



# DOMESTICACIÓN Y MEJORAMIENTO DE ESPECIES FORESTALES



Presidencia  
de la Nación

Ministerio de  
Agricultura,  
Ganadería y Pesca



PROYECTO FORESTAL  
BRF 7520 AR







# **DOMESTICACIÓN Y MEJORAMIENTO DE ESPECIES FORESTALES**

## **AUTORIDADES**

PRESIDENTE DE LA NACIÓN

Dra. Cristina Fernandez de Kirchner

JEFE DE GABINETE DE MINISTROS

Dr. Aníbal Fernández

MINISTRO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESCA DE LA NACIÓN

Ing. Carlos Casamiquela

COORDINADOR EJECUTIVO DE LA UNIDAD PARA EL CAMBIO RURAL

Lic. Jorge Neme

## Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a quienes tuvieron una activa y protagónica participación en la gestación y gestión del Programa de Mejoramiento de Especies Forestales (PROMEF). Entre ellos: al **Dr. Tomás Schlichter** como Coordinador del Programa Nacional Forestales de INTA y al **Ing. Ftal. Ernesto Andenmatten** como Consultor INTA en la SAGPyA, quienes apoyaron fuertemente la propuesta presentada logrando que la misma fuese aceptada como parte del Componente Plantaciones Forestales Sustentables (CPFS) del Proyecto de Manejo Sustentable de los Recursos Naturales (PMSRN) BIRF LN 7520 AR. A la **Ing. Agr. Mónica Catania** Coordinadora Técnica en la fase inicial del CPFS. A la **Ing. Agr. Florencia Reca** como Responsable Técnica de los Proyectos Forestales de la UCAR. A la **Ing. Amb. Carolina Llavallol** como Responsable del Subcomponente Investigación y Extensión del cual dependió el PROMEF y al equipo de gestión administrativa de la UCAR: **Romina Fernández Espinosa, Natalia Boglio, Adriana Chaher, Mariana Bigliani** y **Luciana Ilardo**, quienes siempre mostraron la mejor predisposición para atender y solucionar las distintas demandas planteadas durante los más de 5 años de operatoria del Programa. De igual manera se incluyen a **Carlos Brossard, Julio Ponce** y **Daniel Ponce** de la Administración de la EEA Concordia, quienes fueron responsables de la recepción y transferencia de los fondos a todas las Unidades participantes. Por último, no pueden dejar de mencionarse a los técnicos y auxiliares contratados en las distintas etapas del PROMEF, quienes sin duda facilitaron la concreción de los objetivos planteados, y una especial mención al **Dr. Javier Oberschelp**, técnico del Área Forestal de la EEA Concordia de INTA por su invaluable aporte en la revisión total de esta publicación.

UNIDAD PARA EL CAMBIO RURAL

Lic. Jorge Neme  
**Coordinador Ejecutivo**

Ing. Raúl Castellini  
**Responsable de Gestión de Programas y Proyectos**

Lic. Daniela Raposo  
**Jefa de Desarrollo Productivo**

Ing. Agr. Florencia Reca  
**Responsable Técnica de Proyectos Forestales**

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA

Ing. Francisco Anglesio  
**Presidente**

Ing. Eliseo Monti  
**Director Nacional**

Ing. Enrique Bedascarrasbure  
**Coordinador de Investigación**

Ing. Hugo Fassola  
**Coordinador del Programa Nacional Forestales**

Ing. Martín Marcó  
**Responsable del Programa de Mejoramiento de Especies Forestales**

<b>Índice</b>	Prólogo <b>09</b>  Introducción <b>11</b>	Subprograma <i>Pinus</i> y <i>Pseudotsuga</i>  <b>21</b>
Subprograma <i>Eucalyptus</i> y otras Latifoliadas ( <i>Corymbia</i> y <i>Grevillea</i> )  <b>47</b>	Subprograma Salicáceas ( <i>Salix</i> y <i>Populus</i> )  <b>85</b>	Subprograma <i>Prosopis</i>  <b>113</b>
Subprograma <i>Cedrela</i>  <b>137</b>	Subprograma <i>Nothofagus</i>  <b>161</b>	Herramientas Moleculares  <b>189</b>





## Prólogo

Jorge Neme  
Coordinador Ejecutivo de la UCAR

El sector forestal argentino ocupa un lugar destacado en las políticas públicas del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación tendientes a promover el desarrollo sustentable y con equidad de las economías regionales, dado el alto potencial de crecimiento de las cadenas y aglomerados forestoindustriales, su proyección para generar una amplia oferta de bienes y servicios con incorporación de valor agregado —basado en los saberes y conocimientos locales— y su capacidad de creación de empleos directos e indirectos calificados y no calificados. Por estas razones, el sector fue considerado una parte importante del Plan Estratégico, Agroalimentario y Agroindustrial, Participativo y Federal (PEA) 2020.

El trabajo en este sentido requiere estar a la altura de los desafíos que se presentan en el escenario actual. Como resultado de la difusión mundial de las tecnologías industriales productivas, el nuevo paradigma de las industrias forestales considera que la ventaja competitiva reside, entre otros factores, en la superioridad de la calidad del material de propagación que se utiliza.

En este marco, la Unidad para el Cambio Rural (UCAR) brinda apoyo a más de 150 proyectos de investigación y experimentación en todo el país, incluyendo el Programa de Mejoramiento de Especies Forestales (PROMEF) que ejecuta el INTA desde 2010, con una inversión de US\$ 1.800.000. Así, el PROMEF es una herramienta que otorga un impulso sustantivo al trabajo desarrollado por el INTA en mejoramiento genético desde la creación del Programa Nacional Forestales, y actuando dando continuidad al Programa de Producción de Material de Propagación Mejorado, ejecutado entre los años 1996 y 2006 con apoyo de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca como parte del Proyecto de Desarrollo Forestal.

La disponibilidad de estas herramientas es fruto de una línea de trabajo que mantiene la UCAR desde su creación. En el año 2011, la institución convocó a los principales referentes sectoriales, integrantes de organismos públicos y organizaciones privadas, tanto del nivel nacional como provincial, quienes se reunieron a lo largo de ocho meses para debatir y elaborar propuestas destinadas al diseño y la implementación de una política forestal nacional para el siglo XXI.

Entre los instrumentos propuestos, se plantearon el apoyo a la innovación tecnológica —con énfasis en la generación y transferencia de tecnologías sustentables para la producción de madera de calidad— y la conservación y el uso estratégico de los recursos genéticos, tanto de especies introducidas como nativas. De este modo, existió un consenso en que dichos recursos son imprescindibles para cimentar el desarrollo de una base forestal diversificada y adaptada tanto a las exigencias ecológicas de las diversas regiones productivas de nuestro país como a las necesidades tecnológicas de las industrias forestales.

Por eso, en las últimas décadas, los programas de mejoramiento genético forestal en la Argentina y en el mundo han pasado a convertirse en un componente esencial a la hora de lograr grandes avances en el aumento de la adaptabilidad y la productividad de los bosques cultivados

a través de la selección de los mejores genotipos. Utilizan técnicas y herramientas de última generación y requieren la participación de recursos humanos especializados, lo que exige un alto nivel de inversión que en la práctica constituye una barrera económica para que los pequeños productores puedan disponer de material mejorado, reduciendo la productividad y la calidad de sus plantaciones que se traduce en una disminución de su valor. Dado que en Argentina se estima que hay más de 5.000 pequeños productores forestales y rurales con actividades forestales, es el Estado nacional el que desarrolla programas de mejoramiento genético que garanticen la disponibilidad de material de calidad a este sector.

Esta publicación reúne los resultados de los esfuerzos en este sentido realizados en los últimos cinco años en el marco del PROMEF, entre los que se destacan la disponibilidad de nuevos materiales de propagación en pinos, eucaliptos, sauces y álamos y la implementación de herramientas moleculares, tanto en los programas de mejoramiento como en la conservación y uso de los recursos genéticos de importantes especies de nuestros bosques nativos. Esto no sólo refleja la mejora en la eficiencia de los procesos de domesticación y el mejoramiento o en las ganancias genéticas obtenidas, sino también en la consolidación de recursos humanos calificados que constituyen un ingrediente único e irremplazable para contribuir al desarrollo sustentable del sector forestal nacional.



## Introducción

Marcó, Martín. A. (a); Gallo, Leonardo. A. (b); Verga, Anibal. R. (c)

Si bien la contribución del sector forestal al desarrollo de la economía de Argentina es aún poco significativa, el establecimiento de plantaciones forestales en el país tiene ventajas competitivas importantes, y aún recibe apoyo fiscal por parte del gobierno nacional (Ley 25.080 y su continuación Ley 26.432), particularmente porque tanto el Estado como los industriales de la madera y los productores e inversionistas lo ven como una verdadera alternativa económica para el país sin competir con otros sectores de la producción agropecuaria.

Actualmente la Argentina posee una superficie forestada estimada en 1,2 millones de hectáreas con un potencial que puede alcanzar 5 millones de hectáreas (Schlichter, 2012). Si bien la tasa actual de plantación y replantación es relativamente baja -unas 30.000 ha/año (Fahler, 2014)-, el sector tiene mucho por crecer debido a que la Argentina presenta uno de los consumos de madera aserrada per cápita más bajos del mundo (Schlichter, 2012), a la existencia de un creciente desarrollo de industrias de productos con mayor valor agregado (molduras, pisos, muebles, puertas y ventanas) en el mercado interno y a la existencia de segmentos o nichos de mercado nacional (ej. construcción de viviendas de madera) e internacional (ej. muebles) de alto valor que muchas economías regionales pueden satisfacer asegurando calidad en condiciones de competitividad (Aguerre, 2012; ASORA 2015a; ASORA, 2015b).

En su gran mayoría, los bosques cultivados se basan en especies introducidas de rápido crecimiento de los géneros *Pinus*, *Eucalyptus*, *Salix* y *Populus* (Salicáceas). Estas aseguran un 90% del abastecimiento de la foresto-industria nacional y seguirán siendo la principal fuente de suministro de la materia prima (AFoA, 2015).

Son pocas aún las especies nativas cultivadas en Argentina, en parte por el desconocimiento existente con respecto a la producción de su germoplasma, su potencial ecológico de cultivo y por la falsa percepción de que todas ellas poseen una menor velocidad de crecimiento. El sentido común indica, por otro lado, que la evolución biológica también debe haber originado especies de rápido crecimiento dentro del enorme espectro de nuestras especies nativas. Trabajos de conservación y domesticación iniciados en el país orgánicamente en la década de 1970 con *Araucaria angustifolia* (Fahler, 1981), con *Prosopis spp.* (Verga, 1988; Verga, 1995; Verga et al. 2000) y con *Nothofagus spp.* (Gallo, 1993; Gallo, 1995; Gallo et al. 2000), han demostrado que algunas especies nativas poseen velocidades de crecimiento comparables a las introducidas.

Aún en aquellas especies nativas de menor crecimiento, éste se compensa con una mayor calidad de madera asociada a una capacidad adaptativa y de supervivencia que posibilitan su desarrollo (Frangi, 2013) en sitios que, por sus condiciones ecológicas, no son aptos para las especies forestales introducidas de rápido crecimiento. Esto ha permitido el desarrollo de incipientes clusters foresto-industriales de relativa importancia en algunas economías regionales. Un claro ejemplo se encuentra en la región chaqueña con el desarrollo de industrias ligadas a la producción de tanino, carbón y mueblería, aún asociadas únicamente a la materia prima extraída del bosque nativo.

(a) INTA EEA Concordia, Entre Ríos; (b) INTA EEA Bariloche, Río Negro; (c) INTA IFRGV, Córdoba.



Tanto las diferencias adaptativas mencionadas, como el tipo de mercado que ocupan y el rol que pueden jugar como componentes de sistemas productivos de recuperación ecosistémica, determinan en buena medida que el desarrollo forestal sobre la base de especies nativas no compita con las introducidas de rápido crecimiento. Éstas seguirán siendo los pilares del desarrollo foresto-industrial nacional, tal cual sucede en otras partes del mundo. Por otro lado, el alto valor en las especies nativas no se reduce solamente a la calidad de la madera, sino que se amplía a productos forestales no madereros y a servicios ecosistémicos y ambientales. Muchas de ellas poseen además un alto potencial adaptativo, inclusive con posibilidades de adecuarse a cambios climáticos futuros.

Un aspecto estratégico del desarrollo forestal nacional es asegurar la conservación y el uso sostenible de los recursos genéticos disponibles de las principales especies de cultivo, que aseguren una oferta variada de productos y servicios. Estos representan un patrimonio único e irremplazable para el futuro (FAO, 2014). La diversidad genética de estos ecosistemas productivos no solamente es importante para asegurar progreso y estabilidad, sino también para asegurar el potencial de adaptación a los cambios del clima (FAO, 2014). En todo esto los programas de mejoramiento genético juegan un rol clave (Mckenney et al. 2007).

Afortunadamente en nuestro país, la importancia de la investigación en mejoramiento genético forestal fue reconocida y priorizada por INTA desde su creación a través de los trabajos pioneros desarrollados por técnicos del Instituto de Botánica Agrícola del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de INTA Castelar<sup>(1)</sup> y de la Estación Experimental Agropecuaria Delta del Paraná del INTA<sup>(2)</sup>, los cuales inicialmente se orientaron a especies introducidas de rápido crecimiento, en particular en la región mesopotámica, permitieron cimentar las bases de los principales programas de mejoramiento de pinos, eucaliptos y salicáceas que se conducen actualmente en el país.

El Programa Nacional Forestales de INTA dio continuidad a estas actividades en las distintas carteras de proyectos formuladas por la institución a través de los años, consolidando gradualmente equipos de trabajo en las regiones NEA, NOA, Pampeana y Patagonia, articulados en redes que permitieron ejecutar programas a escala nacional. Así, a partir del año 2006 se formaliza un nuevo programa de domesticación de especies forestales nativas, jerarquizando de esta manera el potencial de cultivo de muchas especies de alto valor, especialmente de las selvas misionera y yungas, región chaqueña y bosques andino patagónicos.

Comprendiendo que la finalidad principal de todo programa de mejoramiento genético forestal es la provisión de material de propagación mejorado bajo la forma de semillas o clones de calidad genética superior, el INTA se destaca como creador y oferente de semillas y clones mejorados, ajustándose a las normas establecidas por el Instituto Nacional de Semillas (INASE).

La institución ha sido pionera en innovaciones forestales en el país con la inscripción de clones de Eucaliptos y Salicáceas en el Registro Nacional de Cultivares y Registro Nacional de Propiedades de Cultivares del INASE, caracterizados mediante descriptores morfológicos y moleculares para asegurar su identidad. La idea que subyace es que el germoplasma generado esté al alcance de los diversos usuarios del sector forestal - en particular de los pequeños y medianos productores - achicando así



**(1)** Wilfredo H. G. Barrett, Arturo E. Ragonese, Florentino Rial Alberti, Luis A. Mendonza y Lamberto Golfari (Asesor)  
**(2)** Abelardo E. Alonzo y Raúl Sancho.



las brechas de conocimiento y capacidades y potenciando los beneficios socioeconómicos.

**Antecedentes y Justificación.** El Programa de Mejoramiento de Especies Forestales, conocido abreviadamente con las siglas PROMEF, fue formulado por el Programa Forestales de INTA en el año 2005 y presentado ese mismo año a consideración de las autoridades de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (SAGyP) del actual Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGyP) de la Nación Argentina. Con fecha 5 de marzo de 2010 se formalizó una Carta Acuerdo entre la SAGyP y el INTA, mediante la cual el INTA asumió la responsabilidad de la implementación del PROMEF durante un plazo estipulado de 5 años. El PROMEF se puso en marcha formalmente en el mes de julio de 2010. A este efecto, la SAGyP asignó un monto total al Programa de US\$ 1.800.000.

El programa se ubica dentro del Componente Plantaciones Forestales Sustentables del Proyecto de Manejo Sustentable de los Recursos Naturales (PMSRN) BIRF LN 7520 AR, ejecutado por la Unidad para el Cambio Rural (UCAR) del MAGyP. Dentro del PMSRN se ejecutan además dos componentes en la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (Componente Bosques Nativos y su Biodiversidad) y en la Administración de Parques Nacionales (Componente Áreas y Corredores de Conservación). Dentro del Componente Plantaciones Forestales Sustentables, el PROMEF integra el Subcomponente Investigación y Extensión.

Su antecedente más reciente es el Programa de Producción de Material de Propagación Mejorado (PPMPM), iniciado a partir del año 1996 como parte del Proyecto de Desarrollo Forestal (PDF) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGPyA) de la Nación, financiado por el Banco Mundial (SAGPyA, 2005).

El PPMPM priorizó la producción de semillas y clones mejorados por volumen y forma de las principales especies forestales de cultivo adaptadas a las distintas regiones ecológicas del país. Así, el criterio de selección uniformemente aplicado a todas las especies forestales fue el crecimiento, debido a que es la base biológica del retorno económico de las plantaciones, siendo la premisa básica la de maximizar ganancias genéticas en áreas de multiplicación vegetativa, rodales y huertos semilleros para su inmediata utilización operacional, lo cual fue logrado, en mayor o menor medida, en las diferentes regiones del país. Actualmente estas poblaciones de producción de semillas y clones mejorados proveen ganancias genéticas en volumen y forma de entre un 10% y un 20% (INTA, 2012).

En esta nueva etapa, el PROMEF contempló la ejecución de un Programa de Mejoramiento de Especies Forestales orientado preferentemente a la producción de madera de calidad para usos sólidos, el cual tiene como objetivo general generar material genético mejorado de especies forestales nativas e introducidas que incrementen y diversifiquen la oferta de madera de calidad mejorando la rentabilidad y la sustentabilidad de la cadena forestal en todo el país y conservando el recurso genético.

A este efecto, el PROMEF concibe la cadena forestal basada mayoritariamente en bosques de cultivo de especies introducidas de rápido crecimiento de coníferas (*Pinus* y *Pseudotsuga*) y latifoliadas (*Eucalyptus*, *Corymbia*, *Grevillea*, *Toona*, *Salix* y *Populus*). Al mismo tiempo, se inclu-



yó un grupo de especies forestales nativas de los bosques andino-patagónicos (*Nothofagus*), del parque chaqueño (*Prosopis*) y de las selvas subtropicales (*Cedrela*, *Cordia* y *Araucaria*), de relativo rápido crecimiento y excelente calidad de madera que pueden cultivarse comercialmente.

Si bien el punto focal es la calidad de la madera, el concepto incluye propiedades que pueden influir tanto en los costos de producción y proceso como en el valor del producto. Entre ellas, características de crecimiento y forma hasta la habilidad de un árbol de crecer en condiciones adversas (estrés térmico, hídrico o salino y resistencia a enfermedades y plagas).

El incluir especies forestales nativas por su calidad, potencial productivo y dimensión del área ecológica de cultivo dio continuidad al proceso de domesticación iniciado por INTA. Al mismo tiempo, se responde a una demanda creciente por el cultivo de especies nativas favoreciendo nuevas alternativas productivas.

La formulación del PROMEF tuvo en cuenta que los ecosistemas forestales están siendo afectados por alteraciones generalizadas e inusitadas ligadas al cambio climático (Bernier, P. y Schoene, 2009) y que además las enfermedades y plagas de insectos se expandirán como consecuencia del mismo. Todo esto exigía poner énfasis en la variabilidad genética de las características de adaptación, así como a poner mucha atención en los aspectos sanitarios durante los procesos de selección, en un correcto análisis de la ganancia genética a costa de la diversidad (riesgo), en una correcta elección de la estrategia de utilización operacional de los materiales de propagación (semillas y clones) mejorados y en un adecuado manejo silvicultural que atenúe los riesgos bióticos y abióticos.

Todo esto significó formular un Programa de Mejoramiento Genético orientado hacia el suministro de recursos genéticos forestales de alto valor para el establecimiento de plantaciones más estables y productivas con material de propagación de alta competitividad a los que tengan acceso todos los beneficiarios, en particular los pequeños y medianos productores.

Con esa finalidad, el PROMEF se basó en disponer recursos genéticos amplios y diversos otorgando una importancia estratégica a la biotecnología, la cual ha pasado de ser una herramienta complementaria en los programas de mejoramiento genético forestal a convertirse en un componente indispensable a la hora de lograr grandes avances, acortando brechas temporales. Aquí se incluyen desde técnicas de propagación vegetativa a través de injertos y estacas (*macropropagación*) y cultivo *in vitro* de tejidos (*micropropagación* y *organogénesis*) hasta la aplicación de herramientas moleculares.



### Como objetivos específicos se propusieron:

1. Incorporar criterios de selección (sanidad, densidad de la madera, tensiones de crecimiento, etc.) para mejorar la calidad del material de propagación mejorado por forma y volumen de las principales especies de cultivo, que fuera generado por el PPMPM y disponer de poblaciones de producción de material de propagación mejorado en esos atributos de sanidad y calidad de madera.
2. Continuar con los programas de domesticación a largo plazo de especies forestales nativas iniciados en etapas previas e incorporar nuevas especies priorizadas por el valor de su madera, su tasa de crecimiento y la superficie en la cual podrían cultivarse, de los géneros *Prosopis*, *Nothofagus*, *Cedrela*, *Cordia* y *Araucaria*. Identificar, caracterizar y crear unidades de conservación con suficiente diversidad, a fin de garantizar la base genética necesaria (actualmente en riesgo) para el uso actual y futuro de estos recursos y proveer material de propagación con cierto grado de mejora en el mediano plazo.
3. Desarrollar programas de mejoramiento para incrementar velocidad de crecimiento, calidad del fuste y de los rollizos, adaptación, etc. en especies forestales introducidas y nativas de reconocido valor maderable.
4. Desarrollar programas de cruzamientos interespecíficos que contribuyan a realzar aspectos relacionados con el vigor, la forma y la resistencia a plagas, enfermedades y a factores abióticos negativos junto a algunas propiedades de calidad de la madera, tales como densidad básica, características de las fibras y tensiones de crecimiento, entre otros, y desarrollar protocolos de propagación vegetativa.
5. Desarrollar nuevos protocolos de muestreo y métodos no destructivos de propiedades de la madera que puedan ser utilizados a gran escala a efectos de explorar y evaluar la diversidad genética de las actuales poblaciones de mejoramiento.
6. Incrementar los estudios en ecofisiología que permitan identificar y relacionar variables ecofisiológicas con atributos de crecimiento, calidad de madera y tolerancia a estrés bióticos/abióticos que hagan más eficientes los procesos de selección de genotipos superiores.
7. Desarrollar y aplicar herramientas moleculares para: a) controlar la identidad genética del material mejorado y/o a mejorar; b) acortar los tiempos del ciclo de mejora y optimizar los cálculos de estimación de valores de mejora; c) evaluar la diversidad genética en huertos semilleros, poblaciones base y poblaciones nativas en procesos de domesticación; d) contribuir con la selección de individuos de especies nativas útiles para el enriquecimiento del bosque en zonas amarillas determinadas por el ordenamiento territorial y e) evaluar la variación adaptativa de las distintas especies, considerando aproximaciones de epigenética.
8. Contribuir a consolidar masas críticas con profesionales calificados en temas de Genética, Mejoramiento y Biotecnología en las principales regiones forestales del país.







La instrumentación operativa del Programa se visualizó a través de la ejecución de seis grandes Subprogramas de alcance nacional bajo una coordinación técnica-operativa. Por otro lado, el grado de desarrollo que alcanzó la aplicación de herramientas moleculares en los programas de mejoramiento y conservación genética forestal, justificó la inserción de un capítulo especial sobre esta temática.

### **Programa PROMEF**

Responsable Técnico-Operativo: Ing. Agr. M. Sc. Martín A. Marcó

Unidad sede: INTA EEA Concordia

Contacto: marco.martin@inta.gob.ar

### **Subprograma *Pinus y Pseudotsuga***

Responsable: Ing. Ftal. Dra. María Elena Gauchat

Contacto: gauchat.maria@correo.inta.gob.ar

Unidad sede: INTA EEA Montecarlo

Ecoregiones involucradas: Mesopotamia, NOA y Patagonia

Unidades principales participantes: EEA Montecarlo, EEA Bella Vista, EEA Bariloche, EEA Esquel y EEA Famaillá

### **Subprograma *Eucalyptus y otras Latifoliadas (Corymbia y Grevillea)***

Responsable: Ing. Agr. M. Sc. Juan A. López

Contacto: lopez.juanadolfo@inta.gob.ar

Unidad sede: INTA EEA Bella Vista

Ecoregiones involucradas: Mesopotamia, Pampeana y Chaqueña húmeda.

Unidades principales participantes: EEA Concordia, EEA Bella Vista, IRB Castelar e IB Castelar

### **Subprograma *Salicáceas (Salix y Populus)***

Responsable: Ing. Agr. M. Sc. Silvia C. Cortizo

Contacto: cortizo.silvia@inta.gob.ar

Unidad sede: INTA EEA Delta

Ecoregiones involucradas: Mesopotamia, Pampeana, Patagonia Norte.

