalyptus* spp.): condiciones para su cultivo “Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de

- carbono". Fondo Nacional de Financiamiento Forestal, Forest Monitoring System for REDD+ Costa Rica, 52pp. Disponible en: <https://www.onfcr.org/media/uploads/documents/genero-eucalipto.pdf>
- Monteoliva, S.** 2009 - La madera: propiedades y productos forestales. 13 pp. Disponible en: http://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/19010/mod_resource/content/1/Clase%201%20Xilo.%20Propiedades%20madera.pdf
- OEA.** 1996 - Uruguay - Alternativas para la Transformación Industrial del Recurso Forestal. Dirección Forestal. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Fondo Nacional de Pre inversión. Oficina de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Washington, D.C. Disponible en: <https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea19s/begin.htm#Contents>
- Otaño, M.** 2007 - TABLEROS COMPENSADOS Y ENCHAPADOS. 13 pp. Disponible en: http://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/19501/mod_resource/content/1/TABLEROS_COMPENSADOS_Y_ENCHAPADOS.pdf
- Pryor, L.D.** 1981.- El eucalipto en la repoblación forestal. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 723 pp.
- SAGyP.** 1995 - MANUAL PARA PRODUCTORES DE EUCALIPTOS DE LA MESOPOTAMIA ARGENTINA REPUBLICA ARGENTINA. - Subsecretaría de Producción Agropecuaria y Mercados INTA - Estación Experimental Agropecuaria Concordia
- Santos, B. M.** 2007. – BONOS DE CARBONO: Situación Actual y Perspectivas. Facultad de Ciencias Económicas UBA. 115 pp. Disponible en: http://bibliotecadigital.econ.uba.ar/download/tpos/1502-0825_SantosMB.pdf
- Secretaría de Agroindustria.** 2019 - Datos agroindustriales. Disponible en: <https://datos.agroindustria.gob.ar/dataset/inventario-nacional-plantaciones-forestales-por-superficie/archivo/147acbc6-2048-4d2b-9cd7-df13efe328fa>
- SINAVIMO.** 2018 - Sistema Nacional Argentino de Vigilancia y Monitoreo de Plagas, *Eucalyptus* spp. Disponible en: <http://www.sinavimo.gov.ar/cultivo/eucalyptus-spp>
- Zobel, B y Talber, J.** 1988 - TÉCNICAS DE MEJORAMIENTO GENÉTICO DE ÁRBOLES FORESTALES, Carolina del Norte. Editorial LIMUSA. 545 pp.