Unidades principales participantes: EEA Delta, EEA Bella Vista, EEA Alto Valle y EEA Montecarlo

### **Subprograma *Prosopis***

Responsable: Ing. Agr. M. Sc. Diego López Lauenstein

Contacto: lauenstein.diego@inta.gob.ar

Unidad sede: INTA Instituto de Fisiología y

Recursos Genéticos (IFRGV)

Ecorregiones involucradas: Chaqueña y Mesopotamia

Unidades Principales Participantes: IFRGV, EEA Santiago del Estero, EEA Roque Sáenz Peña, Estación Forestal Plaza, EEA Juarez, EEA Concordia e IRB Castelar

### **Subprograma *Cedrela***

Responsable: Ing. Ftal. Dr. Luis Fornés

Contacto: fornes.luis@inta.gob.ar

Unidad sede: INTA EEA Famaillá

Ecoregiones involucradas: Selva Tucumano-Oranense y Selva Paranaense

Unidades principales participantes: EEA Famaillá, EECT Yuto, EEA Montecarlo e IRB Castelar

### **Subprograma *Nothofagus***

Responsable: Ing. Ftal. Dr. Mario J. Pastorino

Contacto: pastorino.mario@inta.gob.ar

Unidad sede: INTA EEA Bariloche

Ecoregiones involucradas: Patagonia Norte y Patagonia Sur

Unidades principales participantes: EEA Bariloche, EEA Esquel e IRB Castelar

### **Herramientas Moleculares**

Responsable: Dra. Susana Marcucci Poltri

Contacto: marcuccipoltri.s@inta.gob.ar

Unidad sede: INTA Instituto de Biotecnología, Castelar

### **Siglas**

**EEA:** Estación Experimental Agropecuaria

**EECT:** Estación Experimental Cultivos Tropicales Yuto

**IFRGV:** Instituto de Fisiología y Recursos Genéticos Vegetales

**IRB:** Instituto de Recursos Biológicos

**IB:** Instituto de Biotecnología



## Referencias



- AFoA. 2015. AFoA recuerda los servicios ambientales que proveen los bosques al planeta. Fecha de consulta 15 de junio de 2015. Disponible en: [http://www.foa.org.ar/destacados\\_detalle.php?p=133](http://www.foa.org.ar/destacados_detalle.php?p=133).
- Aguerre, M. 2012. América latina será el nuevo mercado para los productos de madera argentinos. ASORA 100: 22-24.
- ASORA. 2015a. El comercio mundial de muebles consolida su recuperación y tiene un panorama alentador para los próximos dos años. ASORA 117. P. 52.
- ASORA. 2015b. Construcción de viviendas de madera entre medianeras en ciudades importantes. ASORA 119: 36-40.
- Bernier, P.; Schoene, D. 2009. La adaptación de los bosques y su ordenación al cambio climático: una visión de conjunto. *Unasylva* 231/232 (60): 231-232.
- Fahler, J. C. 1981. Variação geográfica entre e dentro de origens de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze aos oito anos de idade na provincia de Misiones, Argentina. Dissertação Mestre em Ciências - M, Sc. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná, Brasil. 99 p.
- Fahler, J. C. 2014. Producción Forestal, debilidades, fortalezas, visión y futuro sobre los distintos escenarios posibles para los próximos años. *Revista Amanecer Rural* 151 – Año XV. 6 p.
- FAO. 2014. Proyecto de estrategia para la aplicación del plan de acción mundial para la conservación, la utilización sostenible y el desarrollo de los recursos genéticos forestales. *In: Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura*. Roma. 12 p.
- Frangi, J. L. 2013. Especies forestales de crecimiento rápido con especial referencia a *Eucalyptus grandis* en la Mesopotamia Argentina. *In: Malacalza, L. Ed. Ecología y ambiente*. La Plata, Argentina. Pp. 226-232.
- Gallo, L. A. 1993. Nutzung und Konservierung patagonischer forstlicher Genresourcen (Utilización y Conservación de los Recursos Genéticos Forestales Patagónicos). DAAD (Servicio Alemán de Intercambio Académico) y GTZ (Sociedad Alemana de Cooperación Técnica), Proyecto N° 9348. 9 p.
- Gallo, L. A. 1995. Conservación Dinámica de *Nothofagus* Caducifolios. Proyecto de Investigación Estratégica (PIE). INTA. 16 p.
- Gallo, L., Marchelli, P., Crego, P., Oudkerk, L., Izquierdo, F., Breitenbücher, A., Gonzalez Peñalba, M., Chauchard, L., Maresca, L., Cuerpo de Guardaparques P.N. Lanín y Nahuel Huapi y Mele, U. 2000. Variación genética en poblaciones y progenies de Raulí en Argentina. I. Introducción, distribución y variación en características seminales y adaptativas. *In: R. Ipinza, B. Gutierrez, V. Emhart. Eds. Domesticación y Mejora Genética de raulí y roble*. Pp: 133-155.
- INTA. 2012. Mejoramiento Genético de Pinos y Eucaliptos Subtropicales. *In: Resúmenes Jornadas de Actualización Técnica*. EEA Concordia. Ediciones INTA. 60 p.
- Mckenney, D. W., Pedlar, J. H., Lawrence, K., Campbell, K., Hutchinson, M. F. 2007. Potential impacts of climate change on the distribution of North American trees. *BioScience* 57 (11): 939-948.
- SAGPyA. 2005. Mejores árboles para más forestadores: el programa de producción de material de propagación mejorado y el mejoramiento genético en el Proyecto Forestal de Desarrollo. 1a ed. Norverto, C. A. Ed. Buenos Aires: SAGPyA. 241 p.
- Schlichter, T. 2012. Aportes a una política forestal en Argentina: el sector forestal y el desarrollo económico, ambiental y social del país. 1a ed.; Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. MAGyP. Unidad para el Cambio Rural, UCAR. Buenos Aires, Argentina. 92 p.
- Verga, A., 1988. Banco Nacional de Germoplasma de *Prosopis*, en *Prosopis* en Argentina, Primer Taller Internacional sobre Recurso Genético y Conservación de Germoplasma en *Prosopis*, Cosquín, 3 al 8 de octubre de 1988.
- Verga, A., 1995. Genetische Untersuchungen an *Prosopis chilensis* und *P. flexuosa* (Mimosaceae) im trockenen Chaco Argentinien (Estudios genéticos de *Prosopis chilensis* y *P. flexuosa* (Mimosaceae) en el Chaco árido argentino). En: Göttingen Research Notes in Forest Genetics 19. Abteilung für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung der Universität Göttingen. ISSN 0940-7103.
- Verga, A.R. Carranza, C., Ledesma, M. Joseau, J. Diaz, P. 2000. Identificación de fuentes de semilla superior de *Prosopis sp.* para enriquecimiento del bosque nativo en el Chaco árido. Reunión Nacional del Algarrobo, Mendoza, 14 al 17 de noviembre de 2000.





Subprograma *Pinus* y  
*Pseudotsuga*

**Autores.** Gauchat, María E. (a); Belaber, Ector (a); Cappa, Eduardo (f); Vera Bravo, Carlos (b); López, Juan A. (b); Aparicio, Alejandro (d); Fornes, Luis (c); Mondino, Víctor (e); Martínez-Meier, Alejandro (d); Villalba, Pamela V. (g); Marcucci Poltri, Susana N.(g)

(a) INTA EEA Montecarlo, Misiones, (b) INTA EEA Bella Vista, Corrientes, (c) INTA EEA Famaillá, Tucumán, (d) INTA EEA Bariloche, Río Negro, (e) INTA EEA Esquel, EEA Trevelin, Chubut, (f) INTA Instituto de Recursos Biológicos, Castelar, Buenos Aires, (g) INTA Instituto de Biotecnología, Castelar, Buenos Aires.

**Resumen Ejecutivo.** En concordancia con las necesidades de las diferentes regiones del país donde se cultivan coníferas, durante estos últimos años se priorizaron para el mejoramiento genético las siguientes especies: *Pinus taeda*, *P. elliottii*, *P. caribaea* var. *hondurensis*, el híbrido F1 *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* (PEExPCH), *P. patula*, *P. greggii* var. *greggii*, *P. ponderosa* y *Pseudotsuga menziesii*.

En región mesopotámica, la estimación de los valores de mejora en los ensayos de primera generación de *P. taeda* permitió seleccionar los mejores individuos tanto para la conformación de la población de mejora de segunda generación como para la conformación de nuevos huertos. Ambas poblaciones han sido instaladas. También se realizaron evaluaciones de calidad de madera y avances en el desarrollo de técnicas como macropropagación y embriogénesis somática orientadas a la masificación de genotipos de interés.

Se realizaron las evaluaciones al séptimo año de la población de mejora de segunda generación de *P. elliottii* instalada entre 2004 y 2008 en diferentes sitios de la región mesopotámica. Estos resultados fueron capitalizados para la generación de nuevos huertos tanto para la producción de semillas mejoradas de la especie como para la realización de cruzamientos controlados para la producción del híbrido F1 de PEExPCH.

También con el objetivo de abastecer el programa del híbrido se iniciaron actividades de mejoramiento en *P. caribaea* var. *hondurensis*. En 2011, se instalaron ensayos de progenies que fueron evaluados al cuarto año y cuyos resultados permitieron seleccionar los mejores individuos para utilizar en el programa de hibridaciones.

Respecto del híbrido F1 de PEExPCH, el programa de hibridaciones lleva 11 campañas de polinizaciones controladas y 302 familias establecidas a campo. Los resultados de análisis genéticos permitieron la selección de individuos para la generación de un huerto semillero clonal y de familias destinadas a macropropagación.

En la región del noroeste del país, las evaluaciones de los ensayos de procedencias y progenies de *P. patula* y *P. greggii* var. *greggii* han sentado las bases para la generación de fuentes semilleras y programas de hibridaciones interespecíficas.

Por su parte en la región patagónica el desarrollo de material mejorado de coníferas introducidas tanto de *P. ponderosa* como de *Pseudotsuga menziesii* ha sido posible a través de las evaluaciones genéticas de los ensayos de progenies. Estos análisis permitieron la constitución de huertos semilleros de progenies y el raleo de huertos semilleros clonales existentes.

## Introducción

En Argentina las primeras etapas del mejoramiento genético de coníferas se iniciaron a partir de los años 60 y la elección de las principales especies introducidas se realizó teniendo en cuenta su adaptación a las distintas zonas ecológicas y su ritmo de crecimiento. El avance de los Programas de Mejoramiento involucraron numerosos ensayos de especies, orígenes y procedencias. Como resultado de esas experiencias, se lograron reconocer los principales orígenes o las procedencias a las que se debía recurrir como fuentes de semilla para generar plantaciones forestales de mayor rendimiento volumétrico.

En los últimos años y de manera creciente, se reconoce que las ventajas comparativas y competitivas de la foresto-industria en las diferentes zonas núcleos de Argentina ya no sólo se valoran bajo el concepto de biomasa aprovechable en sentido volumétrico sino que interviene de manera significativa la calidad de la madera para usos específicos, particularmente la proporción destinada a procesos de transformación mecánica de alto rendimiento y calidad.

En la cadena forestal, la disponibilidad de material genético superior en calidad y adaptabilidad es uno de los eslabones más importantes. La calidad es entendida en un sentido amplio, buscando reunir varios atributos en los individuos que forman el bosque, particularmente aquellos que disminuyen los costos de producción silvícolas e industriales: velocidad de crecimiento, características favorables de la forma del fuste, del número y calidad de ramas, de las propiedades intrínsecas de la madera. Por otra parte, también consideran aquellas características ligadas a su adaptabilidad a los distintos ambientes de cultivo y a factores bióticos y abióticos.

En concordancia con lo antes mencionado, desde mediados de la década de 1990 los Programas de Mejoramiento Genético de coníferas se potenciaron significativamente no sólo con la ejecución de los proyectos específicos de INTA sino también a través de la ejecución de otras fuentes de financiación como el Programa de Producción de Material de Propagación Mejorado (Convenio de Préstamo 3948 AR (SAGPyA-BIRF) desarrollado entre 1997-2001 y el Programa de Mejoramiento Forestal (PROMEF) del Componente Plantaciones Forestales Sustentables del Proyecto Manejo Sustentable

de los Recursos Naturales (BIRF 7520) administrado por la UCAR del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, que INTA ejecutó desde 2010.

## Objetivos

Disponer de material de propagación genéticamente mejorado por calidad de la madera, crecimiento y adaptabilidad a efectos de incrementar la competitividad y sustentabilidad de la cadena forestal a través de:

- ◆ Evaluaciones y raleos genéticos de huertos semilleros clonales y de progenies.
- ◆ Instalación de nuevos ensayos de progenies.
- ◆ Generación de híbridos intra-interespecíficos.
- ◆ Incorporación de caracteres de calidad de madera y tolerancia a stress abióticos como criterio de selección en los programas de mejoramiento vigentes.
- ◆ Desarrollo de protocolos de propagación vegetativa a través de técnicas de macro y micropropagación y cultivo de embriones inmaduros.
- ◆ Utilización de herramientas biotecnológicas como marcadores moleculares para el monitoreo de la variabilidad genética contenida en los programas de mejora.

Promover y difundir el material genético mejorado al sector productivo.

Difundir los resultados obtenidos en la comunidad científica.

## Actividades y Resultados

### ***Pinus taeda***

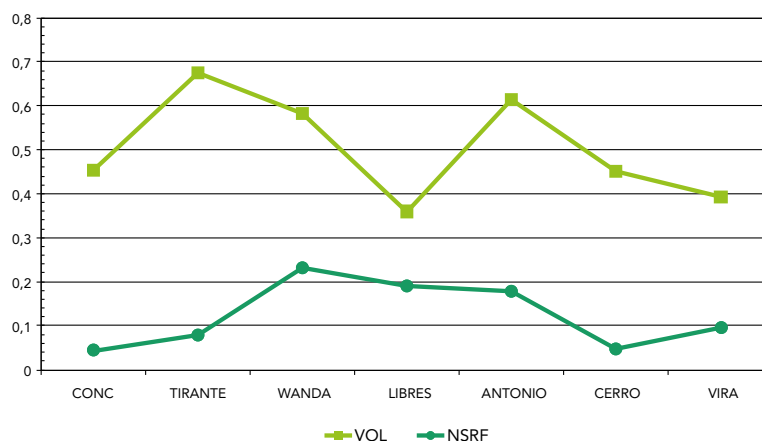
#### **Población de mejora de segunda generación.**

Ector Belaber, Eduardo Cappa, María E. Gauchat, Juan I. Sorge, Jorge Araujo, Cristian Schoffen

El primer ciclo de mejora que INTA llevó adelante para esta especie se intensificó a principios de la década de 1990 con selecciones rea-



lizadas en plantaciones comerciales de orígenes conocidos pertenecientes a las empresas Lipsia S.A., Gruber Hnos., Puerto Laharrague S.A., Larguía e Hijos y Ernesto Reig. Posteriormente se incorporaron nuevas selecciones al programa realizadas por Bosques del Plata e INTA Famaillá. Esta base genética se amplió mediante la infusión realizada entre los años 2005 y 2009, período en el que INTA transfirió al sector público los materiales genéticos que originalmente pertenecían a la empresa PeCom (Rodríguez *et al.*, 2010). Entre los materiales rescatados se encuentran selecciones del área de distribución natural de la especie y de programas de mejora de Sudáfrica. Esta amplia base genética, constituida por más de 900 accesiones, permitió una mayor flexibilidad en los objetivos a futuro, como así también evitar que se produzcan niveles de consanguinidad que comprometan futuras poblaciones de mejoras que deriven de ella. En el año 2011, se realizó un análisis multisitio, el cual contempló los ensayos de la primera generación INTA más los ensayos que aportaron el material de infusión. Los componentes de la varianza para cada rasgo fueron estimados por el método de Máxima Verosimilitud Restringida (REML) y los valores de mejora fueron predichos usando el mejor Predictor Lineal Insegado (BLUP). Las variables utilizadas para el análisis de modelos uni-multicarácter, uni-multisitio fueron aquellas relacionadas a crecimiento (DAP: diámetro a la altura de pecho, AT: altura total y VOL: volumen total) y una transformación de la rectitud de fuste (NSRF) a “scores normales” (Cappa, 2012). Respecto de los parámetros genéticos, a manera



**Figura 1.** Heredabilidades estimadas para VOL y NSRF a los 5 años de edad en 7 ensayos de progenies de polinización abierta de *Pinus taeda* localizados en las provincias de Corrientes y Misiones. (CONC) Concepción, Corrientes; (TIRANTE) Paso tirante, Corrientes; (WANDA) Colonia Wanda, Misiones; (LIBRES) Paso de los libres, Corrientes; (ANTONIO) San Antonio, Misiones; (CERRO) Cerro Azul, Misiones y (VIRA) Gdor. Virasoro, Corrientes.

de ejemplo, en la Figura 1 se muestran valores de heredabilidades obtenidos para las variables volumen y rectitud de fuste en algunos de los sitios evaluados.

Los resultados obtenidos permitieron el avance hacia la constitución del segundo ciclo de mejora de la especie, para lo cual se conformó la nueva población de mejora con ensayos de progenies provenientes de polinización libre y de polinizaciones controladas. La estimación de los valores de mejora mediante el análisis multisitio permitió seleccionar los mejores 200 individuos destinados a formar parte de la población de mejora de segunda generación. Es así como en el año 2012 se cosecharon semillas de los individuos seleccionados con las cuales se

Material	Año de instalación	Cantidad de progenies	Empresa	Ubicación
Polinización libre	2013	176	Lipsia SA	Cnia. Wanda, Misiones
		163	Pto. Laharrague SA	Pto. Laharrague, Misiones
		126	Evasa	San miguel, Corrientes
Cruzamientos controlados realizados en el año 2009	2012	70	Lipsia SA	Cnia. Wanda, Misiones
		73	Pindo SA	Puerto Esperanza, Misiones
Cruzamientos controlados realizados en el año 2010	2013	106	Robicue	Cnia. Wanda, Misiones
		106	Evasa	San miguel, Corrientes

**Tabla 1.** Detalle de los ensayos correspondientes a la población de mejoramiento de segunda generación de *P. taeda*.

produjeron plantines que originaron 3 ensayos de progenies de polinización abierta. Por otra parte, sobre la base de los resultados parciales obtenidos con anterioridad al análisis multisitio realizado en 2011, se diagramó un esquema de cruzamientos controlados que se llevaron a cabo en los años 2009 y 2010. Estas cruzas fueron cosechadas en los años 2011 y 2012, instalándose 4 ensayos con materiales originados por polinizaciones controladas (Tabla 1).

### Población de producción.

Ector Belaber, María E. Gauchat, Juan I. Sorge, Jorge Araujo, Cristian Schoffen

Uno de los principales objetivos de los programas de mejora es transferir al sector productivo los mejores materiales disponibles. Los huertos semilleros clonales (HSC) son áreas de producción de semillas genéticamente superiores y que usualmente están constituidos por un número reducido de clones seleccionados por su superioridad en las características de interés de manera de maximizar las ganancias a transferir. Los HSC que están actualmente en producción son aquellos originados en el primer ciclo de mejora (HSC 1G) y que luego fueron raleados genéticamente a partir de las evaluaciones realizadas (HSC 1.5G). El proceso de selección de la segunda generación incluyó también los mejores 25 individuos destinados a la conformación del HSC de segunda generación (HSC 2G). Estos selectos fueron movilizados a través de injertos en los años 2012 y 2013 (Figura 2) que luego fueron plantados en 2013 y 2014 en el Campo Anexo Manuel Belgrano (CAMB), San Antonio, Misiones (Figura 3). Las ganancias esperadas de estas áreas de producción junto a aquellas correspondientes a los cruzamientos controlados realizados se muestran en la Figura 4.

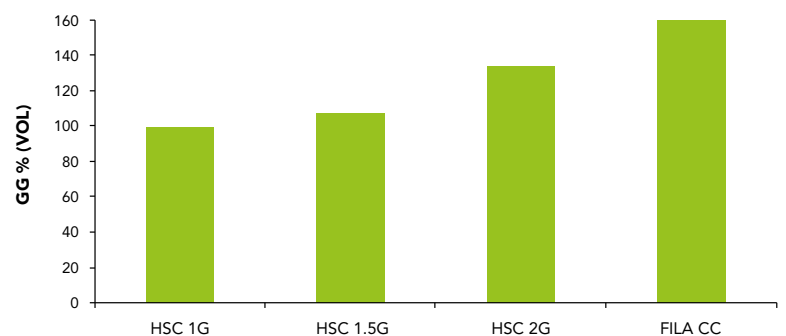
Para dar continuidad de transferencia de los mejores materiales del programa, parte de los cruzamientos controlados serán destinados a la producción de *cuttings*, permitiendo obtener mayores ganancias por unidad de tiempo. Otra parte de los cruzamientos son destinados a embriogénesis somática, técnica mediante la cual se obtendrán clones propiamente dichos.



**Figura 2.** Injertos realizados de *P. taeda* en el año 2013. A) detalle del material vegetativo utilizado para realizar el injerto. B) Detalle de injerto realizado.



**Figura 3.** Vista en 2015 del HSC 2G de *P. taeda*



**Figura 4.** Ganancias en volumen de los diferentes huertos semilleros clonales (HSC 1G, HSC 1.5G y HSC 2G) y familias de Cruzamientos Controlados (Fila CC) de *P. taeda*.

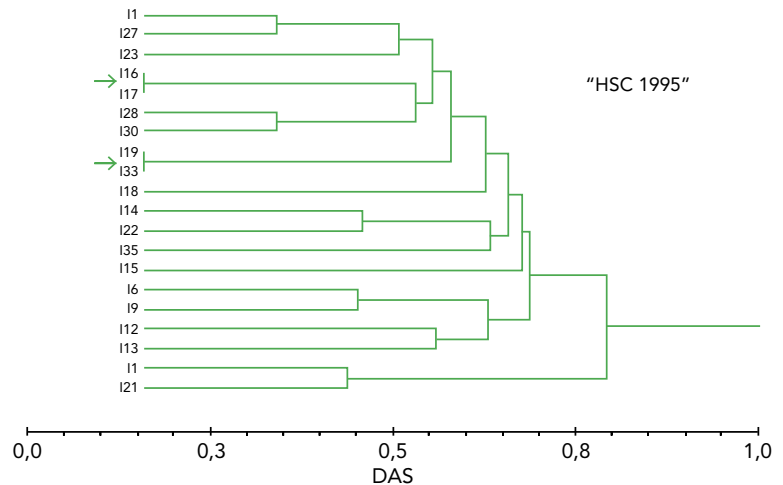
## Diversidad genética en huertos semilleros clonales.

Pamela V. Villalba, Andrea Acosta, Susana Torales, Gustavo Rodríguez, María E. Gauchat, Leonardo Gallo y Susana N. Marcucci Poltri

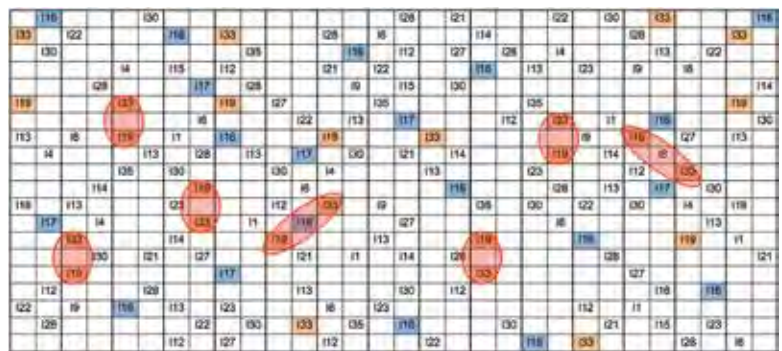
Con el objetivo de determinar el grado de diversidad genética de los genotipos que integran los HSC, se analizó la identidad, diversidad y la distancia genética entre los clones y rametos provenientes de seis poblaciones de huertos semilleros clonales (HSC) de *Pinus taeda* L, implantados en la provincia de Misiones. Este material fue seleccionado según superioridad de crecimiento y criterios de forma de fuste del programa de mejoramiento del INTA; se utilizaron microsatélites (SSR) para pautar estrategias de manejo que eviten que pares de clones similares estén próximos físicamente entre sí, evitando los efectos de la endogamia en las semillas producidas.

Se evaluaron 138 clones provenientes de seis HSC emplazados en el CAMB, San Antonio, Misiones. En todos los casos el espaciamiento de los individuos fue de 6 x 6 metros y cubren una superficie aproximada de 12 ha y su producción promedio es de 74,3 kg/ha/año. Se disponen de datos de ordenamiento de cada clon selecto de *Pinus taeda* L. en los que se exponen los siguientes datos: localización del árbol, características fenotípicas (priorizándose criterios definidos en forma, principalmente rectitud de fuste y superioridad en caracteres volumétricos), destino y origen del material genético. Los HSC se denominaron, para una mejor identificación, con la sigla HSC seguido del año de implantación: 1993, 1994, 1999, 2001, exceptuando el huerto Bulk 2001, el cual fue nombrado de esta forma debido a que es un conjunto de individuos de distintos orígenes.

Se utilizaron 10 SSR que permitieron obtener el índice de distancia genética (DAS, del inglés Shared Allele Distance) entre los pares de individuos considerados, que puede valer entre 0 (los individuos tienen todos los alelos iguales) o 1 (los individuos no tienen ningún alelo igual). Para una visualización más clara de los datos se obtuvieron los dendrogramas (representaciones gráficas de los agrupamientos) de cada HSC, los cuales permiten visualizar en forma rápida aquellos individuos similares en su genotipo. A modo de ejemplo del método em-



**Figura 5.** Dendrograma de los clones que constituyen el HSC 1995. Se indica el valor de Distancia Genética (DAS) y con flechas grises se indicaron aquellos pares de individuos con menor distancia genética.



**Figura 6.** Plano del HSC 1995 con pares de individuos críticos.

pleado, en la Figura 5 se puede observar que la mayoría de los clones del HSC 1995 se pueden discriminar entre sí excepto por dos pares de individuos que mostraron distancias menores o iguales a 0,3 (I16-I17 y I19-I33).

Con toda la información que se obtuvo previamente se determinaron los pares de individuos críticos, es decir, aquellos pares de individuos que mostraron distancia genética menor o igual a 0,30 (muy similares genéticamente) y que además estaban próximos entre sí en el plano físico de cada HSC (Figura 6).

En el plano de implantación se identificaron los pares críticos (próximamente a menos de 8,5 metros) y se señalaron con un círculo rojo.

En conclusión, en base a la información obtenida por los análisis moleculares se pudo determinar el grado de similitud entre los individuos, así como confirmar la identidad de los rametos pertenecientes a los mismos. Con esta infor-

mación se evidencia la importancia de la utilización de marcadores moleculares como una herramienta complementaria en los programas de mejoramiento genético forestal para garantizar la calidad genética de la semilla y evitar la presencia de individuos críticos en las poblaciones que pueden ocasionar inconvenientes a largo plazo y pérdidas no sólo monetarias sino de tiempo a los productores de semillas mejoradas de *P. taeda*

### Densidad de la madera juvenil de la población de mejoramiento de primera generación.

Augusto Javier López

En 7 ensayos de progenies de *P. taeda* de polinización libre, instalados por el grupo de mejoramiento de la EEA del INTA Montecarlo en las provincias de Misiones y Corrientes, se realizó un muestreo no-destructivo (Figura 7 y 8) con barreno Pressler de 5 mm de diámetro en una subpoblación constituida por 110 progenies y 1 testigo comercial (APS Marion, Colonia Delicia). Dicha subpoblación ( $\approx 50\%$  de la población de mejoramiento) incluyó progenies con ganancias genéticas altas, medias y bajas en volumen, teniendo como base un análisis conjunto de los 7 ensayos realizados con anterioridad. Para cada progenie y en cada sitio se muestrearon entre 8 y 10 individuos haciendo una población muestral de aproximadamente 6000 árboles. En el Laboratorio de la EEA del INTA Bella Vista se determinó la densidad básica de la madera juvenil utilizando el método del máximo contenido de humedad. Para la estimación de la heredabilidad aditiva ( $h^2_a$ ) se utilizó un coeficiente de parentesco conserva-



**Figura 7.** Auxiliares del equipo de trabajo preparándose para iniciar el muestreo en uno de los ensayos instalados en el norte de Corrientes.

dor de 0,3 dado que la mayoría de las progenies evaluadas proceden de selecciones realizadas en plantaciones comerciales F1.

Los resultados preliminares, considerando las 68 mejores familias (40 con ganancias genéticas altas en volumen y 28 con ganancias genéticas medias) y a través de un análisis conjunto incluyendo 4 de los 7 sitios (San Antonio (Misiones), Paso Tirante, Concepción y Paso de los Libres (Corrientes)) indicaron que la densidad de la madera juvenil evidenció un importante control genético ( $h^2_a=0,40$ ). Por su parte, la interacción genotipo-ambiente resultó no significativa ( $r_{GB}=0,90$ ) demostrando que la estabilidad genética de la densidad de la madera juvenil de las progenies analizadas fue alta e independiente de las diferencias edáficas y climáticas donde se desarrollaron los ensayos. Esta información preliminar resulta de gran interés para el desarrollo de futuras estrategias de mejoramiento genético de la especie.



**Figura 8.** Procedimiento de muestreo de tarugos y posterior sellado de orificio originado por la extracción de tarugo.

## Propagación clonal familiar vía Macropropagación.

Carlos Vera Bravo, Paola González, Ector Belaber y María E. Gauchat

La silvicultura familiar clonal en *P. taeda* es una alternativa productiva que en un futuro cercano tomará mayor importancia y difusión en el NE de Argentina al igual que lo ocurrido en otros países. Por ello, a efectos de generar protocolos de uso público para los viveristas de la región, se iniciaron diferentes estudios. Entre los resultados obtenidos, producto de un ensayo de fertirriego por inundación utilizando una solución nutritiva completa con distintas dosis de nitrógeno y progenies procedentes de 10 individuos del Huerto Semillero Clonal del INTA (San Antonio, Misiones), se obtuvo una producción promedio por planta madre (Figura 9A) de 52 brotes para enraizamiento (Figura 9B) en 7 cortes consecutivos. El porcentaje de enraizamiento a nivel de familias varió entre 35% y 90%. Además se comprobó que dicho porcentaje de enraizamiento no mejoró con el incremento de las dosis de nitrógeno. En cuanto al efecto de la edad de descope (*topping*) y el porcentaje de sombra sobre el enraizamiento de 21 familias de cruzamientos controlados manejadas en bandejas dentro de vivero, se observó la conveniencia de realizar el descope a los 3 meses de edad. Esto produjo mayor número de cosechas

con un enraizamiento del 75% en la mayoría de las familias evaluadas. En relación a los distintos niveles de sombra, no se observó una respuesta diferencial. Actualmente se está ajustando el manejo de setos a campo utilizando familias de cruzamientos controlados. Los ajustes desarrollados hasta el presente contribuirán al mejoramiento de la eficiencia de los viveros que se estén iniciando en este tipo de propagación.

## Embriogénesis somática.

Carlos Vera Bravo, Ector Belaber y María Elena Gauchat

A diferencia de otros géneros como muchas especies de eucaliptos, los árboles adultos de *P. taeda* no rebrotan de cepa y se muestran recalcitrantes a la propagación vegetativa, con lo cual la transferencia en forma de clones de los mejores genotipos del programa de mejoramiento no puede ser trasladada a plantaciones comerciales sin la utilización de la técnica de embriogénesis somática. Por ello, en una primera etapa se cosecharon durante varias semanas conos inmaduros procedentes de 12 individuos del Huerto Semillero Clonal del INTA (San Antonio, Misiones, Figura 10) y conos de familias de cruzamientos controlados, a efectos de determinar el mejor período de cosecha de los conos para optimizar el cultivo *in vitro* de

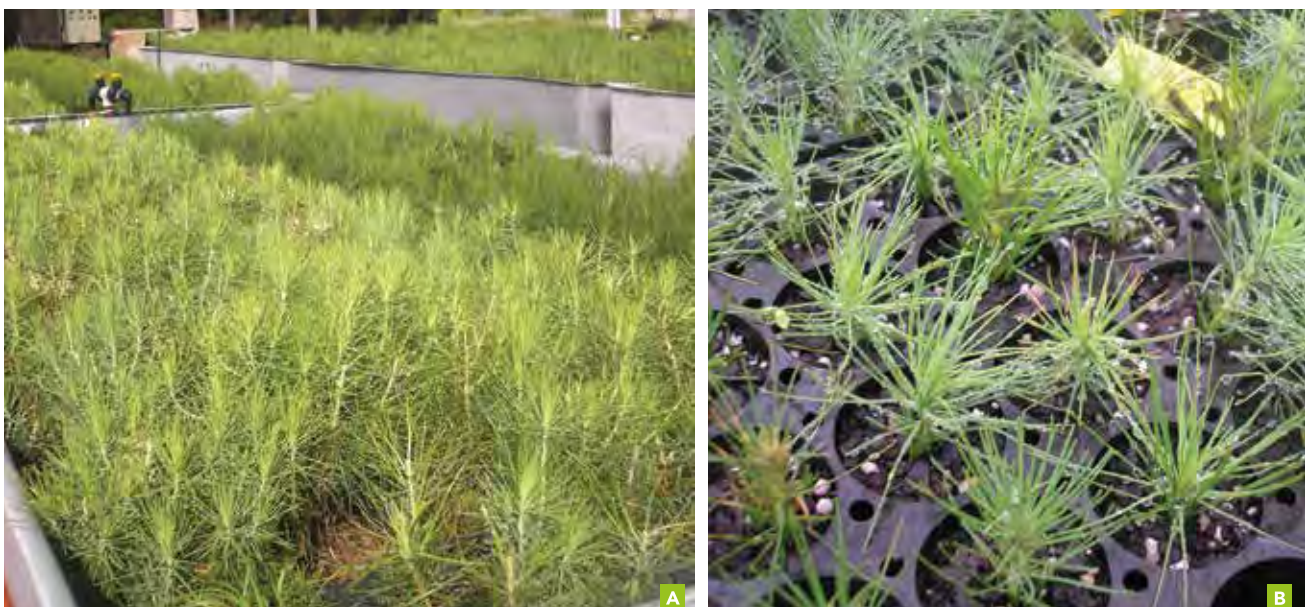
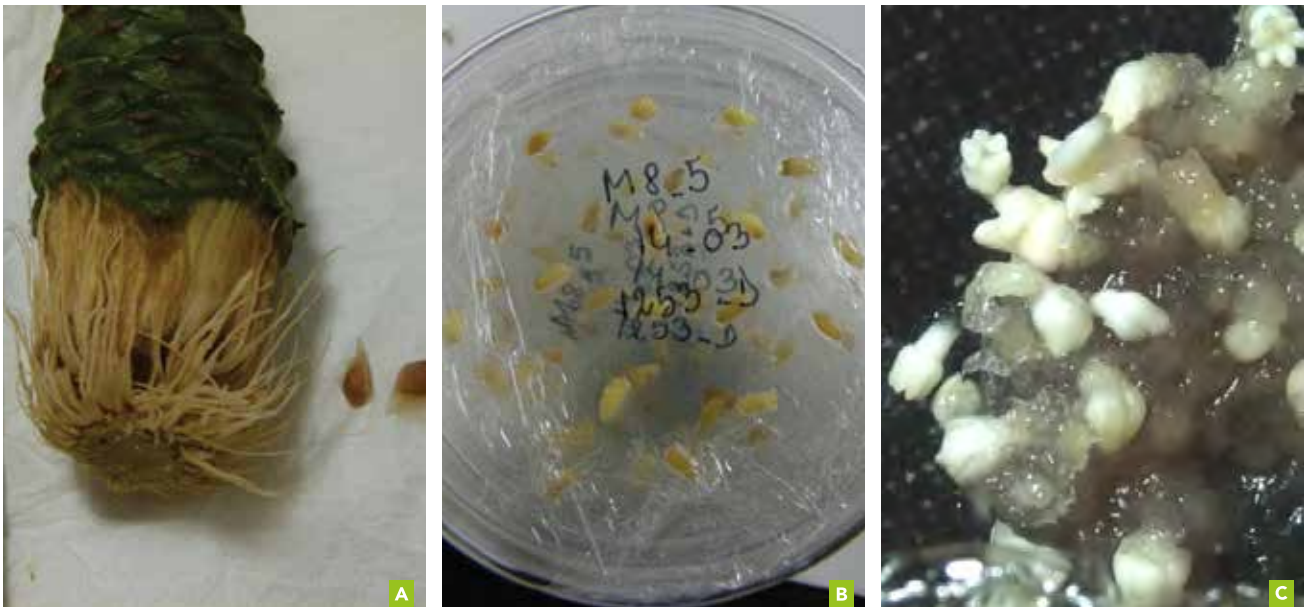


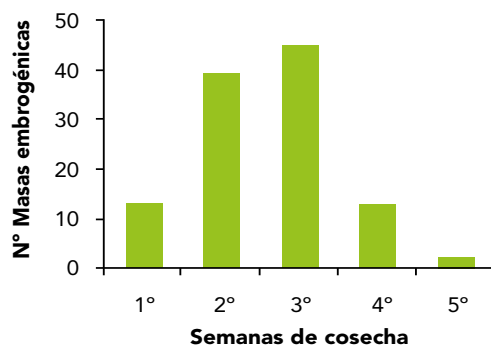
Figura 9. A) plantas madres productoras de estacas. B) brotes en proceso de enraizamiento



**Figura 10.** A) Cono inmaduro de donde se extraen las semillas. B) Megagametofitos cultivados *in vitro*. C) masas embriónicas en proceso de maduración.

los megagametofitos (ventana de desarrollo del embrión) y lograr la mayor inducción de masas embriónicas (ME).

Los principales resultados permitieron determinar que la ventana óptima de cosecha y cultivo de embriones inmaduros fue la segunda y tercera semana de cosecha (correspondientes a la última semana de diciembre y primera de enero), momento en el que la mayoría de los embriones cigóticos se encontraban con un grado de desarrollo entre fase 2 a 4, obteniéndose mayor número de masas embriónicas (Figura 11). Las masas embriónicas obtenidas representaron el 1,76% de los megagametofitos cultivados. A pesar de que las fases de desarrollo de los embriones fueron las mismas para todas las familias, no todas ellas produjeron masas embriónicas. Debido a que el desarrollo del embrión cigótico puede variar de un año a otro en función de las condiciones climáticas, es necesario monitorearlo previo al cultivo *in vitro*. Por último, los resultados parciales obtenidos estimulan avanzar en el desarrollo de las siguientes etapas para lograr el ajuste de esta técnica.



**Figura 11.** Inducción de masas embriónicas por semanas de cultivo de embriones inmaduros.

### ***Pinus elliottii* var. *elliottii*.**

#### **Población de mejoramiento y producción de segunda generación.**

Ector Belaber, Eduardo Cappa, María E. Gauchat, Gustavo Rodríguez, Juan I. Sorge, Jorge Araujo, Cristian Schoffen

El segundo ciclo de mejora de la especie se estableció a través de dos redes de ensayos implantadas en los años 2004 y 2008. Los ensayos establecidos en el año 2004 incluyeron 210 familias y fueron instalados en 5 sitios del noreste argentino -2 en Misiones y 3 en Corrientes (Rodríguez *et al.*, 2009, 2012)-, mientras que los implantados en 2008 incluyeron 400 familias probadas

en 6 sitios -2 en Misiones y 4 en Corrientes. Utilizando la metodología REML-BLUP se realizó un análisis familiar de la red 2004 a los 7 años de edad. Los resultados determinaron que la variabilidad genética entre familias fue significativa y puede ser aprovechada para la mejora del crecimiento en volumen. Las estimaciones de parámetros genéticos mostraron altos valores de heredabilidad familiar en diámetro (entre 0,29 y 0,41) y en altura (entre 0,16 y 0,25) según los sitios. Las familias no interactuaron significativamente con el ambiente de los sitios ensayados en su desempeño en diámetro y altura. El análisis conjunto de estas dos redes fue realizado en 2015 y sus resultados permitieron el raleo de huertos semilleros y la selección de individuos. Estas últimas comprenden la elección de los 20 mejores individuos destinados a la conformación de un huerto semillero clonal de segunda generación que será instalado en el CAMB San Antonio, Misiones. La superioridad de los individuos a multiplicar para el huerto estuvo dada por la utilización de un índice que combinó volumen y rectitud de fuste en una proporción 0,6:0,4 respectivamente.

### Huertos de cruzamiento.

Ector Belaber, María E. Gauchat, Juan I. Sorge, Jorge Araujo, Cristian Schoffen

Además de mejorar a *P. elliottii* para su implantación como especie pura, los avances logrados en este programa son de relevancia para la obtención de nuevos híbridos  $F_1$  entre *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* (PEE x PCH). En tal sentido, disponer de las mejores individuos de *P. elliottii* para realizar las hibridaciones incrementa sustancialmente las probabilidades de obtener mejores híbridos. Es por ello que con los resultados de los análisis realizados a la red 2004 a la edad de 7 años, se inició la instalación de un huerto de cruza. Para su conformación fueron movilizados a través de injertos los 20 mejores individuos. Para facilitar las actividades de hibridación los diferentes clones fueron implantados en parcelas de 9 árboles. La etapa de multiplicación fue realizada entre 2012 y 2014 y la instalación del huerto de cruzamientos fue realizada entre los años 2013 y 2015. Actualmente se realizan trabajos de manejo de copa que permitirán que los trabajos de

hibridación se realicen a bajas alturas, disminuyendo los riesgos de accidentes y los costos de hibridación.

### ***Pinus caribaea* var. *hondurensis***

#### Población de mejora y conservación.

Ector Belaber, Juan A. López, María Elena Gauchat, Hugo Reis, Rafael Scherer, Juan Ignacio Sorge, Cristian Schoffen

Con el fin de incrementar la variabilidad genética de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PCH), para la generación del híbrido de PEE x PCH producido por INTA, se seleccionaron fenotípicamente por volumen y rectitud del fuste 47 árboles candidatos (Figura 12 A y B) utilizando la metodología de árbol comparación en relación a los árboles dominantes de cada parcela. La selección se realizó en dos ensayos de orígenes de PCH implantados en 1973 y 1981 en la EEA del INTA Bella Vista, Corrientes. Parte de los selectos fueron movilizados vía injertos (Figura 12D) y se encuentran conservados en el CAMB San Antonio, Misiones.

La incorporación de este material tiene una significativa importancia dado que los individuos seleccionados corresponden a cosechas realizadas en gran parte del área de distribución natural de la especie (Belice, Guatemala, Honduras y Nicaragua). En dichas regiones, debido a la tala furtiva e indiscriminada, actualmente la mayoría son bosques degradados y de segunda generación. Sumado a ello, algunos orígenes de Honduras con buen comportamiento en el noreste de Argentina (presentes en estos dos ensayos), como Isla Guanaja y Los Limones, fueron casi totalmente destruidos en 1998 por el huracán Mitch.

Por otra parte, la Empresa Pindó SA realizó en campos de su propiedad selecciones fenotípicas de PCH, identificando 170 individuos superiores. Los criterios utilizados en este proceso estuvieron en concordancia con aquellos aplicados por el INTA, priorizando volumen y rectitud de fuste.

Con el fin de poder evaluar ambos grupos de selectos, en 2010 se organizó la cosecha de conos de estos árboles (Figura 12E) para la posterior obtención de semillas y plantines en vivero. Como resultado de esta actividad se implanta-



**Figura 12.** A y B) Vista de un selecto en el ensayo de orígenes Oxford (1973), C). Operario escalando para cosechar púas y conos, D) Púa para injerto y E) Conos cosechados de un individuo seleccionado.



**Figura 13.** A) Vista del ensayo de Puerto Esperanza en Mayo de 2015. B) Vista del ensayo de San Antonio en Junio de 2015.

Carácter	Sitio	Media	$\hat{h}_N^2$
DAP (cm)	1	13,62 (2,53)	0,42 (0,08)
	2	13,94 (2,41)	0,64 (0,10)
AT (m)	1	8,46 (1,47)	0,19 (0,05)
	2	8,27 (1,38)	0,31 (0,06)
VOL (dm <sup>3</sup> )	1	65,46 (28,57)	0,39 (0,08)
	2	66,64 (26,69)	0,58 (0,09)
NSRF	1		0,23 (0,06)
	2		0,22 (0,06)
NSDR	1		0,11 (0,04)
	2		0,30 (0,04)
NSAR	1		0,15 (0,05)
	2		0,36 (0,07)

**Tabla 3.** Medias fenotípicas y heredabilidades ( $\hat{h}_N^2$ ) desvíos estándar entre paréntesis del diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total (ÁT), volumen (VOL) y las transformaciones de rectitud de fuste (NSRF), diámetro de rama (NSDR) y ángulo de rama (NSAR).

ron dos ensayos de progenies en el año 2011 en el norte de la provincia de Misiones. Los ensayos se implantaron en Puerto Esperanza (sitio 1) y San Antonio (sitio 2), contando con 76 y 113 progenies respectivamente. Al cuarto año (2015) (Figura 13 A y B), se realizaron las me-



diciones de caracteres de crecimiento, rectitud de fuste, diámetro y ángulo de ramas.

En la tabla 3 se pueden apreciar los promedios fenotípicos y heredabilidades obtenidos luego de los análisis realizados. Previo al análisis genético las variables rectitud de fuste, diámetro y ángulo de ramas fueron transformadas a “scores normales” (Cappa, 2012). Los valores de heredabilidad para las diferentes variables fueron de moderados a altos, lo cual permitirá obtener ganancias mediante la selección. Al igual que en PEE estas selecciones en PCH permitirán obtener mejores parentales masculinos para la producción de híbridos F1.

Las correlaciones genéticas entre sitios fueron de moderadas a altas (0,64 a 0,96) para todas las variables analizadas, asegurando la estabilidad del ranking genético.

### Diversidad genética y efectos de la selección.

Patricia Schmid, Susana Marcucci Poltri, Leonardo Gallo, María Elena Gauchat

La actividad de mejoramiento genético forestal en plantaciones con especies exóticas implica varias instancias de selección del material donde puede reducirse la variación genética. El objetivo del trabajo fue monitorear la variabilidad genética presente en plantaciones locales de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* y estudiar el efecto causado por la selección fenotípica en la diversidad de la población selecta. La población analizada de 169 individuos fue evaluada mediante 12 microsatélites desarrollados para *P. taeda*. La diversidad promedio de la muestra de la plantación fue relativamente menor a lo reportado en la literatura para esta especie u otras del mismo género. No se observó estructura genética mediante análisis Bayesianos (STRUCTURE), ni mediante AMOVA. El 97% de la variación se debió a variación entre individuos dentro de los grupos. El efecto de selección sobre la diversidad se evaluó comparando la diversidad del conjunto de árboles seleccionados denominado “población selecta” versus la “población base”. No se evidenció pérdida de diversidad genética ( $H_e$ ) ni diferenciación genética (AMOVA) entre ambos grupos. Este estudio sugiere que la población evaluada posee niveles de diversidad genética representativa

del área de distribución natural de la especie y que la selección practicada preservó la diversidad genética de la plantación.

### Pino híbrido F1 (*P. elliotii* var. *elliotii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*)

#### Instalación de ensayos y evaluaciones genéticas.

Ector Belaber, Eduardo Cappa, María E. Gauchat, Juan Ignacio Sorge, Jorge Araujo, Cristian Schoffen

Dando continuidad al programa iniciado en el año 2004, el cual tiene como principal objetivo la generación de material y el mejoramiento de materiales híbridos para ser transferidos a productores forestales, se describen a continuación las actividades desarrolladas y los logros obtenidos.



Figura 14. Localización geográfica de los ensayos de progenies híbridas F1. Entre paréntesis se indica el número de ensayos por localidad.

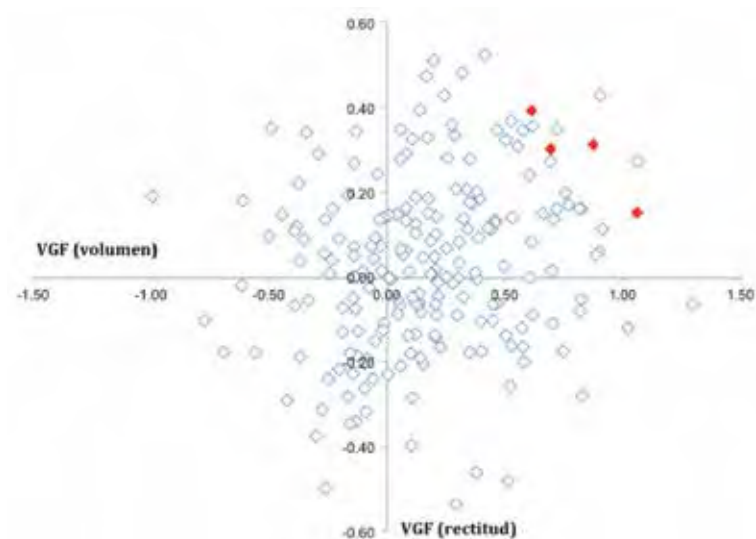
Entre los años 2011 y 2015 se realizaron 5 campañas de cruzamientos controlados, de las cuales 3 ya fueron cosechadas. Los conos correspondientes a las polinizaciones realizadas en los años 2014 y 2015 se hallan en etapa de maduración y serán colectados en los años 2016 y 2017. Tanto los cruzamientos realizados en el marco de este proyecto como aquellos realizados con anterioridad permitieron la instalación a campo de 13 ensayos de progenies híbridas F1 representadas por 302 familias (Figura 14). En general los ensayos se plantaron en bloques completos con tratamientos aleatorizados y parcelas de una planta, salvo los sitios 1 y 2 en los cuales las parcelas son de 5 árboles en línea. Los ensayos implantados en Misiones se sitúan en suelos rojos profundos en su mayor proporción, mientras que el sitio instalado en la provincia de Corrientes corresponde a suelos arenosos.

Esta red de ensayos constituye la base para el mejoramiento de este híbrido, ya que su evaluación permitió la selección de los mejores materiales. En este sentido, la primera evaluación genética, realizada en el año 2011 sobre 2 ensayos de progenies que fueron instalados en el año 2007, posibilitó la selección de 3 familias de alta performance. Dichas familias fueron reproducidas vía cruzamientos controlados en el año 2013 y en la actualidad están siendo utilizadas para la producción masiva de plantines. La estrategia de transferencia al sector productivo de estas selecciones se basa en la multiplicación vegetativa mediante el uso de plantas madres (Figura 15).

Actualmente se está en una etapa de análisis y readecuación de la estrategia de mejora genética y de transferencia del material selecciona-



**Figura 15.** Plantas madres destinadas a la propagación vegetativa.



**Figura 16.** Valores genéticos de 207 familias híbridas F1 de *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis*. Los rombos rojos indican las familias seleccionadas para propagación vegetativa.

do. En esta fase la información obtenida de las evaluaciones de ensayos es una herramienta fundamental para la toma de decisiones. En tal sentido, en el primer semestre del año 2015 se realizó la segunda evaluación genética de los materiales híbridos, la cual abarcó los 7 ensayos de mayor edad. Esta evaluación, además de aportar información estratégica, fue utilizada para la conformación de un ranking genético tanto familiar como individual. El ranking familiar permitió la selección de 4 familias nuevas, de las cuales se está generando semillas a través de nuevos cruzamientos controlados para destinarlas al esquema de propagación vegetativa. La Figura 16 muestra los valores genéticos familiares (VGF) en volumen y en rectitud de fuste de las 207 familias evaluadas. Las familias seleccionadas se resaltan en color rojo. Por otro lado, el ranking genético individual hizo posible la identificación de árboles genéticamente superiores, los cuales están siendo propagados vía injertos para la conformación de un huerto semillero clonal para producción de semilla F2. El objetivo principal de este huerto es poder llegar con este material seleccionado a viveros con bajo grado de tecnificación, para los cuales las semillas es el único material con el cual pueden generar plantines.



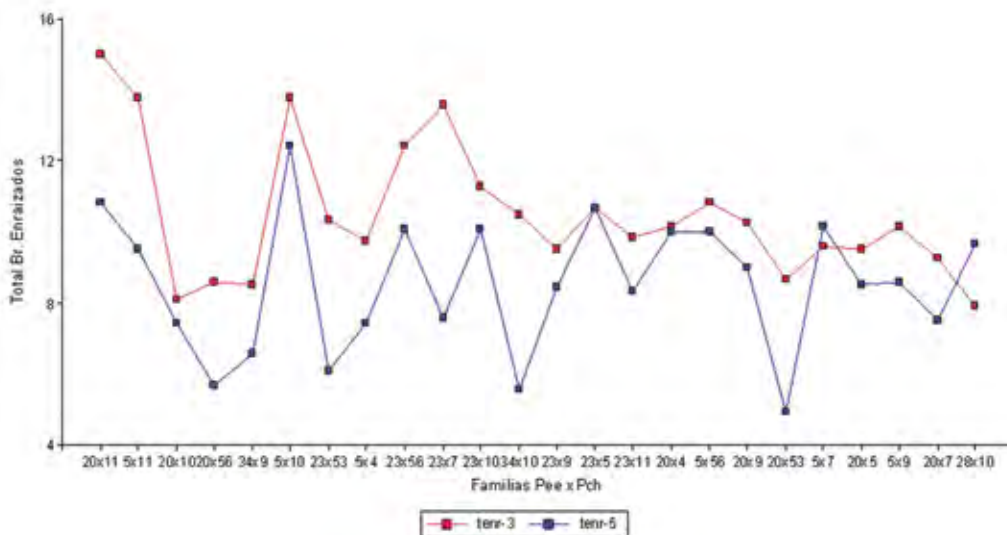
**Figura 17.** A) Planta madre con brotes luego del *topping*. B) Brotes cosechados para su posterior enraizamiento. C) Brotes en proceso de enraizamiento instalados en contenedores.

### Macropropagación.

Paola González, Ector Belaber y María E. Gauchat

A partir de cruzamientos controlados de pino híbrido F1 generados por INTA y con el objetivo de lograr un mayor número de plantas madres por plantín de semilla F1 en un período de un año, se ha desarrollado un protocolo de macropropagación. De esta manera se podrían producir a corto plazo plantas genéticamente mejoradas. Para este desarrollo se utilizaron plantas de 24 familias de híbrido F1, provenientes de semillas sembradas a fines de diciembre del 2009. El *topping* (corte apical) se realizó a los 3 y 5 meses de edad. Cada familia se hallaba repetida 12 veces por edad al momento

de *topping*. En la Figura 17 (A, B y C) pueden observarse las plantas dadoras de estacas, el tipo de brotes cosechados y estacas en proceso de enraizamiento. Las plantas se encontraban creciendo en condiciones de invernáculo, con media sombra al 80% y riego controlado. Las variables estudiadas fueron: n° de brotes totales, n° de plantas sobrevivientes y n° de estacas enraizadas por familia en las diferentes edades de *topping*. El ensayo se prolongó hasta que las plantas dadoras de estacas cumplieron 1 año de edad. Los resultados obtenidos han demostrado un efecto de interacción significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre las edades de cortes y las familias para todas las variables estudiadas. Se pudo observar que 20 familias mostraron un mayor número de plantas enraizadas cuando el *topping* fue realizado a los 3 meses de edad, sólo 2 familias



**Figura 18.** Efecto de la interacción de los factores Familias y de las edades (3 y 5 meses) de *Topping*, sobre el total de brotes enraizados.



**Figura 19.** Vista del ensayo de orígenes y progenies en El Siambón (1100 msnm), Tucumán, al 3° año.

presentaron mayor número de plantas cuando se realizó a los 5 meses y 2 familias mostraron valores similares en las dos edades de *topping* (Figura 18). Para el grupo de familias probadas y teniendo presente los diferentes períodos de *topping*, se puede concluir que realizar el *topping* a los 3 meses de edad posibilita la obtención de una mayor cantidad de plantas madres.

### ***Pinus patula* y *P. greggii* var. *greggii***

Luis Fornes, Adrián Trápani y Eduardo Cappa

Al ascender altitudinalmente por encima de los 800 y hasta los 3000 msnm, los pinos mexicanos ofrecen una alternativa con un excelente desarrollo para la provisión de madera con fines industriales, siendo *P. patula* y *P. greggii* las especies de altura más plantadas en el mundo. Las regiones con serranías, tales como el NOA, presentan el mayor potencial para el cultivo de

estas especies en Argentina. Actualmente, la mayor superficie plantada con *P. patula* se encuentra en la provincia de Jujuy (Fornes, 2005), la cual sirvió como fuente de selección principal para iniciar un programa de mejora de la especie en Argentina. Como parte del mismo, en octubre del año 2005 se instalaron los ensayos de orígenes/procedencias y de progenies de *P. patula* y *P. greggii* var. *greggii* (Figura 19).

El diseño experimental utilizado fue Alfa-latice de filas y columnas en bloques completos con 16 repeticiones dispuestas en parcelas mono-árbol a un distanciamiento de 3 m x 3 m. El material genético probado de *P. patula* estuvo integrado por 54 familias de polinización abierta de selecciones locales (El Fuerte, Departamento Santa Bárbara), sumado a 16 familias provistas por la Universidad de Chapingo (México) y materiales enviados por el Banco de Germoplasma del DANIDA (6 familias de *P. patula* sudafricanas y 11 familias de *P. patula* var. *tecunumanii*). Como testigo comparativo se agregó un testigo comercial proveniente de un Huerto Semillero Clonal de Sudáfrica. En cuanto al *P. greggii*, en la Tabla 4 se detalla el material genético en estudio.

Las variables evaluadas fueron sobrevivencia, forma y productividad, la última mediante la medición de DAP y altura total. La “forma” se caracterizó mediante observaciones visuales en una grilla de 6 categorías, teniendo en cuenta rectitud del fuste, frecuencia de ramas basales, grosor de ramas, presencia de bifurcaciones, tortuosidades y malformaciones.

El procesamiento de los datos se realizó usando el software SAS V 8.0, mediante Proc Mixed, usado para Modelos Lineales Mixtos. Para la estimación de los parámetros genéticos se uti-

Origen	Lat. N.	Lon. W.	Altitud (msnm)	Precipit. (mm)	Temp. Media Anual (°C)	N° de familias
64-El Madroño, Qro.	21°16'	99°09'	1750	1200	17	9
63-El Piñón, Hgo.	20°57'	99°13'	1830	850	17	9
83-Valle Verde, Qro.	21°29'	99°10'	1300	1400	18	9
62-Pemuxtitla, Molango Hgo.	20°48'	98°44'	1400	1500	18	11
84-Laguna Seca, Hgo.	21°04'	99°10'	1720	800	19	8
93-Zacualpan, Ver.	20°26'	98°20'	1500	1860	18	10
85-Cieneguilla, Hgo.	20°44'	99°02'	2000	700	17	9

**Tabla 4.** Ubicación y características generales de los orígenes de *Pinus greggii* var. *greggii*.

Variables	DAP		ALTURA		FORMA	
	Significancia (Pr > F)	Varianza (%)	Significancia (Pr > F)	Varianza (%)	Significancia (Pr > F)	Varianza (%)
Procedencia	ns	-	ns	-	ns	-
Familia	**	11,40	**	3,00	*	0,80
Columna	ns	0	**	7,00	ns	0
Fila	x	0,10	ns	0	ns	0
Repetición	ns	0	**	4,25	ns	1,20
Error Exp.	-	88,50	-	85,75	-	98,00

**Tabla 5.** significancia estadística y porcentaje de la varianza total (alfa 0,05) de las diferentes fuentes de variación para DAP, altura y forma de *P. patula*.

lizó el Proc VarComp y a partir de estos se estimaron los coeficientes de heredabilidad en sentido restringido ( $h^2$ ). La relación entre las mediciones de Altura y DAP entre el tercer y el octavo año muestran una correlación moderada aunque significativa, por lo que no se recomienda realizar una evaluación final a una edad muy temprana. Con respecto a la correlación entre las variables productivas y la forma, si bien es levemente negativa, no es significativa y por ende se pueden considerar como independientes en su comportamiento.

En *P. patula*, los resultados para las tres variables analizadas se muestran en la tabla 5. El ANOVA muestra un CV de 18 % y un DAP promedio de 20,4 cm, es decir que el ritmo de crecimiento promedio fue de 2,55 cm/año, llegando a un máximo de 4 cm/año en algunos individuos. Así, el DAP es el carácter con mayores posibilidades de mejora con una  $h^2=0,37$ . Para

la altura total, el CV fue bajo (10 %) y la altura total promedio al octavo año fue de 15 m, lo que habla de la alta precisión del diseño experimental utilizado. Las diferencias mostradas en las columnas se deben a la disposición del ensayo en el sitio, el cual presenta una pendiente en sentido oeste-este, lo que produce una mayor disponibilidad de agua y nutrientes en la zona más baja, siendo la altura una variable muy sensible a la calidad de sitio. El  $h^2$  para la altura total fue 0,10, valor frecuente para esta variable, que depende en gran medida del ambiente. La sobrevivencia general del ensayo fue del 86% y solo se redujo en un 2% entre el tercer y el octavo año de evaluación, destacando la buena adaptación del material genético de *Pinus patula* var. *patula* y la baja adaptación a zonas de altura de *Pinus tecunumanii* (proveniente del Banco de Germoplasma del DANIDA) que solo sobrevivió un 3,5%.

Variables	DAP		ALTURA		FORMA	
	Significancia (Pr > F)	Varianza (%)	Significancia (Pr > F)	Varianza (%)	Significancia (Pr > F)	Varianza (%)
Origen	ns	-	ns	-	ns	-
Familia	**	7,20	**	5,45	**	5,00
Columna	*	2,00	**	1,25	**	3,00
Fila	ns	0	ns	0	ns	0
Repetición	*	1,40	**	4,30	ns	1,00
Error Exp.	-	89,40	-	89,00	-	91,00

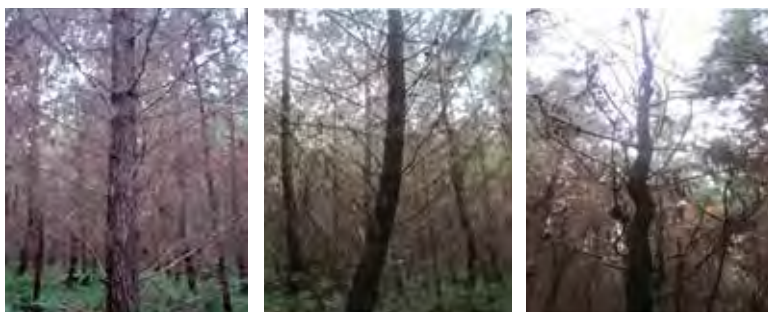
**Tabla 6.** *P. greggii* var. *greggii*: significancia del análisis de la varianza para las variables dependientes y componentes de la varianza respecto del total (%).

Los resultados para *Pinus greggii* var. *greggii* se muestran en la Tabla 6, en la que se observan diferencias altamente significativas para DAP a nivel de Familia, correspondiendo un 7,2 % del valor de la varianza total. El DAP promedio fue de 20,25 cm, es decir que el crecimiento tuvo un ritmo de 2,5 cm/año con un máximo de 4,2 cm/año en algunos individuos. El  $h^2$  para DAP fue de 0,24, valor que se considera normal para este tipo de variables.

El  $h^2$  para altura fue de 0,19 y la supervivencia fue del 96%. En cuanto a la variable forma, las diferencias fueron significativas dado que se trata de materiales salvajes, sin ningún tipo de mejoramiento genético (Figura 20), aunque el  $h^2$  para forma fue de 0,17. La densidad actual del rodal indica la necesidad de efectuar un raleo, eliminando las familias que no han tenido un buen desempeño con respecto a las 3 variables evaluadas.

Dados los resultados obtenidos, se concluye que:

- ◆ Para *P. patula*, no existen diferencias significativas entre las procedencias probadas de Sudáfrica, México y la Población de Mejora de selecciones locales, aunque sí a nivel familiar para DAP, altura total y forma. La variable DAP es la que presentó mayor probabilidades de ganancia. La población en estudio cuenta con 50 familias (65% selecciones locales) que superan al testigo comercial.
- ◆ En la variedad típica de *P. greggii* no existen diferencias significativas entre los orígenes mexicanos probados, probablemente debido a la ausencia de la variedad australis; sin embargo fue acertada la elección de los orígenes por el excelente comportamiento manifestado y la alta sobrevivencia. Existen diferencias significativas en *P. greggii* para las variables DAP, altura total y forma a nivel familiar, mostrando un aceptable y similar potencial de mejora.
- ◆ El material genético disponible constituye una fuente única e importante a nivel nacional por la cantidad de progenies concentradas y como una alternativa de conservación *ex situ in vivo* de orígenes y progenies que en muchos casos ya no existen en su área de distribución natural, en especial para *Pinus greggii* var. *greggii*.
- ◆ El raleo genético permitiría habilitar fuentes semilleras de excelente calidad en *P. patula* y *P. greggii* var. *greggii*, de manera de satisfacer a demanda nacional de forma inmediata



**Figura 20.** Algunas formas extremas encontradas en *Pinus greggii*, desde recto hasta deformes.

sustituyendo así la necesidad de importar semillas a un alto valor de mercado.

- ◆ A partir del material genético existente es factible acrecentar la ganancia genética esperada, rescatando vía clonal los mejores individuos de las mejores familias y aislándolos convenientemente de manera de constituir el primer Huerto Semillero de primera generación de la República Argentina.

### ***Pinus ponderosa***

Alejandro Aparicio, Víctor Mondino, Alejandro Martínez-Meier, Gustavo Basil, Teresa Schinelli-Casares, Mario Pastorino, Luis Tejera, Alejandro González, Gabriela Denham, Jorge Bozzi, Oscar Muñoz, Verónica El Mujtar

Al finalizar el Proyecto de Desarrollo Forestal en 2005, se había logrado la instalación de tres Huertos Semilleros Clonales de pino ponderosa (Trevelin: 3,7 ha, Las Golondrinas: 1,2 ha y Huingan-có: 1 ha), con 85 clones seleccionados en las plantaciones locales, y se había plantado la red de ensayos de progenies de respaldo de esos HSC. Por otra parte, se había logrado la inscripción en el INASE de seis Áreas Productoras de Semilla (APS) y se había puesto en funcionamiento una planta procesadora de semillas en el Campo Forestal General San Martín en Las Golondrinas, con los objetivos de mejorar la disponibilidad en cantidad y calidad de semilla en la región. Hasta ese momento, casi la totalidad de la semilla comercializada no contaba con trazabilidad y en el mejor de los casos, correspondía a las pocas APS inscriptas. Al iniciarse el PROMEF, el objetivo del INTA y de las demás instituciones participantes del

proyecto era lograr que el material de propagación de la especie comercializado en la región fuera de categoría “calificado” (Resolución N° 256/99 del INASE) y que su calidad estuviera estandarizada mediante los adecuados procesos de clasificación y análisis. Esto sería posible en un plazo casi coincidente con la finalización del proyecto, ya que se estimaba que los HSC entrarían en plena producción en el año 2016. El desafío mayor fue entonces difundir y convencer al sector, con resultados muy precoces pero prometedores, sobre el desempeño superior del material mejorado. Las principales líneas de acción fueron 1) la evaluación de la red de ensayos por criterios de crecimiento inicial y 2) la evaluación y selección de APS para su conversión a rodales semilleros (RS).

### Red de ensayos de progenie: primera evaluación y perspectivas.

Se ha llevado a cabo una primera evaluación del desempeño de los clones que conforman la población de mejora con el objetivo de realizar un primer raleo genético de los HSC. Para esa evaluación, el primer paso fue una rigurosa depuración de la base de datos. Luego se analizó la varianza para la altura al séptimo año mediante modelos de ensayo individual y multi-sitio, para producir un ranking general de los árboles plus (Figura 21). Esa primera evaluación es la base para proceder a la depuración de los HSC, ya que se considera que a la edad de 7 años las tendencias que definen la correlación juvenil-adulto son suficientemente robustas para la altura del pino ponderosa. Sin embargo, se ha decidido demorar el raleo por varias razones. Primero, era necesario contar con la mayor cantidad posible de clones para el muestreo de otras características que contribuyen a la mejora, como la arquitectura de la copa y la “calidad” de su madera. Por otra parte, en estos últimos años se ha avanzado considerablemente en la taxonomía del complejo “ponderosa” y taxones que previamente eran considerados como razas geográficas dentro de dos grandes variedades de la especie (var. *ponderosa* y *scopulorum*), hoy se han subdividido y llevado al nivel de sub-especies, (Callahan 2013). Esto podría tener implicancias en la regulación del material comercial según las resoluciones vigentes. Por este motivo, antes de proceder a la primera depuración de los HSC, amerita estudiar el

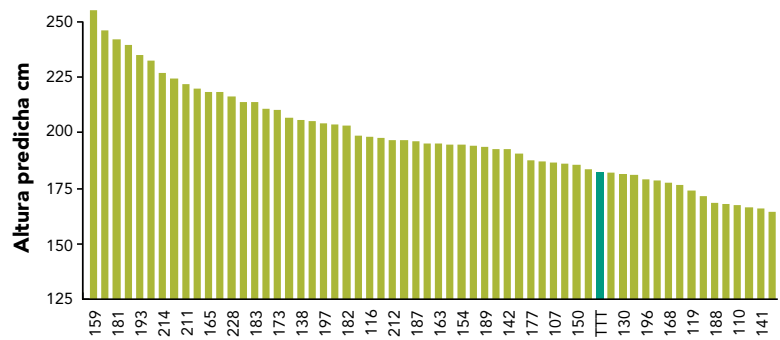


Figura 21. Ranking de árboles plus de pino ponderosa evaluados por la altura de sus progenies al séptimo año

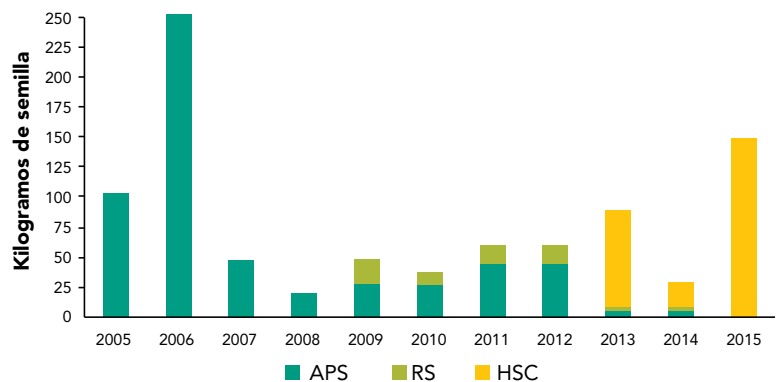


Figura 22. Evolución de la calidad genética de la semilla de pino ponderosa colocada por el INTA en el mercado regional en la última década.

desempeño de los clones considerando en detalle el factor de variación geográfica. Para esto, durante el proyecto hemos iniciado estudios mediante marcadores moleculares, caracteres de la madera y fenología de la floración de los distintos clones.

La evaluación de la red de ensayos de progenies mostró que existe una amplia variación fenotípica y genética en la población de mejora; esto permitirá lograr ganancias en las sucesivas etapas del programa. De los 67 clones evaluados, 50 tuvieron un desempeño superior al testigo comercial. En este momento, estamos iniciando un ensayo de progenies de los clones que produjeron semilla en 2015, con el objetivo de determinar el comportamiento de los cruces de la población de mejora.

Respecto a la situación de 2005, hoy se ha logrado que la totalidad de la demanda de semilla de ponderosa en la región sea abastecida de material de nuestros HSC (Figura 22). Al finalizar el proyecto, se tuvo la mayor cosecha en cantidad de semillas (225 kg sólo en Trevelin) y

número de clones intervinientes en su producción. Con una producción potencial estimada en 500 kg de semilla para los tres HSC, el programa podría abastecer una tasa media anual de forestación como la promedio de los últimos 20 años (3.500 ha) y acumular un cierto stock para compensar los años de baja productividad de semilla.

### Evaluación de Áreas Productoras de Semilla.

El resto de los materiales básicos inscriptos (APS: 640 ha y RS: 12 ha) podrán complementar la oferta de semilla si fuera necesario. Para priorizar las acciones de manejo de esos materiales, se han instalado dos ensayos en vivero y luego en campo, que han permitido comparar el desempeño relativo de 31 APS y RS por su crecimiento inicial (Schinelli *et al.*, 2012). Los

### ***Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii***

Víctor Mondino, Alejandro Aparicio, Alejandro Martínez-Meier, Gustavo Basil, Teresa Schinelli-Casares, Luis Tejera, Alejandro González, Jorge Bozzi, Guillermina Dalla Salda, Leonardo Gallo, Oscar Muñoz

El programa de mejoramiento genético de pino Oregón del INTA iniciado en 1998, cuenta con tres huertos semilleros de progenies (3,6 ha inscriptas en el INASE, distribuidas entre Trevelin, Las Golondrinas y Huingan-có) instalados durante el Proyecto de Desarrollo Forestal. Los principales objetivos del programa son la mejora de la productividad de las plantaciones en volumen, forma y calidad de la madera y la ampliación de las áreas potenciales de cultivo hacia zonas más xéricas y frías que las cultivadas actualmente en la Patagonia. Este objetivo



**Figura 23.** Ensayos de áreas productoras de semillas: izquierda, instalación inicial en vivero; centro, ensayo instalado en la Estación Agroforestal Trevelin; derecha, Rodal "San Pedro" en Huingan-có (de desempeño inicial sobresaliente) luego del manejo para su conversión de categoría "identificado" (APS) a "seleccionado" (RS)

resultados de estas evaluaciones tempranas contribuyeron a la toma de decisión respecto a qué APSs deberían ser manejadas para su conversión a RS (p. ej. el RS San Pedro en Huingan-có) (Figura 23), así como de aquellas que no ameritarían seguir cosechándose.

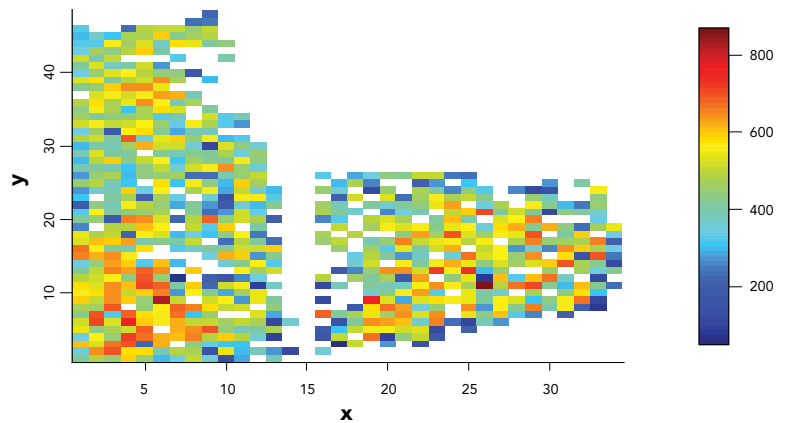
resulta crucial, ya que los acervos genéticos disponibles en la región (Rehfeldt y Gallo 2001) limitan severamente el área de cultivo potencial, incluso entrando en conflicto con el bosque nativo. Una ampliación moderada de los rangos ecológicos para la especie en la región permitiría sumar grandes superficies disponibles para el cultivo sin entrar en competencia con los ecosistemas boscosos naturales.



### Evaluación de los ensayos de progenies.

Durante la ejecución del proyecto se realizaron las mediciones de la red de ensayos de respaldo que, además de los HSP, cuenta con 40 procedencias. Esa red de ensayos está plantada en gradientes de latitud (37° a 43°30' S), precipitación (1500–500 mm de precipitación media anual) y altitud (200–850 msnm) y se instaló a partir de introducciones de material de los sitios de origen y de la selección en plantaciones locales según criterios de crecimiento y forma forestal. El principal objetivo de esta fase del proyecto fue tener depurados los HSP. Dado que la base genética del material de mejora no era demasiado amplia en número de familias, se decidió efectuar un raleo genético mediante selección individual dentro de familias, y sumarle a ello un raleo sistemático para mejorar la estructura horizontal de cada HSP. Los ensayos de progenies fueron instalados en zonas climáticas muy contrastantes. Por ejemplo, en el ensayo de progenies localizado en Huingan-có, a 1150 msnm, la precipitación media anual (PMA) ronda los 600 mm, mientras que en Las Golondrinas, a 400 msnm, la PMA es de 960 mm. Por esta razón se priorizó el raleo estimando los valores genéticos (BLUPs) individuales ensayo por ensayo. Para el raleo y conversión a HSP se usó como variable el crecimiento en altura al año 8 desde la plantación, pero también se consideraron variables como bifurcaciones debidas a daños por frío. A la edad de 8 años (Figura 24) se comenzó a observar la primera producción de conos en algunos individuos y se estimó que los HSP estarán plenamente productivos entre 2018 y 2020.

Si bien no se han concluido las evaluaciones genéticas de las pruebas de progenie, se ha verificado que existe interacción  $G \times E$ , es decir que las distintas progenies han tenido disímil desempeño en los distintos ensayos. La sobrevivencia inicial no varió con el genotipo, pero sí lo hizo la altura a los 8 años, y el valor genético (BLUP) para este carácter varió en función del sitio ensayado. Esto *a priori* podría definir como estrategia que cada huerto deba ser manejado en forma independiente. Alternativamente y tomando en cuenta que en los sitios húmedos de baja altitud el genotipo no tuvo efecto sobre el crecimiento, pero sí lo tuvo en sitios xéricos, se propuso realizar el raleo genético teniendo en cuenta sólo estos últimos resultados.



**Figura 24.** Ensayo de progenies de árboles plus de pino Oregón: arriba, vista general a los 8 años de edad; centro, vista en panta de la variación espacial para la variable altura a los 8 años; abajo, el ensayo raleado para su conversión a HSP luego del análisis genético.

### Introducción de nuevo material genético. Perspectivas.

Las introducciones realizadas por el INTA en la década de 1990, procedentes de los Estados de Washington y Oregón (Martinez Meier *et al.* 2005), forman parte de la red de ensayos de procedencias medida y evaluada durante el PROMEF, junto con las pruebas de progenies. Parte de ese material está instalado en un gradiente de altitud entre los 400 y 850 msnm en Chubut. Los ensayos instalados en el gradiente de altura fueron utilizados para evaluar la fenología de la brotación, obteniéndose como producto una tesis de grado de Ingeniería Forestal (Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, aún no defendida). En general, el material de las introducciones del INTA no se comportó de manera diferente a la raza local ya existente, muy probablemente debido a que provenía de orígenes costeros y húmedos de California (Rehfeldt & Gallo 2001).

En 2011 se introdujo una colección de semillas de 11 procedencias francesas y 32 progenies de HSC de procedencia Francia (origen California). El objetivo fue ampliar la base genética local, con la expectativa de aumentar el área potencial de cultivo del Oregón en la región. Este material fue sembrado en dos etapas: en 2012 se comenzó la cría en el Vivero de la Estación Agroforestal de Trevelin del material correspondiente a “procedencias”, junto con un testigo de material local de APS (mezcla de código INASE 5U553IKPS y lotes 9 y 15 del CFGSM). En 2013 se sembró en el vivero de Bariloche el material correspondiente a las progenies de HSC. El ensayo de procedencias fue plantado en 2014 en Trevelin (Figura 25).

El material de progenies de HSC fue mantenido por un año en contenedores en invernáculo más un segundo año en canteros de cría al exterior. Al momento de finalizar este proyecto el mismo estará siendo instalado en campo. Las perspectivas sobre estos materiales apuntan a la selección hacia delante de individuos sobresalientes y superiores al material local por caracteres de tolerancia a frío (fenología) y sequía. Para esto último se podrán analizar propiedades de tolerancia a la cavitación del xilema, para las cuales se ha encontrado que existe cierto nivel de variación en el material de mejora y podría entonces seleccionarse hacia delante (Dalla Salda *et al.*, 2014). Paralelamente se deberán lograr nuevas introducciones de material



**Figura 25.** Plantación de ensayo de Procedencias Francesas en la EAF Trevelin.

certificado de zonas homólogas por régimen de temperaturas y de aridez.

Al momento actual la tasa de forestación con pino Oregón sigue siendo muy baja respecto a la superficie potencial en la región. En su mayor parte las plantaciones siguen realizándose con material de APS. Las acciones prioritarias para los próximos años, en paralelo con la maduración reproductiva de los HSPs, será la difusión al medio productivo de este material mejorado.

## Publicaciones

- Aparicio, A.; Martínez-Meier, A.; Mondino, V.; Basil, G.; Schinelli, T. 2014. Programa de mejoramiento genético de pino ponderosa. Avances y perspectivas. Ediciones INTA, Revista Presencia 61: 5-9.
- Aparicio, A.; Martínez-Meier, A.; Mondino, V.; Gallo, L. 2011. Informe Técnico: parámetros de referencia para la comercialización de material de propagación certificado de pino oregón *Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii* (Mirb.) Franco. A solicitud del INASE.
- Barrientos S. 2014. Evaluación final del ensayo de Procedencias y progenies de *Pinus patula* Engelm en El Siambón, Pcia. De Tucumán. Tesina de grado para obtener el título de Ingeniero Agrónomo por la FAZ-UNT.
- Dalla-Salda, G.; Fernández, M.E.; Sergent, A.; Rozenberg, P.; Badel, E.; Martínez-Meier, A. 2014. Dynamics of cavitation in a Douglas-fir tree-ring: transition-wood, the lord of the ring? The Journal of Plant Hydraulics 1: 1–11.
- Denham, G.; Aparicio, A.; Martínez-Meier, A.; Basil, G.; Melzner, G. 2011. Informe Técnico: análisis de la estructura y calidad de una plantación comercial de pino ponderosa, para la elaboración de una propuesta de manejo silvícola para su conversión a Rodal Semillero (RS). A solicitud de Ea. Sr. Havrylenko, El Foyel.
- Focarazzo, S.; Denham, G.; Aparicio, A.; Martínez-Meier, A. 2010. Informe Técnico: Propuesta de manejo silvícola para la conversión de Áreas Productoras de Semillas (APSs) a Rodales Semilleros (RS) en Abra Ancha. A solicitud de CORFONE S.A.
- Gauchat, M.E., Pâques, L.E., 2011. Indirect prediction of bud flushing from ex situ observation in hybrid Larch (*Larix decidua* x *L. kaempferi*) and their parents. Environmental Experimental Botany 70 (2-3), 121-130.
- Gauchat, M. E. Doctorado 2006-2011: "Phenology of Wood formation and its genetic variability in Larch: A step towards a better understanding of wood formation in relation to climate". (Fenología de la formación de madera y su variabilidad genética en *Larix*: un paso hacia la comprensión de la formación del leño y su relación con el clima"). Director: Luc Pâques (INRA Orléans, Francia). Paris, Francia.
- Gauchat, M.E., Belaber, E.C., Rodríguez, G.H. 2012. Avances en los programas de INTA de Pinos en Región Mesopotámica. En actas: Jornadas de Actualización Técnica "Mejoramiento Genético de Pinos y Eucaliptos Subtropicales". 02-03 de Agosto de 2012. Concordia, Entre Ríos.
- Gauchat M.E., Belaber E., Cappa E.P., Scherer R.A., Reis H.D.. 2013. Parámetros genéticos de progenies híbridas F1 entre *Pinus elliotii* var. *elliotii* y *P. caribaea* var. *hondurensis* generadas en Argentina. En actas: 4to Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. 23-27 de Setiembre de 2013, Iguazú, Misiones, Argentina.
- Genes, P. Y.; López, J. A. 2011. Importancia del tamaño de probeta en la determinación de las contracciones de la madera. V Reunión Grupo de Genética y Mejoramiento Forestal, Balcarce, Argentina.
- Genes, P. Y.; López, J. A. 2012. Influencia del tamaño de las contracciones de la madera. 15º Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Eldorado, Misiones Argentina, 2012.
- Genes, P. Y.; Siurezs, T. 2013. Relación de módulo de elasticidad de la madera de *Pinus elliotii* en dos posiciones radiales. 4to Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano, Iguazú, Argentina.
- González, A.; Aparicio, A.; Martínez-Meier, A.; Basil, G.; Mondino, V.; Tejera, L.; Fariña, M. 2012. Informe Técnico: avances del programa de mejoramiento genético de pino ponderosa del INTA. Producción de semillas llenas a los 10 años de la plantación de tres Huertos Semilleros Clonales. Para difusión interna EEA Bariloche.
- Gonzalez, Paola. 2006 – 2010. Maestría en Producción Vegetal, Facultad de Ciencias Agrarias (UNNE). Tesis: "Propagación in vitro de un híbrido entre *Pinus ellotii* var. *elliotii* y *Pinus caribaea* var. *hondurensis*". Director: MSc. Mario Krivenki (INTA, E.E.A. Cerro Azul).
- González, P.; Belaber, E.; Gauchat, M. E. 2011. Macropropagación de *Pinus elliotii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (F1). . V Reunión GEMFO / Juan A. López (ed.); Pablo S. Pathauer (ed.); Eduardo P. Cappa (ed.). - 1a ed. - CABA : Ediciones INTA, 2011. ISBN 978-987-679-082-6.
- González, P.; Belaber, E.; Gauchat, M.E. 2012. Macropropagación de *Pinus elliotii* Engelm var. *elliotii* x *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barrett y Golfari (F1). En actas: 15as Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales, UNaM - EEA Montecarlo, INTA. 7, 8 y 9 de Junio de 2012 -Eldorado, Misiones, Argentina.
- Gutierrez H. 2014. Evaluación final del ensayo de Procedencias y progenies de *Pinus greggii* var. *greggii* en El Siambón, Pcia. De Tucumán. Tesina de grado para obtener el título de Ingeniero Agrónomo por la FAZ-UNT.
- López, J. A.; López, A. J.; Belaber, E.; Gauchat, M.E. 2011. Calidad de la madera de *Pinus taeda*: estrategia de muestreo y evaluación de la primera población de mejoramiento. Reunión Grupo de Genética y Mejoramiento Forestal, Balcarce, Argentina.
- Martínez-Meier A, Gallo L, Pastorino M, Mondino V, Rozenberg P (2011) Phenotypic variation of basic wood density in *Pinus ponderosa* plus trees. Bosque (Valdivia) 32:221–226.
- Rodríguez, G. H.; Belaber, E. C.; Gauchat, M. E.; Costa, J. A. 2010. Transferencia de los recursos genéticos forestales de la "ex PE-COM" a la fundación Parque Tecnológico Misiones: estado actual de la participación del INTA. En: Actas 14as Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales, UNaM - EEA Montecarlo, INTA. 10, 11 y 12 de Junio de 2010. Eldorado, Misiones, Argentina.
- Rodríguez, G.H.; López, C.R.; Schenone, R.A. 2012. Evaluación genética de altura y diámetro en una población de mejoramiento de 2da generación de *Pinus elliotii* ENGELM. var. *elliotii*. En: Actas 15as Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales, UNaM - EEA Montecarlo, INTA. 7, 8 y 9 de Junio de 2012 -Eldorado, Misiones, Argentina.
- Rotundo C.A., Alarcón P.C., Gauchat M.E., Belaber E.. 2014. Avances en la selección de árboles plus de *Araucaria Angustifolia* (Bert.), en el NO de la provincia de Misiones. VI Reunión GEMFO / Juan A. López (ed.); Silvia Cortizo (ed.). - 1a ed. – Campana, Buenos Aires: Ediciones INTA, 2014. ISBN 978-987-521-484-2.

Schmid, Patricia. 2008- 2012. Maestría en Genética Vegetal con orientación: "Mejoramiento genético". Tesis: Análisis de diversidad genética y efectos de la selección artificial en una población introducida de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en Argentina. Directora: Susana Marcucci (INTA IB-Castelar).

Schmid, P.G.; García, M.N.; Gauchat, M.E.; Gallo, L.; Marcucci Poltri, S.N. 2011. "Análisis de la diversidad y efectos de la selección artificial en una población introducida de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en Argentina". Congreso Argentino de Genética y Jornadas regionales SAG-NEA 18 al 21 de Septiembre de 2011.

Schmid P.G., García M.N., Gauchat M.E., Gallo L., Marcucci Poltri S., 2011. Análisis de diversidad genética en ensayos de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* instalados por INTA en la Mesopotamia. V Reunión GEMFO / Juan A. López (ed.); Pablo S. Pathauer (ed.); Eduardo P. Cappa (ed.). - 1a ed. - CABA : Ediciones INTA, 2011. ISBN 978-987-679-082-6

Schmid PG, García MN, Gauchat ME, Gallo L, Marcucci Poltri S, 2012. Análisis de la diversidad genética en ensayos de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* instalados por INTA en la Mesopotamia. En actas: 15as Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales, UNaM - EEA Montecarlo, INTA. 7, 8 y 9 de Junio de 2012 -Eldorado, Misiones, Argentina.

Schinelli, T.; Basil, G.; Tejera, L.; Honorato, M.; Gallo, L.; Mondino, V.; Martinez-Meier, A.; Pastorino, M. 2012. Evaluación genética en etapa de vivero de áreas productoras de semillas (APS) de Pino Ponderosa en Nordpatagonia. Revista de Investigaciones Agropecuarias 38: 268-275

Sorge, J. I., Belaber, E. 2011. Sincronía Floral en un huerto semillero clonal de *Pinus taeda* conformado por diferentes orígenes. V Reunión GEMFO / Juan A. López (ed.); Pablo S. Pathauer (ed.); Eduardo P. Cappa (ed.). - 1a ed. - CABA : Ediciones INTA, 2011. ISBN 978-987-679-082-6.

Vera Bravo, C., Belaber, E., Gauchat, M.E.. 2011. Avances en la propagación in vitro por embriogénesis somática de familias de *Pinus taeda*. En Actas: XXV Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia, Entre Ríos, Argentina. 20 y 21 de Octubre de 2011.

Vera Bravo, C.; Belaber, E. C.; Gauchat, M. E. 2011. Influencia del estado de desarrollo del embrión cigótico sobre la inducción de masas embriogénicas en progenies de clones de *Pinus taeda*. V Reunión GEMFO / Juan A. López (ed.); Pablo S. Pathauer (ed.); Eduardo P. Cappa (ed.). - 1a ed. - CABA : Ediciones INTA, 2011. ISBN 978-987-679-082-6.

Vera Bravo, C. D., Bernardis, A., Belaber, E., Gauchat, M. E. 2012. Fertilización nitrogenada para la propagación clonal de familias de *Pinus taeda*. XXVI Jornadas Forestales de Entre Ríos, Concordia. 4 y 5 octubre. 2012.

Vera-Bravo, C., Belaber, E., Gauchat, M. E. 2014. Development of somatic embryogenesis in Loblolly Pine (*Pinus taeda* L.): Advances in the induction. 3rd International Conference of the IUFRO Working party 2.09.02 Somatic Embryogenesis and Other Vegetative Propagation Technologies. September 8 -12. Vitoria-Gasteiz, Spain. Pp. 143.

## Acciones de transferencia

### Reuniones

- ♦ Gauchat, M. E.; Belaber, E.C. 2014. "Avances en los programas de Mejora Genética del INTA". Reunión 214 Consorcio Forestal Corrientes Norte, realizada en Montecarlo, Misiones. Organizada por: Consorcio Forestal Corrientes Norte, PINDO S.A. e INTA, Montecarlo, Misiones. 1 de Febrero de 2014.
- ♦ López, Augusto Javier. 2012. Métodos no-destructivos para la evaluación indirecta de las propiedades de la madera, equipos y ajuste de los mismos. EEA INTA Bella Vista. 35º Reunión Consorcio Forestal Corrientes Centro. Bella Vista, Corrientes. 17 de Octubre de 2012.
- ♦ Vera Bravo, C. D., Belaber, E., Gauchat, M. E. 2011. Influencia del estado de desarrollo del embrión cigótico sobre la inducción de masas embriogénicas en progenies de clones de *Pinus taeda*. V Reunión Grupo de Genética y Mejoramiento Forestal, Balcarce, Argentina.
- ♦ Vera Bravo, Carlos. 2012. Embriogénesis somática de *P. taeda* y Micropropagación de *Grevillea robusta*. EEA INTA Bella Vista. 35º Reunión Consorcio Forestal Corrientes Centro. Bella Vista, Corrientes. 17 de Octubre de 2012.

### Jornadas

- ♦ Aparicio, A. 2013. Jornada de difusión "Programas de mejora genética de pinos ponderosa y Oregon", CECAIN, Estación Agroforestal Trevelin, 7 de Noviembre de 2013.
- ♦ Gauchat, M. E. 2011. "Fenología de la formación de madera y su variabilidad genética en *Larix*. Un paso hacia una mejor comprensión de la formación de la madera en relación al clima". Jornada de transferencia Tecnológica - 2011. Organizada por Forestal Bosques del Plata S.A. (BDP); Consorcio Forestal Corrientes Norte (CFCN); Universidad del Salvador (USAL); Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA); Sancor Seguros y Fundación Iberoamericana de Seguridad y Salud Ocupacional (FISO). Gdor. Virasoro, Corrientes. 5 de Agosto de 2011.
- ♦ Gauchat, M. E.; Belaber, E.C.; Rodríguez, G.H. 2012. "Avances en los programas de INTA de Pinos en Región Mesopotámica". Jornadas de Actualización Técnica. "Mejoramiento Genético de Pinos y Eucaliptos Subtropicales". Organizada por INTA EEA Concordia, Componente Plantaciones Forestales Sustentables - Proyecto Manejo Sustentable de Recursos Naturales - BIRF 7520 AR. Concordia, Entre Ríos. 02-03 de Agosto de 2012.
- ♦ López, Juan A. 2015. Jornada de Transferencia de Resultados de los Proyectos de Investigación Aplicada, Proyectos de Sanidad Forestal y del Programa de Mejoramiento Genético de Especies Forestales - Sub-programa Pinos. INTA-UCAR-PROYECTO FORESTAL BIRF 7520 AR- GEF 090118. EEA Concordia, 02 de julio de 2015.

## Charlas

- ♦ Aparicio, A.; Martínez-Meier, A.; Pastorino, M. 2012. Charla en el marco del “Curso de Mejora Genética Operativa” para técnicos y otros profesionales forestales, AUSMA-UN Comahue, San Martín de los Andes 22-25 Oct. 2012.
- ♦ Basil, G., Aparicio, A. 2013. Charlas en el marco de INTA Expone Patagonia 2013, estación temática “semillas forestales”, 4-6 Oct. 2013.
- ♦ Gauchat, M. E. 2010. “Mejoramiento genético Forestal en la EEA Montecarlo”. Visita de la Associação Paranaense de Empresas de Base Florestal – APRE a empresas e instituciones de investigación de Misiones. Organizada por Actitud Forestal. Puerto Esperanza, Misiones. 8 – 11 de noviembre de 2010.

## Días de campo

- ♦ Gauchat, M. E.; Belaber, E.C. 2014. “Actualización Mejoramiento Genético Forestal INTA EEA Montecarlo”. Reunión con Viveristas organizada por Mejoramiento Genético Forestal INTA EEA Montecarlo. Montecarlo, Misiones. 22 de Agosto de 2014.
- ♦ Vera Bravo, Carlos. 2014. Embriogénesis somática de *Pinus taeda*. Reunión con Viveristas organizada por Mejoramiento Genético Forestal INTA EEA Montecarlo. Montecarlo, Misiones. 22 de Agosto de 2014.

## Talleres

- ♦ Gauchat, M. E.; Belaber, E.C.2014. “Avances en los programas de Mejora Genética del INTA”. Taller sobre “Viveros” Consorcio Forestal Corrientes Norte – Universidad del Salvador (Delegación Virasoro). Gdor. Valentín Virasoro, Corrientes, 10 de octubre 2014.
- ♦ López, Augusto J. 2014. Parámetros genéticos de la densidad de la madera juvenil de *Pinus taeda* y selección de nuevos individuos para usos de alto valor. Taller sobre “Viveros” Consorcio Forestal Corrientes Norte – Universidad del Salvador (Delegación Virasoro). Gdor. Valentín Virasoro, Corrientes, 10 de octubre 2014.
- ♦ López, Juan A. 2014. Presentación Programa de Mejoramiento *Eucalyptus* INTA. Reunión-Taller 219 sobre “Viveros” Consorcio Forestal Corrientes Norte – Universidad del Salvador (Delegación Virasoro). Gdor. Valentín Virasoro, Corrientes, 10 de octubre 2014.
- ♦ Vera Bravo, Carlos. 2014. Embriogénesis somática de *Pinus taeda*, Huertos Semilleros Clonales de *Grevillea robusta* y *Corymbia citriodora* subespecies *variegata*. Taller sobre “Viveros” Consorcio Forestal Corrientes Norte – Universidad del Salvador (Delegación Virasoro). Gdor. Valentín Virasoro, Corrientes, 10 de octubre 2014.

## Impactos

La disponibilidad de material genético mejorado de coníferas, con un comportamiento destacado en la producción de madera en can-

tidad y calidad a través de plantaciones adaptadas a los cambios ambientales, es uno de los eslabones más importantes de la cadena de valor.

Los programas de mejoramiento genético desde instituciones como el INTA cumplen un rol significativo como oferentes de material de propagación mejorado de las especies de coníferas cultivadas, lo cual contribuye considerablemente a disminuir la brecha tecnológica entre las grandes empresas y los pequeños y medianos productores forestales. Esto es debido a que la demanda hacia madera de calidad para usos de alto valor es creciente en todo tipo de mercados tanto nacionales como internacionales y que, por otra parte, en el país solo unas pocas empresas forestales cuentan con programas de mejoramiento propios que están delineados para abastecer principalmente sus planes anuales de plantación.

## Referencias

- Callaham, R.Z. 2013. *Pinus ponderosa*: a taxonomic review with five subspecies in the United States. Res. Pap. PSW-RP-264. Albany, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station. 52 p.
- Rehfeldt, G.E.; Gallo, L. 2001. Introduction of ponderosa pine and Douglas-fir to Argentina: using quantitative traits for retrospective identification and prospective selection of provenances. *New Forests* 21: 35–44
- Fornés, L. 2005. Noroeste Argentino Mejoramiento Genético de Especies con Fines Industriales. *Revista IDIA XXI*: 8, 123 - 128.
- Martínez Meier Alejandro, Mondino Víctor y Gallo Leonardo. Evaluación de daños por heladas tardías en ensayos de procedencias de pino oregón introducidos en el norte de la Región Andino Patagónica Argentina Bosque (Valdivia), dic. 2005, vol.26, no.3, p.113-120.
- Rodríguez, G.H.; Lopez, C.R.; Schenone, R.A.; Belaber, E.C. 2009. Segundo ciclo de mejora de *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm. para la Mesopotamia Argentina. Trabajo aceptado en: XIII° Congreso Forestal Mundial 2009. 18 al 23 de octubre, Buenos Aires, Argentina.
- Cappa, E.P. 2012. Transformación a “Scores normales” de caracteres umbrales. En: Informe de Consultoría Nuno M. G. Borralho. Abril 2012.
- Cappa, E.P.; Marcó, M.A.; Nikles, D.G.; Last, I.A. 2012. Performance of *Pinus elliottii*, *Pinus caribaea*, their F1, F2 and backcross hybrids and *Pinus taeda* to 10 years in the Mesopotamia region, Argentina. *New Forests*, DOI 10.1007/s11056-012-9311-2.
- Rodríguez, G. H.; Belaber, E. C.; Gauchat, M. E.; Costa, J. A. 2010. Transferencia de los recursos genéticos forestales de la “ex PE-COM” a la fundación Parque Tecnológico Misiones: estado actual de la participación del INTA. En: Actas 14as Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales, UNaM - EEA Montecarlo, INTA. 10, 11 y 12 de Junio de 2010. Eldorado, Misiones, Argentina.

## Responsable del Subprograma

María Elena Gauchat

## Unidad sede

EEA Montecarlo

## Profesionales participantes

- ♦ Acosta, Andrea INTI-Misiones.
- ♦ Fornes, Luis INTA EEA Famaillá, Tucumán.
- ♦ Aparicio, Alejandro INTA EEA Bariloche, Río Negro.
- ♦ Araujo, Jorge IBS-CONICET.
- ♦ Basil, Gustavo INTA EEA Bariloche, Río Negro - Campo Forestal General San Martín, Chubut.
- ♦ Belaber, Ector INTA EEA Montecarlo, Misiones.
- ♦ Bozzi, Jorge INTA EEA Bariloche, Río Negro - Consultor PROMEF.
- ♦ Eduardo Cappa INTA Instituto de Recursos Biológicos, Castelar, Buenos Aires.
- ♦ El Mujtar, Verónica INTA EEA Bariloche - Consultor PROMEF.
- ♦ Dalla Salda, Guillermina INTA EEA Bariloche, Río Negro.
- ♦ Denham, Gabriela Consultor PROMEF INTA EEA Bariloche, Río Negro.
- ♦ Gallo, Leonardo INTA EEA Bariloche, Río Negro.
- ♦ Gauchat, M. Elena INTA EEA Montecarlo, Misiones.
- ♦ González, Alejandro EEA INTA Bariloche, Río Negro - Consultor PROMEF.
- ♦ González, Paola INTA EEA Montecarlo, Misiones.
- ♦ López, Augusto Javier INTA EEA Bella Vista, Corrientes - Consultor PROMEF.
- ♦ López, Juan A. INTA EEA Bella Vista, Corrientes.
- ♦ Marcucci Poltri, Susana N. INTA Instituto de Biotecnología, Castelar, Buenos Aires.
- ♦ Martinez-Meier, Alejandro INTA EEA Bariloche, Río Negro.
- ♦ Mondino, Víctor INTA EEA Esquel - Estación Agroforestal Trevelin, Chubut.
- ♦ Muñoz, Oscar Agencia de Producción Minas, Neuquén.
- ♦ Pastorino, Mario INTA EEA Bariloche - CONICET.
- ♦ Reis, Hugo PINDO SA, Misiones.
- ♦ Rodríguez, Gustavo INTA EEA Montecarlo, Misiones.
- ♦ Scherer, Rafael PINDO SA, Misiones.
- ♦ Schinelli-Casares, Teresa INTA EEA Esquel - Estación Agroforestal Trevelin.
- ♦ Schoffen, Cristian INTA EEA Montecarlo, Misiones - Consultor PROMEF.
- ♦ Sorge, Juan I. POMERA SA, Corrientes.
- ♦ Tejera, Luis INTA EEA Esquel - Estación Agroforestal Trevelin, Chubut.
- ♦ Torales, Susana INTA Instituto de Recursos Biológicos, Castelar, Buenos Aires.
- ♦ Trápani, Adrián INTA EEA Famaillá - Consultor PROMEF.
- ♦ Vera Bravo, Carlos INTA EEA Bella Vista, Corrientes.
- ♦ Villalba, Pamela V. INTA Instituto de Biotecnología, Castelar, Buenos Aires.

## Unidades participantes

- ♦ EEA Montecarlo
- ♦ EEA Bella Vista
- ♦ EEA Bariloche
- ♦ EEA Famaillá
- ♦ EEA Cerro Azul
- ♦ EEA Corrientes
- ♦ Instituto de Biotecnología (CNIA Hurlingham, INTA Castelar)
- ♦ Instituto de Recursos Biológicos (CIRN Hurlingham, INTA Castelar)
- ♦ Campo Forestal General San Martín (INTA EEA Bariloche)
- ♦ Estación Agroforestal Trevelin (INTA EEA Esquel)
- ♦ Campo Anexo Manuel Belgrano (INTA EEA Montecarlo)

## Instituciones participantes

- ♦ Consorcio Forestal Corrientes Norte (CFCN).
- ♦ Instituto Nacional de Semillas (INASE).
- ♦ Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (MINCYT).





Subprograma *Eucalyptus*  
y otras Latifoliadas  
(*Corymbia* y *Grevillea*)



**Autores.** López, Juan A. (a); Marcó, Martín A. (b); Harrand, Leonel (b); Pathauer, Pablo S. (c); García, Martín N. (d); López, Augusto J. (a); Oberschelp, Javier (b); Vera Bravo, Carlos (a); Cappa, Eduardo P. (c); Acuña, Cintia V. (d); Villalba, Pamela V. (d)

(a) INTA EEA Bella Vista, Corrientes. (b) INTA EEA Concordia, Entre Ríos. (c) INTA Instituto de Recursos Biológicos, Castelar, Buenos Aires. (d) INTA Instituto de Biotecnología, Castelar, Buenos Aires.

**Resumen Ejecutivo.** La ejecución del Subprograma *Eucalyptus* y otras Latifoliadas desarrolló acciones específicas realizadas y dirigidas al sector productivo de las ecoregiones Mesopotámica, Pampeana y Chaqueña. Dichas actividades fueron ejecutadas por cuatro grupos de trabajo pertenecientes a dos Estaciones Experimentales y dos Institutos de INTA (EEA Bella Vista, Ctes. y EEA Concordia, E. Ríos, Instituto de Recursos Biológicos e Instituto de Biotecnología de Castelar, Bs. As.). Cabe destacar que este Subprograma se articuló virtuosamente con los Proyectos de la Cartera 2009-2012 y con los de la Cartera de Proyectos Nacionales del INTA iniciada en 2013.

El perfil del presente Subprograma en gran parte se diseñó en concordancia con las recomendaciones del PMPM ejecutado entre 1996-2005 y de los Proyectos Nacionales del INTA donde se sugiere poner énfasis en la selección de especies y genotipos por atributos de calidad de la madera, introducir nuevas especies de alto valor maderable, generar nuevos híbridos para ambientes marginales que combinen buenas características de la madera y recurrir a la biotecnología a través de la genómica funcional y a la selección asistida por marcadores moleculares para hacer más eficiente la selección fenotípica.

Centralmente la información generada y los productos obtenidos estuvieron dirigidos a contribuir al logro de futuras plantaciones forestales con mayor productividad, calidad y adaptación a los diferentes ambientes de cultivo, propendiendo a fortalecer la competitividad y sustentabilidad de las distintas cadenas foresto-industriales.

Entre los principales impactos obtenidos merece destacarse 1) el uso práctico de las herramientas moleculares y de la evaluación de las propiedades de la madera, evidenciando claramente un abordaje multidisciplinario en el desarrollo de las estrategias de mejoramiento genético, 2) la inscripción y habilitación de nuevos huertos semilleros de progenies y clonales y la firma de nuevos convenios de transferencia de tecnología con viveristas para la multiplicación de los clones de *E. grandis* e híbridos interespecíficos generados por el INTA y 3) la incorporación de nuevas colecciones de especies y la generación de nuevos materiales permitió la instalación de numerosos nuevos ensayos y lotes demostrativos (de especies, progenies, clones puros e híbridos) que, a mediano plazo, permitirán identificar los materiales de mejor adaptación, productividad y calidad para varias ecoregiones de Argentina.

## Introducción

Las principales especies del género *Eucalyptus* en Argentina se cultivan en regiones subtropicales sin estación seca que abarcan gran parte de la Mesopotamia Argentina, entre ellas: *E. grandis*, *E. dunnii*, *E. camaldulensis* y *E. tereticornis*. En las regiones templado húmedas que incluye gran parte de la región pampeana las especies utilizadas son: *E. globulus*, *E. viminalis*, *E. camaldulensis* y *E. tereticornis*. Todas ellas tienen la posibilidad de producir madera de calidad en turnos cortos (12 a 15 años).

El Programa de Mejoramiento Genético (PMG) desarrollado por el INTA tiene como objetivo general proveer semillas y clones de calidad genética superior en características de crecimiento, calidad y adaptabilidad de las especies de *Eucalyptus* de mayor demanda comercial y en menor medida de otras Latifoliadas como *Corymbia* y *Grevillea*, asegurando la provisión de recursos genéticos amplios y diversos que sustenten un programa de largo plazo. Los PMG son claves por su contribución no solamente al aumento de la productividad de las plantaciones sino también por su potencial para mejorar la adaptación a cambios climáticos.

La oferta actual de material de propagación mejorado de *Eucalyptus* en Argentina carece aún de muchos atributos de calidad que afectan de alguna manera la obtención de productos de mayor valor. En este concepto de calidad no solamente se incluyen las referidas a las propiedades físicas, mecánicas y organolépticas de la madera sino también, aquellas tales como la sanidad y la adaptabilidad para crecer en condiciones adversas (frío, estrés hídrico o salino). Como ejemplo se puede señalar que la principal limitante del cultivo de *E. grandis* en la región mesopotámica, desde el punto de vista ecológico, es su sensibilidad a las heladas. La ocurrencia de este tipo de estrés así como la creciente ocurrencia de nuevas plagas son amenazas que demandan revisar permanentemente las estrategias de mejora.

El género *Eucalyptus* no solamente ofrece una gran variedad de especies, sino también la posibilidad de generar combinaciones híbridas que permitan asegurar la adaptabilidad a nuevos escenarios producidos en gran parte, por el fenómeno del cambio climático.

Si bien *Eucalyptus grandis* es la especie del

género de mayor importancia en el país por la superficie cultivada, su alta productividad, plasticidad y diversidad de usos; la necesidad de generar nuevas alternativas para diferentes nichos ecológicos o algunos usos específicos, llevó a incluir otras especies como *E. dunnii*, *E. globulus*, *E. viminalis*, *E. camaldulensis*, *E. tereticornis*, *E. benthamii*, así como el desarrollo de nuevos híbridos interespecíficos, particularmente *E. grandis* x *E. camaldulensis*, *E. grandis* x *E. tereticornis* y *E. grandis* x *E. dunnii*. Las principales ventajas del empleo de híbridos interespecíficos es la posibilidad de aprovechar la complementariedad, adaptabilidad y la heterosis o vigor híbrido entre parentales selectos destinados a regiones donde las especies puras tienen limitantes bióticas (plagas y enfermedades) o abióticas (riesgo de heladas o sequías, restricciones edáficas). Así mismo, para mejorar determinadas propiedades de la madera o incrementar la capacidad rizogénica.

La ejecución del actual Programa de Mejoramiento de Especies Forestales (PROMEF) que se desarrolló entre 2010 y 2015 incluyó la ejecución del Subprograma *Eucalyptus* y otras Latifoliadas con acciones específicas realizadas y dirigidas al sector productivo de las ecoregiones Mesopotámica, Pampeana y Chaqueña. Cabe destacar que este Subprograma se articuló virtuosamente con los Proyectos de la Cartera 2009-2012 y con los de la Cartera de Proyectos Nacionales del INTA iniciada en 2013.

El perfil del presente Subprograma en gran parte se diseñó en concordancia con las recomendaciones del PPMPM ejecutado entre 1996-2005 y de los Proyectos Nacionales del INTA donde se sugiere poner énfasis en la selección de especies y genotipos por atributos de calidad de la madera, introducir nuevas especies de alto valor maderable, generar nuevos híbridos para ambientes marginales que combinen buenas características de la madera y recurrir a la biotecnología a través de la genómica funcional y a la selección asistida por marcadores moleculares para hacer más eficiente la selección fenotípica.

## Objetivos

### Objetivo general

Generar conocimientos y tecnologías que contribuyan a un incremento significativo en la oferta de madera rolliza de calidad de distintas especies e híbridos del género *Eucalyptus* y de otras Latifoliadas para usos de alto valor.

### Objetivos específicos

1. Incorporar criterios de selección por adaptabilidad a limitantes edafo-climáticas, sanidad y mejoramiento de la calidad de los árboles a los programas actuales de mejoramiento que contribuyan a la reducción de costos de producción y de proceso y a un aumento del valor de los productos obtenidos.
2. Desarrollar programas de mejoramiento para incrementar velocidad de crecimiento, calidad del fuste y de los rollizos y la adaptación, en nuevas especies del género *Eucalyptus* y *Corymbia* de reconocido valor maderable.
3. Desarrollar programas de cruzamientos interespecíficos que contribuyan a realzar aspectos relacionados con el vigor, la forma y la resistencia a plagas, enfermedades y a factores abióticos negativos junto a propiedades de la calidad de la madera.
4. Ajustar e incrementar la utilización de técnicas de micro y macropropagación que aseguren la obtención de material clonal para la instalación de Huertos Semilleros Clonales, ensayos clonales y uso en Silvicultura clonal.
5. Desarrollar nuevos protocolos de muestreo y de métodos no destructivos de propiedades de la madera que puedan ser utilizados a gran escala a efectos de explorar y evaluar la diversidad genética de las actuales poblaciones de mejoramiento y contribuir en la selección de árboles superiores.
6. Incrementar la utilización de las herramientas generadas recientemente por la Biotecnología para entender y manipular la información genética en los programas de mejoramiento. En este sentido, la utilización de marcadores moleculares permitirá caracterizar y cuantificar la diversidad genética en poblaciones forestales, detectar

las fuentes de variación entre y dentro de orígenes, razas y familias e identificar a los genes/alelos involucrados en las características de interés (QTL, genes candidatos).

7. Incrementar la oferta de material genético mejorado a través de la habilitación de nuevas fuentes semilleras y la disponibilidad de nuevos clones de *Eucalyptus* inscriptos en el RNC del INASE.
8. Contribuir a consolidar masas críticas con profesionales calificados en temas de Genética, Mejoramiento y Biotecnología en las principales Unidades participantes del Subprograma. Asegurar la difusión y transferencia de resultados.

## Principales Actividades Desarrolladas

### Propagación vegetativa

Se mejoró la eficiencia en la producción de plantines clonales para alimentar las redes de ensayos empleando jardines clonales con manejo intensivo y de miniestacas apicales y sucesivos ajustes de las condiciones de crecimiento de las plantas madres.

Se intensificó la generación de plantines por micropropagación, con la finalidad de abastecer a los convenios de transferencia de tecnología (clones puros de *E. grandis* e híbridos). Se probaron diferentes sustratos confeccionados con derivados de actividades pecuarias a fin de ajustar protocolos de enraizamiento de híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis*.

Para *E. dunnii* se logró desarrollar un nuevo protocolo de propagación *in vitro*. Para *E. dunnii*, *E. camaldulensis*, *E. benthamii*, *Corymbia citriodora subsp. variegata* y *Grevillea robusta* se empleó la propagación vía injertos como estrategia de rescate de individuos selectos adultos.

### Instalación y evaluación de ensayos

Se instalaron 12 ensayos de progenies de *E. grandis* (Origen Gympie, colección IPEF y selectos Red 1996) en Entre Ríos, Corrientes y Misiones. En cuanto a ensayos de clones de *E. grandis* e híbridos interespecíficos (*E. grandis* x *E. camaldulensis* y *E. grandis* x *E. tereticornis*) se instalaron 9 ensayos en varios sitios de la Me-

sopotamia y 3 ensayos en la Región Pampeana, con un total de 140 clones de nueva generación. Se instaló una red de 7 ensayos con 15 especies en las provincias de Buenos Aires, Entre Ríos, Jujuy, Chaco, Misiones y Santa Fe. Por otro lado, en Entre Ríos se instalaron dos lotes demostrativos de clones de eucalipto en sitios de fácil acceso y buena visibilidad, factores que contribuyen a una mayor difusión de nuevos materiales genéticos. En la Región Pampeana se instaló un ensayo de progenies de *E. camaldulensis* y uno de progenies de *E. dunnii*. En varios sitios de la Mesopotamia se instalaron 4 ensayos con 54 progenies de *Corymbia citriodora* subsp. *variegata*.

### **Producción de material de propagación mejorado**

Se inscribieron en el Registro Nacional de Cultivares y el Registro Nacional de Propiedad de Cultivares perteneciente al INASE, 3 clones híbridos *E. grandis* x *E. camaldulensis* (GC-INTA-9; GC-INTA-12 y GC-INTA-27) y 3 clones híbridos *E. grandis* x *E. tereticornis* (GT-INTA-31; GT-INTA-37 y GT-INTA-44). Se inscribió en el INASE el HSC de *E. grandis* (número de Material Básico 41E3066JE) con una superficie de 1,4 ha ubicado en la EEA del INTA Concordia. En la Región Pampeana se inscribió un HSP de *E. tereticornis* (número de Material Básico 331b5858JE) y un HSC de *E. dunnii* (número de Material Básico 294b5858JE). En la EEA del INTA Bella Vista se finalizó la ampliación del HSC de *Grevillea robusta* y se instaló un HSC de *Corymbia citriodora* subsp. *variegata*.

### **Evaluación de la calidad de la madera**

Utilizando métodos destructivos y no-destructivos se evaluaron las propiedades físicas, mecánicas y organolépticas de *E. grandis*, *E. dunnii*, *E. dorrigoensis*, *E. camaldulensis*, *E. benthamii*, *E. saligna*, *Corymbia citriodora* subsp. *citriodora*, *C. citriodora* subsp. *variegata* y *C. maculata*. Así también, de clones puros de *E. grandis* y clones híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis*, *E. grandis* x *E. tereticornis* y *E. grandis* x *E. dunnii*.

### **Aplicación de herramientas moleculares**

Se utilizaron marcadores moleculares para la identificación de clones de *E. grandis* e híbridos para su inscripción en el INASE, para restablecer la identidad genética de un ensayo clonal de *E. grandis* e híbridos, para determinar la afinidad genética de razas locales, razas geográficas y clones de *E. globulus*. Además, se utilizaron estrategias de mapeo genético de QTL (*E. grandis*), mapeo de asociación (*E. globulus*) y Selección genómica (*E. grandis*) para tratar de acelerar los tiempos de selección detectando regiones genómicas involucradas en las propiedades de interés forestal.

### **Producción de híbridos intra e interespecíficos**

Se obtuvieron 37 progenies específicas de cruzamientos entre *E. grandis* x *E. camaldulensis* y *E. grandis* x *E. grandis* y 7 familias híbridas de cruzamientos entre *E. dunnii* x *E. globulus*.

Se instaló un Huerto de Cruzamientos Controlados en macetas y con sistema de riego por goteo que tiene la capacidad de alojar 30 clones y tres rametos por clon. Durante este período se cosechó polen de individuos selectos de *E. benthamii*, *E. camaldulensis*, *E. dunnii*, *E. grandis*, *E. tereticornis*, *E. globulus* y *E. robusta*, almacenándolo a baja temperatura y a ser incluidos en los futuros cruzamientos para generar nuevas combinaciones híbridas.

### **Selección e introducción al programa clonal de nuevos genotipos selectos de *E. grandis* e híbridos**

En el INTA Concordia se logró la introducción de 78 individuos selectos de *E. grandis* y 80 nuevos genotipos híbridos selectos de *E. grandis* x *E. camaldulensis*, *E. grandis* x *E. tereticornis* y *E. grandis* x *E. dunnii*. Estos materiales fueron incluidos en el minijardín clonal (200 clones) y en el banco clonal (500 clones) para su conservación y multiplicación agámica. Asimismo, se logró establecer en minijardín 3 clones de *E. benthamii*, 4 de *E. camaldulensis* y 1 de *E. dunnii*. En el IRB de Castelar se ingresaron a banco clonal y estaqueros 77 clones híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis*, *E. grandis* x *E.*

*tereticornis*, *E. dunnii* x *E. globulus*, 10 clones de *E. tereticornis*, 16 clones de *E. camaldulensis*, 5 clones de *E. grandis* y 11 clones de *E. globulus*.

## Adquisición de germoplasma

En el transcurso del proyecto se adicionaron al programa: 1) 40 familias de *E. grandis* y 20 familias de *E. urophylla* de varias procedencias de Brasil a través de la vinculación generada con el IPEF (Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais), 2) se realizó la introducción de semilla de 16 especies de eucalipto (*E. argophloia*, *E. badjensis*, *E. benthamii*, *E. botryoides*, *E. camaldulensis*, *E. cytellocarpa*, *E. deanei*, *E. fastigata*, *E. fraxinoides*, *E. macarthurii*, *E. nitens*, *E. propinqua*, *E. saligna*, *E. smithii*, *E. tereticornis*, *E. viminalis*) de su área de distribución natural, adquiridas al Australian Tree Seed Centre del CSIRO y 3) se encuentra en proceso de importación desde el IPEF 10 lotes de semilla de *E. cladocalyx*, *E. thozetiana*, *E. amplifolia*, *E. longirostrata*, *E. crebra*, *C. citriodora*, *C. variegata*, *C. maculata*, *E. benthamii* y *E. saligna*.

## Producción de plantas de semilla y clonales

En el INTA Concordia se produjeron 30.000 plantines de 150 progenies de *E. grandis* para la instalación de ensayos de progenies de árboles selectos (Red 1996, de orígenes del NE de Queensland), de procedencia brasileña (colección IPEF) y de origen Gympie. Por otro lado, se obtuvieron 45.000 plantines clonales de 200 clones de *E. grandis* e híbridos interespecíficos empleando la técnica de estacas y miniestacas apicales y 400 plantas injertadas de *E. camaldulensis* y *E. benthamii* para la constitución de huertos de hibridación. En el vivero del IRB de Castelar se obtuvieron 15.600 plantines clonales de *E. camaldulensis*, *E. tereticornis*, *E. globulus* e híbridos interespecíficos y 16 clones injertados de *E. dunnii* para la constitución de un HSC de bajo índice de rajado. Asimismo, se obtuvieron 23.000 plantines de 40 lotes de semillas de 20 especies (colección CSIRO), para la instalación de los ensayos previstos para la Región Pampeana, Mesopotamia y NOA.

## Producción y transferencia de semilla mejorada

Durante el período del proyecto se cosechó, procesó y comercializó semilla mejorada de Rodales Semilleros, Huertos Semilleros de Progenies y Huertos Clonales del INTA por un total de 655 Kg de *E. grandis*, 131 Kg de *E. dunnii*, 38 de *E. cloeziana* y 8 Kg de *E. camaldulensis*.

## Formalización de convenios y consultorías

Se formalizaron 7 Convenios de Transferencia de Tecnología entre el INTA y diferentes viveros forestales de la Región Mesopotámica, con el objetivo que estos viveros sean multiplicadores de los clones de INTA (clones híbridos como puros de *E. grandis*) y lleguen de esta manera a los forestadores.

Se firmó en el año 2009 entre el INTA y el IPEF un convenio de cooperación científica en el campo de las ciencias forestales, con énfasis en la mejora para la formación de recursos humanos, intercambio de materiales, publicaciones conjuntas, entre otras cooperaciones.

Se concretó una consultoría externa (Dr. Nuno Borralho) con el objetivo de analizar el actual programa de mejoramiento y diseñar una nueva estrategia de mejoramiento genético para *Eucalyptus grandis*.

## Principales resultados obtenidos

### Propagación vegetativa

Propagación *in vitro* de *Eucalyptus dunnii* Maiden: desarrollo de un nuevo medio basal y estimación de parámetros genéticos para características morfológicas y fisiológicas.

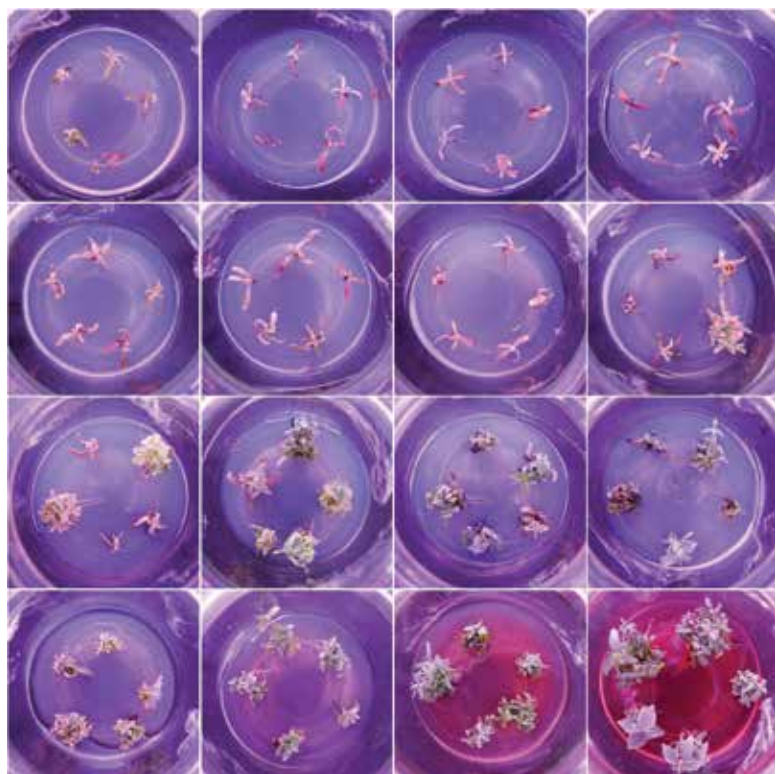
Javier Oberschelp

*E. dunnii* es una especie reconocida por su tolerancia a las heladas y su buen crecimiento, así como por su madera de calidad adecuada para su uso en la industria celulósica y determinados usos sólidos. Sin embargo, existe una baja disponibilidad de material de propagación debido a la baja producción de semilla y la dificultad de

enraizamiento que presenta. La aplicación de técnicas de propagación *in vitro* y la incorporación de criterios de selección relacionados a la capacidad de enraizamiento podrían contribuir a minimizar estas dificultades. En la información disponible para el cultivo de tejidos de *E. dunnii* se utilizaron medios basales diseñados para satisfacer las necesidades nutricionales de otras especies. Por ello, se propuso desarrollar un nuevo medio basal, empleando como información base el análisis de nutrientes minerales esenciales en brotes juveniles de cepas de *E. dunnii* y modelado para garantizar la disponibilidad de los nutrientes en la solución. Para optimizar las condiciones de crecimiento, se evaluó el tipo de medios de soporte y la fuente de hierro utilizado en la formulación del medio basal (Figura 1). Esto demostró la importancia de dichos factores y su influencia en la cantidad y calidad de las respuestas morfogénicas en la propagación *in vitro* de *E. dunnii*. Posteriormente, se desarrolló un medio basal específico que permitió estimular exitosamente la organogénesis en hipocótilos. Asimismo, este medio basal permitió la mayor proliferación de yemas axilares y obtención de microplantas, tanto de material juvenil como adulto de *E. dunnii*, alcanzando rendimientos superiores a los medios basales JADS, MS y WPM. Los ensayos de restricción nutricional demostraron que el desarrollo *in vitro* de los brotes se vio mayormente afectado cuando los niveles de K, Mg, Mn, Zn, Mo, Ni, Co o NaCl fueron bajos, evidenciando mayor importancia relativa de estos nutrientes en la composición del medio basal desarrollado. Por otro lado, fue posible determinar que bajos niveles *in vitro* de Fe estuvieron asociados a la clorosis de brotes y bajos niveles *in vitro* de N a la caída de hojas y oxidación.

Finalmente, se estimaron parámetros genéticos para características morfológicas y fisiológicas *in vitro* de 20 progenies de polinización abierta de *E. dunnii*. La heredabilidad de las características de regeneración de brotes, número de brotes y regeneración de callos fueron altas, sin embargo, las asociadas con el enraizamiento fueron bajas a moderadas, hecho que puede ser atribuido a la juvenilidad del material empleado. Se encontraron correlaciones genéticas favorables y de elevada magnitud entre la longitud de brotes y el número raíces con el enraizamiento de las microestacas. Considerando la naturaleza binomial del enraizamiento y la

posibilidad de aplicar mayores intensidades de selección en rasgos cuantitativos, se estima que mayores ganancias genéticas se podrían obtener al implementar una selección indirecta del enraizamiento de microestacas. Estos resultados constituyen un caso exitoso de regeneración de plantas a partir de tejidos juveniles y de micropropagación de árboles adultos de *E. dunnii*, que pueden contribuir a la disponibilidad de material de mayor calidad genética y a la planificación y ejecución de una estrategia de mejoramiento adecuada para esta especie.



**Figura 1.** Frascos con yemas axilares en multiplicación *in vitro* de *E. dunnii* en medio basal EDM con distintas fuentes y concentraciones de hierro, a los 50 días de edad.

### Clonación de individuos de bajo índice de rajado y cosecha de semilla de progenies de *Eucalyptus dunnii*.

Pablo Pathauer; Juan Pablo Diez; Gonzalo Galasso; Santiago Becerro

Se realizó un rescate y clonación de material seleccionado de bajo índice de rajado con el objetivo de constituir un HSC para el abastecimiento de semilla mejorada. A la fecha se cuenta con 16 clones multiplicados y establecidos en banco clonal o en vivero. Paralelamente se realizaron

colectas de semilla de individuos seleccionados que integran un HSP y tres HSC del programa de mejoramiento de INTA (Tabla 1) con el objetivo de instalar una red de ensayos de progenies para evaluar índice de rajado y otras características, para eventualmente transformar uno de ellos en HSP para el abastecimiento de semilla mejorada (Figura 2). Entre 2014-2015 se instalaron dos ensayos de esta red y está prevista la instalación de otros dos ensayos en la temporada 2015-2016.

### Desarrollo de protocolos de macropropagación y micropropagación en *Eucalyptus globulus*.

Pablo Pathauer; Juan Pablo Diez; Leonardo Salleses; Santiago Becerro; Gonzalo Galasso

*Eucalyptus globulus* es considerada una especie que presenta serias dificultades para el enraizamiento. Por ello, entre 2010-2012 se ajustaron varios protocolos de macro y micropropagación. Para la macropropagación se utilizaron 30 clones provenientes de la empresa SOPORCEL que habían sido instalados en un ensayo en la EEA Balcarce (Figura 3A). Se realizaron tareas de manejo para estimular la generación de brotes basales y sobre el material cosechado se realizaron 3 ensayos en ambiente controlado (80% HR y 25-28°C) donde se evaluaron diferentes combinaciones de sustratos (turba, perlita, vermiculita y corteza), concentración de hormonas (IBA desde 0 ppm hasta 6.000 ppm) y tipo de estacas (Figura 3B).

En uno de los ensayos realizados (con concen-

Orígenes/Procedencias	Progenies
Acacia Creek	1
Acacia Creek, NSW	3
Boomi Creak, NSW	7
Death Horse Track, East of Legume, NSW	26
Oaky Creek (NSW)	14
Oliveros, Santa Fe, Argentina	26
South Yabra, NSW	8
<b>Total general</b>	<b>85</b>

Tabla 1. Progenies de *E. dunnii* colectadas.



Figura 2. Cosecha de frutos de *E. dunnii* en altura.

traciones entre 0 ppm y 2.000 ppm) con el tratamiento de 2.000 ppm de IBA se lograron enraizar 4 de los 12 clones probados. La tasa más alta de enraizamiento fue del 20% (clon 503). En ensayos posteriores, donde se evaluaron 10



Figura 3. Rebrotos basales (A) y prueba de enraizamiento de estacas (B) de *E. globulus*.

clones, se pudo concluir, a pesar que el porcentaje de enraizamiento fue bajo, que el sustrato que mejor se comportó fue el que contenía 40% corteza + 20% turba + 20% perlita + 20% vermiculita y 3.000 ppm de IBA aplicado en forma sólida en estaquillas de aproximadamente 5 cm de longitud.

A fin de mejorar los % de enraizamiento, se seleccionaron 98 ejemplares pertenecientes a 6 razas, en el HSP ubicado en Balcarce. En dichos individuos se cosecho semilla y se manejó para inducir la producción de brotes basales. Las pruebas de enraizamiento con material proveniente de los brotes basales fueron negativas, posiblemente debido a la edad de las plantas madre. Las progenies colectadas de los selectos, fueron sembradas, viverizadas y sometidas a test de enraizamiento. En total, a lo largo de distintas temporadas, se lograron enraizar 5 clones (508-503-511-517-518) y 8 progenies del HSP. Este material se encuentra bajo manejo en banco clonal, con diferente desarrollo y número de cepas por clon.

En cuanto a propagación *in vitro* se comenzó a trabajar en el desarrollo de protocolos ajustando distintas fases (desde la desinfección de las semillas hasta la rustificación de las plantas logradas) y utilizando diferentes medios de cultivo para las fases de multiplicación, elongación

y enraizamiento (Figura 4). El material utilizado correspondió a semilla cosechada en el HSP ubicado en Balcarce. El protocolo que arrojó los mejores resultados fue: tiempo de exposición al desinfectante de 90 segundos, siembra en medio Gamborg (B5), repique a medio de multiplicación (B5 + 0,1 ppm ANA + 1 ppm BAP), repique a medio de elongación (B5 + 0,5 ppm BAP + 0,1 ppm ANA + 0,2 ppm GA3) y medio de enraizamiento (B5 ½ sales Orgánico completo).

### Propagación de progenies híbridas obtenidas a través de cruzamientos controlados de *E. dunnii* x *E. globulus* y *E. dunnii* x *E. grandis*.

Leonardo Salleses; Juan Pablo Diez; Pablo Pathauer

En el año 2011 se castraron 1.873 flores de *E. dunnii* de los clones D319, D383, D291, D348, D222, DV56, DV72, D348, DV126 y se realizaron cruzamientos controlados con polen de *E. globulus*, Gl1, Gl2 y Gl3 y de *E. grandis* EG-IN-TA-0751501 (Gr1) y EG-INTA-36 (Gr2) provenientes de los programas de mejora (Figura 5). Sobre una siembra de 30 semillas de los cruzamientos D220×Gl1 (H1), D220×Gl2 (H2), DV126×Gr1 (H3) y DV126×Gr2 (H4). Asimismo se sembraron 30 semillas provenientes de los huertos semilleros del programa de mejora de cada una de las especies puras *E. dunnii* (Dun), *E. globulus* (Glob) y *E. grandis* (Gran). El número de semillas obtenidas cada 100 flores estuvo en un rango entre 0 y 211,8. Las madres D383 y DV72 no produjeron semilla con ninguno de los 3 polen de *E. globulus* utilizados (Tabla 2). Las madres D220 y DV126 fueron las más productivas, independientemente del polen utilizado para el cruzamiento. A los 120 días de la siembra H2 produjo las plantas más altas con una media de 51,08 cm, y el mayor valor medio para número de hojas. Para la variable Relación altura/diámetro de tallo (índice de esbeltez) H2 y Gl se diferenciaron de H1 y D. Luego de evaluadas, 48 progenies H1 y H2 fueron sometidas a test de enraizamiento. Enraizaron el 87,5 % de las progenies. El clon H2022 presentó la mayor tasa (73,3%). El cruzamiento entre *E. dunnii* x *E. globulus* fue factible. Por el contrario, las combinaciones de *E. dunnii* x *E. grandis* no fueron viables ya que, si bien produ-



Figura 4. Enraizamiento *in vitro* de *E. globulus*.





Figura 5. Cruzamientos controlados,

jeron semillas que germinaron, ninguna plántula sobrevivió. La combinación híbrida H2, evaluada en vivero, se mostró como promisoría en cuanto a calidad de plantín. Adicionalmente, la mayoría de las progenies han demostrado buena capacidad de multiplicación vegetativa. Actualmente este material se encuentra conservado en bancos clonales y disponible para la instalación de ensayos a campo.

## Instalación y evaluación de ensayos

### Parámetros genéticos de progenies de *Eucalyptus grandis* establecidos en la Mesopotamia Argentina.

Leonel Harrand; Leonardo López Jiménez; Valentín Halemy Yáñez Ayala

Para determinar la estructura genética de las características de crecimiento así como estimar la respuesta esperada a la selección masal en una población de *E. grandis* se evaluó al 6° año de edad una red de ensayos de progenies de polinización abierta establecidos en el año 2006 en 3 sitios de la Mesopotamia Argentina (Entre Ríos y Corrientes). Esta red está compuesta por progenies de individuos seleccionados en poblaciones de mejoramiento en etapas anteriores y que actualmente integran los huertos semilleros de INTA (Tabla 3).

Luego de analizar las estructuras genéticas existentes para Diámetro Normal (DN), Altura, Volumen individual y Forma (1=Mala, 8=Muy buena), se encontró una heredabilidad moderada en las todas las características (Tabla

	H1	H2	H3	H4	Dun	Glob	Gran
Flores polinizadas	57	37	17	43	0	0	0
% flores cuajadas	33,3	37,8	41,2	25,6			
% cápsulas cosechados	33,3	32,4	35,2	25,6			
Semillas/100 flores	175,4	137,8	211,8	144,2			
Semillas sembradas	30	30	30	30	30	30	30
Día inicio Germ.	7	6	6	6	6	6	6
Día Germ. Media	9	7	9	7	9	9	7
Poder Germ (%)	80,0	90,0	56,7	83,3	83,3	76,7	90,0
Sobrevivencia (%)	73,3	90,0	0	0	73,3	73,3	90,0

Tabla 2. Flores polinizadas, frutos obtenidos y parámetros germinativos.

4). Las correlaciones genéticas resultaron muy altas entre las características de crecimiento y nulas entre éstas y la Forma. La baja interacción Genotipo-Ambiente indicó alta estabilidad genética para las características de crecimiento y Forma, confirmando la factibilidad de realizar un solo programa para el NE de Entre Ríos y Sur de Corrientes. En base a las estimaciones realizadas en función a la heredabilidad y a las correlaciones genéticas de las características, se confirmó que la respuesta a la selección es factible para todas las características evaluadas pudiendo obtenerse importantes ganancias por selección directa. En lo que se refiere a la selección indirecta utilizando ya sea la variable DN o la variable Altura y su respuesta sobre el

Característica	Sitio. 1 Concordia (E.R.)	Sitio. 2 Concordia (E.R.)	Sitio. 3 Monte Caseros (Ctes.)
DN (cm)	16,61 ± 3,79	15,45 ± 3,07	18,12 ± 3,40
Altura (m)	21,06 ± 2,91	19,10 ± 2,12	21,54 ± 2,38
Volumen (m <sup>3</sup> )	0,229 ± 0,10	0,17 ± 0,08	0,27 ± 0,11
FORMA	4,49 ± 1,76	4,40 ± 1,83	4,41 ± 1,89

Tabla 3. Promedio y desvío estándar (±) de las características evaluadas en los 3 ensayos analizados.

Característica	Sitio. 1	Sitio. 2	Sitio. 3	Conjunto	r <sub>G</sub> B
DN	0,37	0,38	0,31	0,36	0,95
Altura	0,32	0,44	0,36	0,46	1,00
Volumen	0,37	0,41	0,23	0,40	1,00
Forma	0,31	0,35	0,24	0,26	0,87

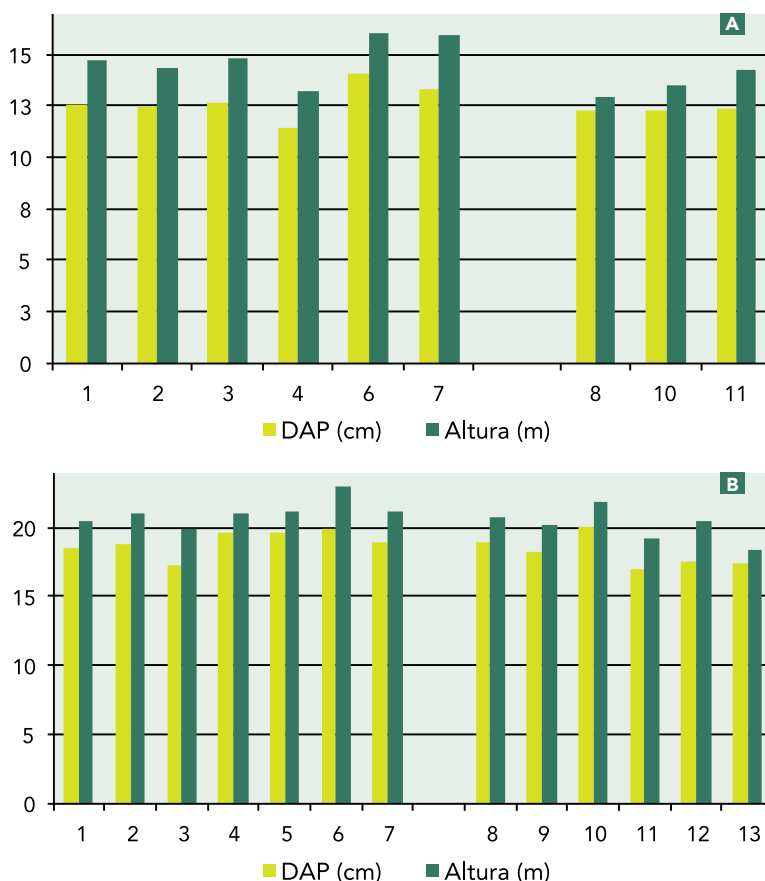
Tabla 4. Heredabilidad y correlaciones genéticas entre sitios (r<sub>G</sub>B) de las características evaluadas.

volumen, los resultados fueron similares. No obstante, sería preferible realizar la selección utilizando el DN debido a la facilidad de medición de esta variable y su reducido error de medición. La información obtenida permite proponer que para la selección de ésta población o de otras similares se utilice conjuntamente DN y Forma para obtener ganancias significativas en el volumen producido por los árboles y en la rectitud de los mismos a efectos de obtener mejor rendimiento de aserrío.

### Ensayos de orígenes/procedencias de *Eucalyptus grandis* y *E. saligna* en la Mesopotamia.

Javier Oberschelp; Leonel Harrand

*Eucalyptus grandis*, es la principal especie latifoliada cultivada en Argentina, combina rapidez de crecimiento, buena forma de los árboles y su madera es apta para una variedad de usos industriales. Demuestra una muy buena adaptabilidad a las condiciones ecológicas generales imperantes en la región mesopotámica donde su principal limitante es la sensibilidad al frío. *E. saligna* es una especie conocida pero con pocos antecedentes de cultivo en la región mesopotámica. Ésta manifiesta menores crecimientos que *E. grandis* pero con mejores atributos en cuanto a mayor densidad de la madera y dureza Janka.



**Figura 6.** Crecimiento en diámetro y altura en dos sitios de evaluación para diferentes orígenes/procedencias de *Eucalyptus grandis* (Trat 1 a 7) y *E. saligna* (Trat 8 a 13): (A) sitio Paso de los Libres, Corrientes, 5 años de edad; (B) sitio Concordia, Entre Ríos, 8,5 años de edad.

Especie	Trat	Orígenes/Procedencias	Latitud	Longitud	Altitud (m)
<i>E. grandis</i>	1	Piccaninny Ck Windsor (QLD)	16° 13'S	144° 58'E	1160
	2	Davies Creek Road, E of Mareeba (QLD)	17° 03'S	145° 37'E	650-800
	3	Wild River, SSW of Atherton (QLD)	17° 22'S	145° 24'E	920
	4	Copperlode Dam (QLD)	16° 59'S	145° 40'E	450
	5	Mt Spec SF, W Paluma (QLD)	18° 52'S	146° 08'E	900 - 950
	6	Concordia (ER), HSP Ubajay	31° 50'S	58° 07'O	40
	7	Nva. Escocia (ER), RS or. Kendall	31° 42'S	58° 03'O	20
<i>E. saligna</i>	8	14 km W of Bulahdelah (NSW)	32° 24'S	152° 06'E	53
	9	Bellthorpe SF (QLD)	26° 52'S	152° 42'E	400
	10	Kipper CK Deongwa SF (QLD)	27° 18'S	152° 16'E	460
	11	Styk River SF (NSW)	30° 37'S	152° 10'E	975
	12	Paddys Land SF (NSW)	30° 05'S	152° 08'E	1000
	13	Mosquito Creak via Urbenville (NSW)	28° 35'S	152° 29'E	420

**Tabla 5.** Orígenes/Procedencias ensayadas de *E. grandis* y *E. saligna*.

Su área de distribución natural se extiende más al sur que la de *E. grandis* aumentando las posibilidades de encontrar orígenes geográficos con mayor tolerancia a las bajas temperaturas. Por ello, en 2004 se plantaron 3 ensayos de orígenes de *E. grandis* y *E. saligna* con el fin de identificar las regiones naturales con potencial productivo para Argentina (Tabla 5). La evaluación realizada en 2 de estos ensayos mostraron que los orígenes de *E. grandis* como los de *E. saligna* fueron algo menos productivos que las procedencias de *E. grandis* utilizados como testigos (Figura 6). El material de *E. grandis* del NE de Australia proveniente de latitudes superiores a las de la región de ensayo pero de altitudes mayores, presentaron menor adaptación. Los orígenes de *E. saligna* ensayados presentan crecimientos similares al material de *E. grandis* salvaje. Estos materiales pueden considerarse para alimentar el programa de mejora genética, identificando dentro de estos orígenes individuos superiores que aumenten la variabilidad genética sin disminuir las ganancias alcanzadas hasta el momento.

### Productividad de materiales comerciales de *Eucalyptus grandis* en Entre Ríos.

Leonel Harrand; Javier Oberschelp

Actualmente existen en el mercado varias alternativas de Fuentes Semilleras (FS) de *Eucalyptus grandis*, de las cuales no siempre se encuentra respaldo informativo sobre su comportamiento en plantaciones y en el producto que se logra de estas. Por ello, en el año 2009 se instaló una red de ensayos de Productividad de *E. grandis* con todas las FS que se encontraban disponibles en el mercado (Tabla 6). Se instalaron 5 ensayos cubriendo una amplia distribución latitudinal (desde Centro-Este de Entre Ríos hasta Sur de Misiones). Las primeras evaluaciones realizadas al 3° año de edad en 2 de los ensayos instalados en Entre Ríos aun no permitieron discriminar significativamente las diferentes FS (Figura 7). De todas maneras se pudo constatar que la semilla que se utiliza actualmente en las plantaciones de nuestro país es de muy buena calidad genética, con una elevada productividad y rectitud del fuste, observándose cierta superioridad en los materiales con mayor grado de mejora, la cual se espera corroborar en edades más avanzadas.

Código	Fuente Semillera	Nro. INASE
1	RS Origen Kendall - INTA Concordia	5E3066JE
2	RS Origen Kendall - POMERA	2W6135JE
3	HSP - INTA Bella Vista	25W5750JE
4	HSP - INTA Montecarlo	59P7080JE
5	HSP - INTA Concordia	6E3066JE
6	HSP - INTA Concordia 10% Superior	6E3066JE
7	HSC Cerro Moreno – INTA Concordia	53P3066JE
8	HSC - INTA Concordia	41E3066JE
9	HSC - Paul Forestal	20E5185JE
10	HSC Proc. Sudáfrica (Transvaal)	----

Tabla 6. Fuentes Semilleras de *E. grandis* ensayadas

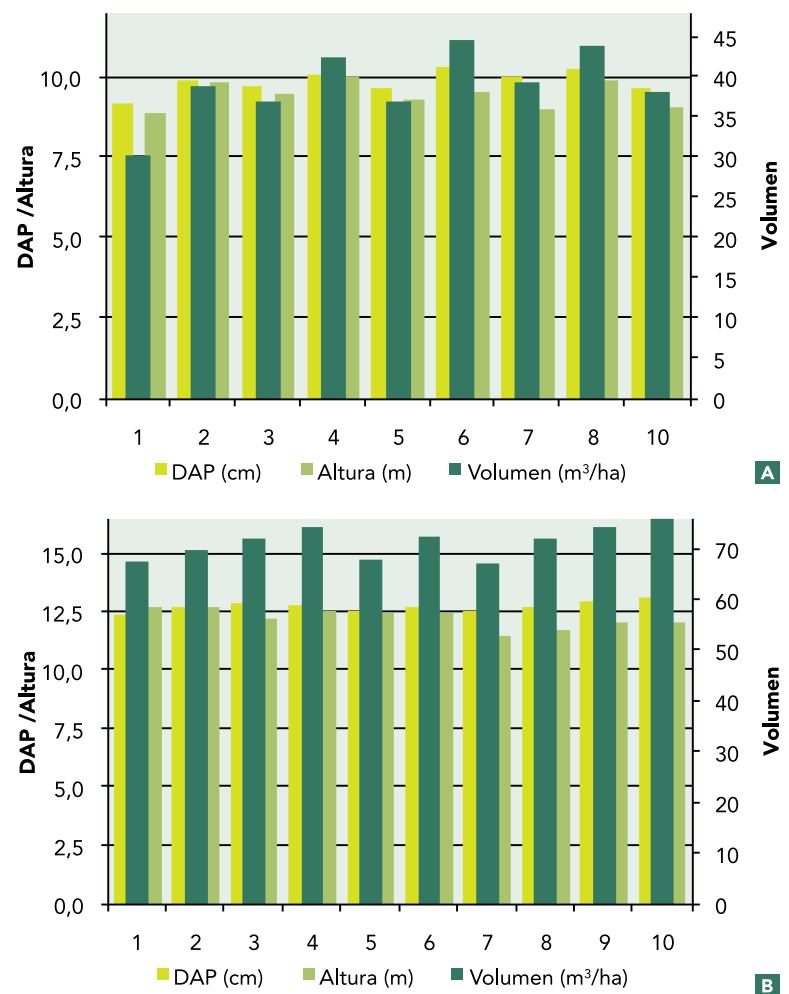


Figura 7. Diámetro, altura y volumen/ha de las diferentes FS de *E. grandis* en los ensayos de (A) Colonia Yerúa, (B) Berdú.

### Instalación y evaluación temprana de progenies de *Eucalyptus camaldulensis* y clones híbridos de *Eucalyptus* en suelos de baja productividad.

Pablo Pathauer; Ana Lupi; Eduardo P. Cappa

A partir del año 2013, se instalaron ensayos clonales de *Eucalyptus camaldulensis*, *E. tereticornis* e híbridos interespecíficos en 3 sitios de la Provincia de Buenos Aires con capacidad de uso IV a VII (Tabla 7). A estos ensayos se suma la instalación a partir de 2014 de ensayos de progenies de *E. camaldulensis* seleccionados por vigor y forma en suelos de pH elevado. Los resultados iniciales provenientes de los relevamientos de sobrevivencia fueron alentadores, encontrándose materiales híbridos con muy buenas tasas de sobrevivencia, superiores al 80% (Figura 8).

### Evaluación y selección de individuos superiores de *Eucalyptus viminalis*.

Pablo Pathauer; Eduardo P. Cappa

En cinco ensayos de *Eucalyptus viminalis* establecidos en la provincia de Buenos Aires (Figura 9) con 148 familias de polinización libre de

13 procedencias Australianas y 8 familias de selecciones locales, se evaluó la variabilidad a nivel de procedencias y se estimaron parámetros genéticos para caracteres de crecimiento, rectitud de fuste, penetración de Pilodyn 6J Forest, espesor de corteza y sobrevivencia. Las Procedencias fueron estadísticamente diferentes en al menos uno de los caracteres estudiados en tres de los cinco ensayos de progenie analizados. De esta manera, para crecimiento, las procedencias de Errinundra Road (VIC) y Timbarra River (VIC) fueron de las mejor posicionadas. En contraposición, Mt. Baldhead (VIC) fue la procedencia de menor *performance*. Los materiales locales se comportaron en forma poco consistente a través de los 5 sitios. Las heredabilidades para los caracteres de crecimiento ( $h^2=0,27$  para DAP), penetración de Pilodyn ( $h^2=0,32$ ) y forma ( $h^2=0,20$ ) fueron moderadas, mientras que para espesor de corteza y la supervivencia fueron bajas. Esto indicó que se pueden alcanzar niveles razonables de ganancia genética seleccionando los mejores árboles de las mejores procedencias y familias. Si bien se encontró una fuerte correlación genética entre DAP y penetración de Pilodyn (correlación negativa entre el crecimiento y la densidad básica de la madera), lo que dificulta la selección de ambas características a la vez. No obs-

Sitio	año	ensayo	materiales
Chascomus	2013	clonal	10 clones GC + 1 clon GT + 3 clones de <i>E. camaldulensis</i> + 2 test. semilla
Areco1	2013	clonal	10 clones GC + 6 clones de <i>E. camaldulensis</i> + 2 testigos semilla
Areco2	2015	clonal	6 clones GC + 3 clones GT + 3 clones de <i>E. camaldulensis</i>
Gualeduaychú	2014	progenies	21 progenies de <i>E. camaldulensis</i>

Tabla 7. Sitios de ensayo y materiales.

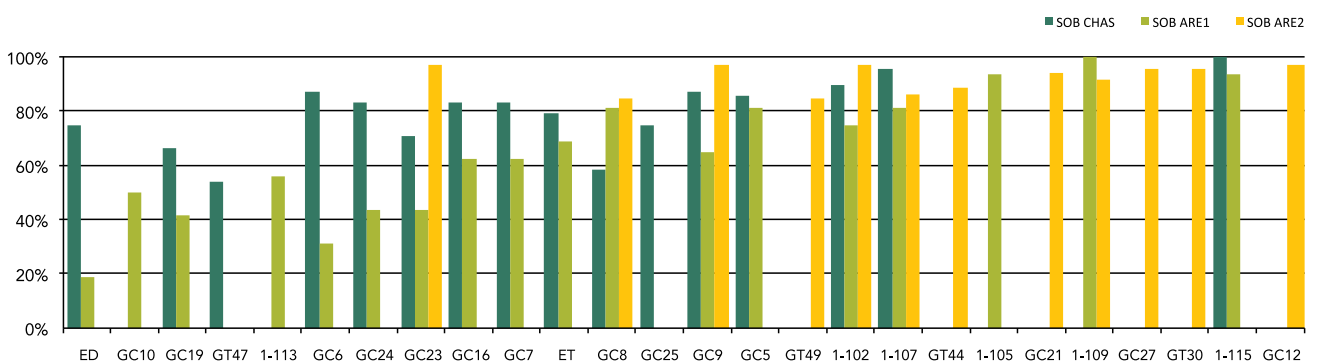


Figura 8. Sobrevivencia por sitio de ensayo.

tante, utilizando un índice de selección se han podido identificar individuos que combinan buenos valores de cría para ambas características. De esta manera utilizando como índice:  $0,4 * GANDAP + 0,6 * GANPIL$  se seleccionaron en el ensayo ubicado en la localidad de Guaminí, 266 individuos pertenecientes a 50 de las 96 familias instaladas inicialmente (Tabla 8).

### Ensayos de especies de eucaliptos para zonas frías.

Leonel Harrand; Javier Oberschelp; Martín A. Marcó

En regiones de clima cálido húmedo (ej. región de Concordia) y subtropical (resto de la región mesopotámica), las heladas limitan el cultivo de especies de eucaliptos subtropicales tal como sucede con el *E. grandis*. Por ello, recientemente, se ha introducido una nueva colección de especies desde el Australian Tree Seed Centre del CSIRO, con el fin de estudiar el comportamiento de diferentes especies de *Eucalyptus* en varios ambientes pedoclimáticos, para orientar su uso como alternativas de plantación o como fuente de germoplasma para la utilización en la generación de híbridos interespecíficos. Así es que durante la primavera de 2013 se han plantado nue-



Figura 9. Ensayo de progenies de *E. viminalis* en Guaminí (Bs. As.).

vos ensayos en Gualeguaychú y San Gregorio (*E. Ríos*), Montecarlo (Mnes.), Yuto (Jujuy), Saenz Peña (Chaco), Balcarce y Castelar (Bs. As.).

En una primera evaluación realizada a los 10 meses de edad en uno de los sitios en Entre Ríos (Figura 10), se observaron alturas promedio desde 1,05 m (*E. fastigata*) hasta 2,41 m en *E. tereticornis* con valores extremos individuales de hasta 3,20 metros. La supervivencia en general fue muy buena, con valores entre el 90% y 100% para la mayoría de las especies, a excepción de *E. macarthurii* (80%) y *E. badjensis* (74%). A medida que evolucione la edad de estos ensayos se podrán evaluar las especies/orígenes de mejor comportamiento y adaptación a la región. Así también, permitirá monitorear la presencia de algunas enfermedades foliares (como Mancha Amarilla, *Teratosphaeria pseudoecalypti*) o de plagas como la Avispa de la Agalla (*Leptocybe*

Procedencias	selectos
Argentina_bulk	9
Argentina_OP	5
BaldHills	51
Bonang_C	8
Bonang_K	26
Bonang River	20
Errinundra Road	3
Federation Road via Marysville	1
Mt. Baldhead	5
Mt. Sunday	8
Noojee	11
Templestowe	8
Timbarra River via Buchan	61
Urriara.S. F.	50
<b>Total general</b>	<b>266</b>

Tabla 8. Individuos de *E. viminalis* seleccionados.



Figura 10. Vista general del ensayo de especies de *Eucalyptus* ubicado en Aldea San Gregorio (Ubajay, Entre Ríos) a los 9 meses de edad.

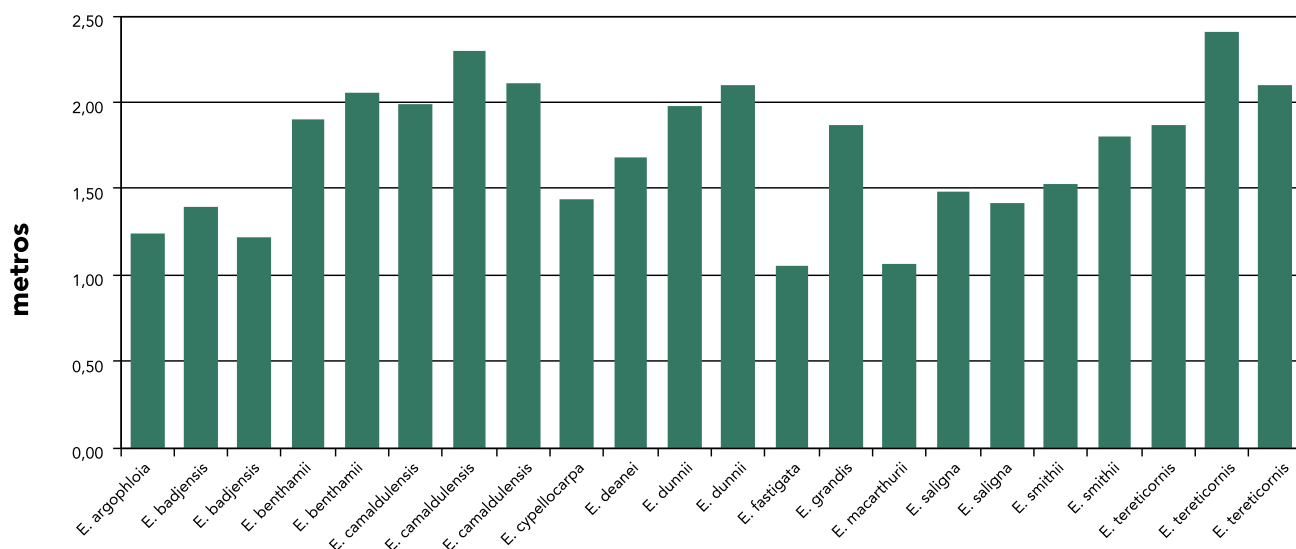


Figura 11. Altura a los 10 meses de edad de las diferentes especies *Eucalyptus* en San Gregorio (Ubajay, E. Ríos).

*invasa*) que pueden llegar a ser una limitante en el desarrollo de algunas especies/orígenes, siendo necesario tenerlas en consideración dentro del programa de mejora genética.

### Ensayos clonales de especies e híbridos de *Eucalyptus*.

Leonel Harrand; Javier Oberschelp; Carla Salto; Martín A. Marcó; Juan A. López

En la actualidad dentro del programa clonal se cuenta con 150 clones híbridos en evaluación y una población de selección de más de 5.000 individuos.

Los primeros ensayos de clones híbridos evaluados han demostrado la existencia de genotipos con crecimientos similares a los mejores clones de *E. grandis* (Figuras 12 y 13), con mayor tolerancia al frío, densidad de madera superior y tensiones de crecimiento iguales o inferiores a esta especie. Seis de estos clones ya se encuentran inscriptos en el RNC del INASE. La correlación edad-edad en las variables de crecimiento fueron muy altas ( $r_{GB} > 0,7$ ) indicando que no es necesario esperar varios años para efectuar una preselección de clones candidatos (Figura 14). Sin embargo, una selección a temprana edad garantiza la respuesta del clon en las variables estudiadas, pero varias otras que afectan la calidad de un clon pueden estar aún ocultas, siendo necesarias otras instancias de evaluación. Problemas potenciales como

plagas, enfermedades o reacciones desfavorables a factores climáticos, deben tratar de conocerse para evitar fracasos futuros, como se observa actualmente con algunos clones híbridos de buen crecimiento que la susceptibilidad a la avispa de la agalla y a manchas foliares lo retrasan notablemente (Ej: GT-INTA-37) (Figura 15). Las evaluaciones tempranas recientes de los ensayos instalados en los últimos años, con nuevos genotipos ingresados al programa clonal, señalan la existencia de varios genotipos con superioridad genética frente al material de semilla y a clones generados en etapas anteriores, los cuales luego de las evaluaciones necesarias, podrán transferirse al sector productivo para la realización de plantaciones comerciales.

### Velocidad de crecimiento y rectitud del fuste de *Corymbia* spp.

Juan A. López; Carlos D. Vera Bravo

En los últimos años *Corymbia* spp. y sus híbridos comenzaron a revalorarse como un género importante para la obtención de madera de calidad para usos sólidos de alto valor en diferentes regiones del mundo. Por ello, en 3 sitios de la Mesopotamia Argentina (Paso de los Libres y Bella Vista, en Corrientes y Humaitá en E. Ríos) al 9º año de edad se evaluó el crecimiento en volumen (VOL) y la rectitud del fuste (RF) de 8 orígenes de *Corymbia citriodora* subsp. *citriodora* (CC), 8 orígenes de *Corymbia citriodora*



Figura 12. Ensayo clonal de *Eucalyptus* de 3 años de edad en Caá Catí (Corrientes).



Figura 13. Ensayo de clones híbridos de *Eucalyptus* de 1 año de edad en Alem (Misiones).



**Figura 14.** Crecimiento medio individual ( $m^3$ ) en diferentes clones híbridos de *Eucalyptus*, y su comparación con clones de *E. grandis* y material de semilla, a los 6 y 11 años de edad, en un sitio en Concepción del Uruguay (Entre Ríos).

subsp. *variegata* (CV) y 6 orígenes de *Corymbia maculata* (CM).

El análisis sitio a sitio mostró que CV fue la subespecie más promisoría (Figura 16). En dos de los sitios evaluados CV superó claramente en VOL y RF a las otras entidades y en el tercer sitio (Humaitá) tuvo un crecimiento levemente inferior a CM, aunque sin diferencias estadísticas significativas. El análisis conjunto reveló una baja interacción a través de los sitios ya que la correlación genética a nivel de orígenes dentro de subespecies fue alta para VOL y RF ( $r_B = 0,76$  y  $0,90$  respectivamente). Este resultado indica que los mejores y peores orígenes correspondientes a cada subespecie, en general, no alteraron su comportamiento relativo a través de los diferentes sitios de expresión. Cabe destacar que, resultados preliminares obtenidos en el sitio Paso de los Libres evidenciaron que

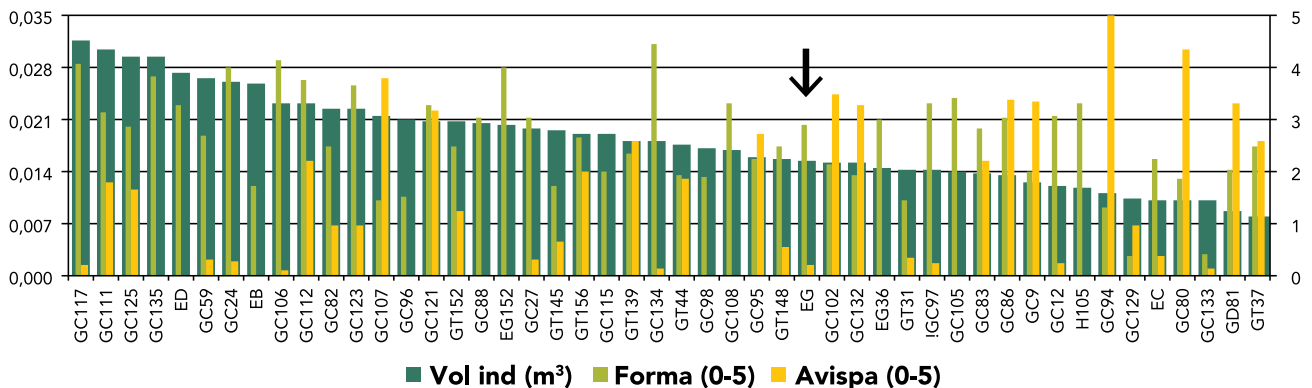
a pesar de tratarse de material salvaje, los crecimientos promedios de algunos orígenes de CV fueron comparables a los de *E. grandis* comercial (SAFCOL 2.0) posicionando a esta subespecie como muy promisoría para la región.

## Nuevos Huertos Semilleros de *Corymbia* y *Grevillea*

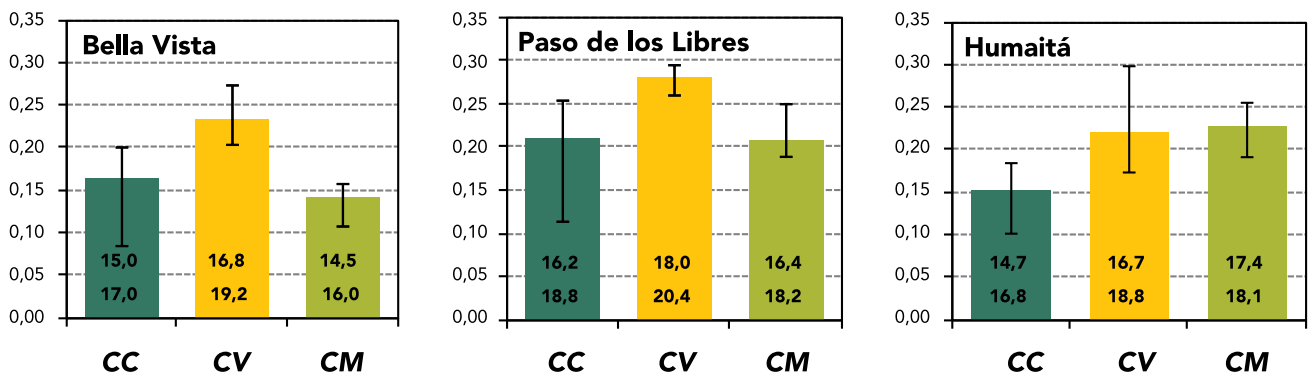
### Formación de un Huerto Semillero Clonal de *Corymbia citriodora* subespecie *variegata*.

Carlos D. Vera Bravo

Dado el buen comportamiento de *Corymbia citriodora* subsp. *variegata* (CV), la existencia de muy buenos ejemplares en los 3 ensayos des-



**Figura 15.** Crecimiento medio individual ( $m^3$ ), rectitud de fuste (0=muy mala, 5=muy buena) y ataque de avispa (0= sin ataque, 5=muy atacado) en diferentes clones de *Eucalyptus*, en un sitio en Concordia (E.R.) a los 2 años de edad. Valores de referencia de material del testigo de semilla (EG): Diámetro promedio 6,5 cm; Altura total promedio: 7,6 m.



**Figura 16.** Volumen medio individual ( $\text{dm}^3$ ) de las subespecies evaluadas en los 3 sitios. Las barras verticales indican el VOL de los orígenes extremos y dentro de las columnas figura el DAP y la Altura promedio de cada subespecie.

criptos anteriormente y la no disponibilidad de semilla local, como parte de una estrategia de corto plazo se seleccionaron fenotípicamente en dichos ensayos 30 ejemplares sobresalientes en VOL y RF utilizando la metodología clásica de selección masal (árboles comparación). La ganancia genética esperada del HSC se estima en aproximadamente 17% en volumen respecto de todos los individuos de CV evaluados en los 3 ensayos.

En una primera etapa, con el objetivo de movilizar y propagar los individuos seleccionados se probaron diferentes épocas de injerto. Los resultados indicaron que la época más propicia para injertar fue el otoño, cuando las temperaturas durante el día en promedio son inferiores a  $14\text{ }^\circ\text{C}$ . En dicha estación del año se obtuvo un 34 % de prendimiento promedio considerando un total de 627 injertos realizados a partir de 16 árboles selectos. Siguiendo este método se movilizaron los 30 árboles que conformaron el primer Huerto Semillero Clonal (HSC) de este

taxón en Argentina. Dicho huerto (Figura 17A) comenzó a instalarse en la primavera de 2013 y está compuesto por 226 rametos pertenecientes a 6 orígenes de CV. El mismo tiene una superficie aproximada de 1,5 hectáreas, posee un sistema de riego anti-heladas y otro de riego por goteo para la fertilización. El distanciamiento adoptado fue de  $7\text{ m} \times 7\text{ m}$  entre plantas y 7 repeticiones. Los rametos de un mismo origen se distribuyeron procurando una distancia mínima entre ellos de 21 metros. Dado que algunos rametos al segundo año de implantados ya comenzaron a florecer (Figura 17 B) se prevé una primera cosecha comercial para el año 2017. Por último, es importante mencionar que los mejores genotipos de este huerto próximamente serán utilizados para iniciar una estrategia de cruzamientos controlados con *Corymbia torelliana* dadas las ventajas últimamente conocidas de estos híbridos (tolerancia a factores bióticos y abióticos, mayor porcentaje de enraizamiento).



**Figura 17.** (A) Vista general del HSC de *Corymbia citriodora* subsp. *variegata* con los rametos descopados y (B) rameto del huerto con botones florales durante invierno de 2015.



## Ampliación del Huerto Semillero Clonal de *Grevillea robusta*.

Carlos D. Vera Bravo

En los ensayos de progenie instalados en 2001-2003 se seleccionaron 32 individuos pertenecientes a 24 familias de 8 procedencias. Dichos genotipos poseen una ganancia estimada de 55% en volumen, 14% en rectitud del fuste, -7% en abundancia de ramas, -0,9% en grosor de ramas y -0,5% en densidad de la madera en relación al promedio de los ensayos evaluados. Debido a las dificultades surgidas al inicio de la instalación del huerto, se debió ajustar varios métodos de injertación (yema, corteza y púa), distintos protectores para evitar la deshidratación de las púas injertadas (bolsa plástica y parafina) y épocas de injertación (estaciones del año). Como resultado de estas pruebas se obtuvo un protocolo de injertación utilizando el método de púa, usando como protector parafina y determinándose que las temperaturas durante el otoño e invierno fueron las más adecuadas. Con este protocolo se obtuvo un 54% de injertos prendidos permitiendo la ampliación del Huerto Semillero Clonal. Éste actualmente tiene una superficie de 4 hectáreas con más de 600 rametos. La distancia adoptada fue de 7 m x 7 m entre rametos y 19 repeticiones. Los rametos de una misma familia se distribuyeron a una distancia mínima promedio de 21 m para favorecer la panmixia (Figura 18 A y 18 B). Anualmente se realizó un descope (*topping*) para mantener los rametos a una altura de 4-5 metros y promover el crecimiento de ramas

laterales. Así mismo, semestralmente los extremos de las ramas laterales fueron cortados para inducir la formación de ramas secundarias y favorecer la floración en las mismas. Durante dos años y a efectos de acelerar la floración se aplicó paclobutrazol, no obteniéndose el resultado esperado. De todas maneras se prevé una primera cosecha comercial de poco volumen para 2015.

### Calidad de la madera

Caracterización de propiedades físicas y mecánicas de individuos de *Eucalyptus grandis* seleccionados en orígenes del norte del área de distribución natural de la especie.

Juan A. López; Mariano Hernández; Leonel Harrand

En tres ensayos de orígenes/progenies del norte de Queensland (Australia) ubicados en Virasoro (Ctes.), Cerro Azul y Cerro Moreno (Mnes.) se evaluaron las propiedades físicas y mecánicas de 56 individuos sobresalientes por ganancias genéticas en volumen (ggVol), rectitud del fuste (ggRF) y menor penetración de Pilodyn. Al 12° año de edad se realizó un muestreo destructivo evaluándose *in situ* el índice de rajado en rollizos (IRr) y en el Laboratorio de la EEA del INTA Bella Vista: densidad de la madera normal con 12% de humedad (DN 12%), densidad básica (DB), Modulo de Elasticidad (MOE) y Modulo de Rotura (MOR) a la flexión estática, Dureza Janka en sentido radial y tangencial



Figura 18. Vista del HSC con los rametos descopados en 2010 (A) y (B) rameto con floración en las ramas laterales (septiembre de 2014).

(DJr y DJt) utilizando probetas y métodos normados (Figura 19). Todas estas propiedades, en cada individuo seleccionado, fueron evaluadas en 3-5 posiciones radiales y en 2 sentidos cardinales (Este-Oeste).

En la Tabla 9 se pueden observar las propiedades de la madera y las ganancias genéticas para volumen y rectitud del fuste de los 56 individuos evaluados, las de los 20 selectos (solo un individuo por familia) con los que se podría formar un nuevo Huerto Semillero Clonal (HSC) y la de los 7 árboles que deberían pasar al programa clonal. La instalación de este HSC y la difusión de dichos clones incrementará la oferta de material para usos de mayor exigencia ya que, en todos los casos, se destacó un IRr medio y propiedades físicas y mecánicas superiores al promedio de *E. grandis* evaluado a una edad similar en la región Mesopotámica.

### Correlaciones genéticas edad-edad de las tensiones de crecimiento en clones de *Eucalyptus grandis*.

Juan A. López; Augusto J. López; Nuno Borralho

Las tensiones de crecimiento pueden ser estimadas indirectamente utilizando métodos semi-destructivos o destructivos. En ambos casos, el mismo individuo no puede ser evaluado en más de una oportunidad a través del tiempo, lo cual impide conocer el valor predictivo de las tensiones de crecimiento medidas a edades juveniles en relación a las esperadas a edades más adultas. Esto explica la falta de literatura específica en este sentido y el escepticismo de algunos tecnólogos, mejoradores y silvicultores en cuanto a la consistencia de los *rankings* edad-edad. Sin embargo, en ensayos clonales el mismo genotipo se encuentra repetido varias veces (rametos) con lo cual es posible asumir dos mediciones diferidas en el tiempo evaluando distintos rametos pertenecientes al mismo clon. Siguiendo este concepto, en 2 ensayos clonales de *E. grandis* 15 clones fueron evaluados al 6° y 11° año de edad (Clonal 1) y otros 12 clones al 9° y 14° año de edad (Clonal 2). En cada edad de evaluación se realizó un muestreo destructivo evaluándose *in situ* el índice de rajado en rollizos (IRr) en 5-6 rametos por clon. Los resultados obtenidos con ambos grupos de

Propiedades físicas y mecánicas	$\bar{x}$ selectos (n=56)	$\bar{x}$ selectos HSC (n=20)	$\bar{x}$ selectos programa clonal (n=7)
IRr (%)	0,59	0,49	0,57
DN 12% (kg/m <sup>3</sup> )	618	641	672
DB (kg/m <sup>3</sup> )	489	508	532
MOE (Mpa)	12.647	12.838	13.329
MOR (Mpa)	100	103	108
DJr (Mpa)	35	37	40
DJt (Mpa)	37	40	42
ggVol (%)	27	28	32
ggRF (%)	16	15	15

Tabla 9. Propiedades de la madera de los individuos seleccionados.



Figura 19. A) vista de un árbol seleccionado en el ensayo ubicado en Cerro Azul (Mnes.) , B) tabloncillos centrales en proceso de estacionamiento bajo cubierta, C) tablón central dividido en sentido radial y D) probetas de 2 cm x 2 cm x 36 cm (Norma DIN 52186) correspondientes a diferentes posiciones radiales listas para realizar los ensayos mecánicos.

	Edad	H <sup>2</sup> c	r <sub>gc</sub>
Clonal 1	IRr 6°	0,75	0,92
	IRr 11°	0,74	
Clonal 2	IRr 9°	0,81	0,93
	IRr 14°	0,86	

Tabla 10. Heredabilidad clonal (H<sup>2</sup>c) y correlaciones genéticas (r<sub>gc</sub>) entre edades de evaluación.

clones (Tabla 10) mostraron alta heredabilidad clonal y elevados coeficientes de correlación genético entre edades de evaluación (0,92 y 0,93) indicando la consistencia en la posición relativa de los clones a través de las dos edades de evaluación. Esta información permite inferir que la selección temprana por bajo nivel de tensiones de crecimiento es factible dentro de un Programa de Mejoramiento Genético de *E. grandis* para usos de alto valor.

### Ajuste del Resistógrafo para estimación de la densidad de la madera de árboles en pie de *Eucalyptus grandis*.

Augusto J. López; Pabla Y. Genes; Juan A. López

Con el objetivo de comprobar la eficiencia del Resistógrafo para evaluar la densidad de la madera de árboles en pie de *E. grandis*, se muestrearon en plantaciones comerciales 120 individuos de 9 a 12 años de edad en 12 sitios del sudeste de Corrientes (Figura 20). Se realizaron con el Resistógrafo 2 penetraciones radiales E-O a 1,30 m de altura, inmediatamente por debajo se extrajeron muestras de madera con barrenos Pressler de 5 mm para la obtención en el laboratorio de la densidad básica de la madera (DB). Los resultados mostraron correlaciones altamente significativas entre la Amplitud dada por el Resistógrafo y la DB (entre 0,71 y 0,73). Para comprobar la capacidad predictiva del aparato se elaboraron modelos de regresión para estimar DB con valores de Amplitud (Figura 21). La validación de los modelos de regresión obtenidos exhibieron resultados satisfactorios al utilizar como muestra independiente un grupo de 6 clones experimentales de *E. grandis*. La información obtenida muestra que el Resistógrafo permitiría discriminar de manera no-destructiva clases o conjuntos de individuos con baja, media o alta densidad de la madera. De igual modo podría ser de gran importancia en el agrupamiento de especies, orígenes/procedencias, clones y sitios. No obstante, deben tomarse ciertos cuidados y precauciones durante el trabajo de terreno para evitar valores de Amplitud erróneos o nulos (viento, nudos internos, horizontalidad y perpendicularidad radial del equipo).



Figura 20. Medición de la Amplitud radial con el Resistógrafo

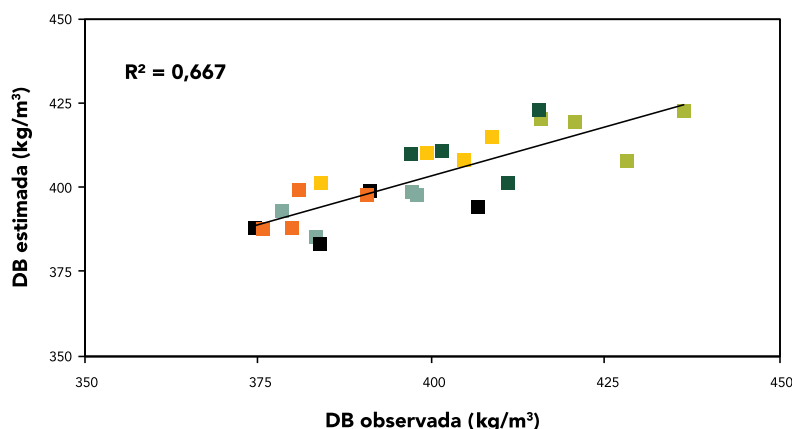


Figura 21. Densidad observada y estimada con Resistógrafo para los 24 rametos correspondientes a 5 clones utilizados como muestra independiente (■ = B96, ■ = 3096, ■ = 2796, ■ = 2496, ■ = 3696, ■ = 1896).

### Control genético de las tensiones de crecimiento en *E. dunnii*.

Juan A. López; Nuno Borralho; Augusto J. López; Martín A. Marcó; Leonel Harrand

Entre 1991-92 el INTA instaló una serie de ensayos de orígenes/progenies en varios sitios de la Mesopotamia. Algunos de dichos ensayos fueron transformados en Huertos Semilleros de Progenies utilizando un índice combinado de selección a través del cual fue posible capturar el 87% y 70% de la máxima ganancia genética posible para volumen y forma, respectivamente. Con el objetivo de identificar en esa población seleccionada (72 progenies de polinización



**Figura 22.** Rollizos acondicionados para la medición de IRr a las 72 hs posteriores al corte.

libre) individuos con bajo nivel de tensiones de crecimiento, mayor estabilidad dimensional y una densidad de la madera similar al promedio de la especie, a los 20 años de edad uno de dichos Huertos (Ubajay, E. Ríos) fue sometido a un muestreo destructivo. Las tensiones de crecimiento fueron estimadas indirectamente utilizando un índice de rajado en rollizos (IRr) que fue medido a las 72 horas posteriores al corte en las 4 caras de los 2 primeros rollizos comerciales (Figura 22).

Los resultados mostraron una importante variación genética del IRr a nivel familiar e individual. Si bien el 61,6% de la población muestreada manifestó IRr altos y muy altos, también se detectaron individuos con IRr medio y bajo. Esta propiedad evidenció estar bajo un fuerte control genético ( $h^2a=0,48$ ) y ser independiente del crecimiento volumétrico ( $r_{GA} = -0,03$ ). La magnitud de la variación detectada y el alto control genético indican que es posible esperar un cambio significativo en la reducción de las tensiones de crecimiento de *E. dunnii* aplicando estrategias convencionales de mejoramiento genético.

Cabe destacar que, cerca del 50% de los genotipos de mayor ganancia genética en volumen y rectitud del fuste que ya fueran movilizados con anterioridad vía injerto e instalados en un Huerto Semillero Clonal en el Instituto de Recursos Biológicos del INTA Castelar (Bs. As.), evidenciaron ganancias genéticas en bajo nivel de tensiones de crecimiento. No obstante, con la información obtenida y sin pérdida significativa de crecimiento y forma, podría implantarse un nuevo HSC que reúna genotipos con bajo IRr a efectos de producir semilla comercial procedente de polinización abierta.



**Figura 23.** Listones diametrales (A) y probetas preparadas para evaluar densidad de la madera (B).

### Variación de la densidad y del color de la madera de *Eucalyptus dunnii*.

Augusto J. López

Utilizando el material obtenido en el muestreo destructivo descrito en el apartado anterior, se procesaron listones diametrales a 1,30 metros de altura de 314 individuos (Figura 23 A), a los cuales se le midió el color de la albura y el duramen en 2 sentidos cardinales utilizando un colorímetro portátil con iluminante D65 y ángulo de observación de 10°. Para la determinación de las coordenadas colorimétricas  $L^*$ ,  $a^*$ , y  $b^*$  del Sistema CIELab se realizaron un total de 15.072 determinaciones. La densidad básica de la madera se evaluó en 2 sentidos cardinales y 5 posiciones radiales (Figura 23 B) utilizando probetas y métodos normados (10 probetas/árbol; 3.140 probetas totales).

Se observó poca variación de la rojez y amarillez (parámetros  $a^*$  y  $b^*$ ) siendo similares entre la albura y el duramen. Por su parte, la luminosidad ( $L^*$ ) difirió notablemente entre ambas secciones, siendo superior en el duramen, indicando que la madera del duramen es más clara que la de la albura. No obstante, se evidenció que en el 13% de los individuos evaluados el color de la albura y el duramen no podrían ser distinguidos por un observador promedio ( $\Delta E < 5$ ). Esto implica, en sentido práctico, una ventaja para el uso de madera de apariencia ya que una misma pieza conteniendo albura y duramen se vería homogénea. La densidad básica de la madera de *E. dunnii* fue de 606,9 kg/m<sup>3</sup> en promedio (Tabla 11). El 78% de los individuos evaluados tuvieron densidades entre 550 y 650 kg/m<sup>3</sup>. Sin embargo, dada la importante variación individual observada, se detectó que alrededor del 10% de los individuos evaluados

	Albura			Duramen			DB (kg/m <sup>3</sup> )
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	
Media	68,6	6,00	17,7	77,0	7,30	17,2	606,9
Mínimo	59,4	0,60	12,5	72,1	2,20	13,1	502,2
Máximo	78,1	11,4	23,9	82,3	12,3	24,0	740,1

**Tabla 11.** Estadísticos descriptivos del color y la densidad básica de la madera de *E. dunnii*.

presentaron densidades similares a las de *E. grandis* de la misma edad. La selección de estos genotipos podría significar una ventaja ya que para usos sólidos de alto valor esta especie no tiene buena aceptación en el sector industrial de la Mesopotamia argentina, entre otras propiedades, por su alta densidad.

### Tensiones de crecimiento en *Eucalyptus dunnii*: Medición en árboles en pie y su efecto en rollizos y tablas aserradas.

Mariano Hernández

Con el objetivo de evaluar tensiones de crecimiento en *Eucalyptus dunnii*, su efecto en rollizos y en la calidad y rendimiento de tablas aserradas, se muestrearon 45 árboles de 19 años de un ensayo de familias y procedencias ubicado en Bella Vista (Ctes.). Se realizaron mediciones con el extensómetro CIRAD-Forêt para obtener un valor promedio por árbol del indicador de tensiones de crecimiento (GSI) (Figura 24 A). Luego se apearon los árboles y se cortó un rollizo de cada árbol a la altura del pecho de 2 m de longitud para determinar *in situ* un índice de rajado (IRr) sobre las caras transversales (Figura 24 B). Los rollizos se trasladaron de inmediato al aserradero donde, a fin de inducir

que las tensiones de crecimiento se manifestaran intensamente, se procesaron en una sierra sinfín simple con un sistema de corte paralelo. Se produjeron 246 tablas tangenciales de una pulgada de espesor, las cuales se evaluaron en estado verde inmediatamente luego de ser aserradas (Figura 24 C). Se midió la longitud de las rajaduras en los extremos de las tablas y se calculó un índice de rajadura en tablas por rollizo (IRT), el rendimiento en bruto del aserrado y el rendimiento equivalente a realizar un despunte en las tablas para eliminar el defecto. Los resultados de GSI e IRr mostraron valores promedio de 0,0763 0,0251 mm y 0,43 0,31 % respectivamente, similares a los que se pueden encontrar en otras especies de eucaliptos, como *E. globulus* ó *E. grandis*. La asociación entre el GSI y el IRr fue alta ( $r = 0,71$ ), lo cual demostró que el extensómetro CIRAD-Forêt es un instrumento eficiente para estimar tensiones de crecimiento sin necesidad de apea el árbol. El 58% de las tablas aserradas presentaron rajaduras en alguno de sus extremos, sin embargo, esto condujo a la disminución en el rendimiento del aserrado del 44,2 % al 41,7 %, que no resultó tan pronunciado. En estado verde las tablas producidas no presentaron alabeos notorios determinados mediante apreciación visual. Las correlaciones entre el IRT con el IRr y el GSI fueron positivas y moderadas ( $r = 0,52$  y  $r = 0,46$  respectivamente).



**Figura 24.** A) Extensómetro CIRAD-Forêt sobre árbol en pie B) Rajaduras en la cara transversal de un rollizo C) Medición de la longitud de una rajadura en extremo de tabla.

Especie	Índice de rajado en rollizo (%)			Densidad básica de la madera (kg/m <sup>3</sup> )		
	Media	Mínimo	Máximo	Media	Mínimo	Máximo
<i>E. dorrigoensis</i>	0,61	0,37	1,07	555	517	592
<i>E. camaldulensis</i>	0,92	0,42	1,59	658	620	711
<i>E. benthamii</i>	1,05	0,61	2,28	560	511	604
<i>E. saligna</i>	1,16	0,67	2,32	642	605	714
<i>E. dunnii</i>	1,91	0,39	3,82	617	562	697

**Tabla 12.** Estadísticos descriptivos del índice de rajado en rollizos y la densidad básica de la madera de las 5 especies evaluadas.

te) pero no permitieron explicar las rajaduras en tabla desde el árbol en pie o desde el rollizo, seguramente otros factores como el manipuleo de los rollizos o el número de tablas obtenidas por rollizo tuvieron influencia en esta relación, aspectos éstos que deberían ser motivo de nuevas investigaciones.

### Tensiones de crecimiento y densidad de la madera de 5 especies de eucaliptos con mayor tolerancia al frío que *Eucalyptus grandis*.

Augusto J. López; Juan A. López; Leonel Harrand; Martín A. Marcó; Javier Oberschelp

A efectos de evaluar las propiedades de la madera de 5 especies de eucalipto con mayor tolerancia a frío que *Eucalyptus grandis* y visualizando el futuro desarrollo de híbridos interespecíficos se evaluaron las tensiones de crecimiento y la densidad básica de la madera de *E. saligna*, *E. dunnii*, *E. camaldulensis*, *E. dorrigoensis* y *E. benthamii*. Para esto, en un ensayo demostrativo ubicado en San Salvador (E. Ríos) al 16° año de edad se apearon 9-11 ejemplares dominantes de cada especie evaluándose *in situ* el índice de rajado en rollizo (IRr) y la densidad básica de la madera (DB) en 2 sentidos cardinales y 5 posiciones radiales utilizando probetas y métodos normados (188 caras de medición de IRr y 470 probetas para DB). Los resultados obtenidos (Tabla 12) evidenciaron que *E. dunnii*, *E. saligna* y *E. benthamii* fueron las especies con mayor nivel de tensiones de crecimiento con IRr Muy Altos (: 1,91%, 1,16% y 1,05% respectivamente). *E. camaldulensis* y *E. dorrigoensis* tuvieron menor nivel de tensiones de crecimiento con IRr entre Alto y Medio (: 0,92% y 0,61% res-

pectivamente). En las 5 especies analizadas se constató una importante variación individual del IRr con una amplitud entre extremos muy significativa y coeficientes de variación intraespecie entre 41% y 63%. En cuanto a la densidad básica de madera se observó que las 5 especies evaluadas presentaron valores de densidad mayores al promedio de *E. grandis* evaluado a edades similares en la región. Los resultados obtenidos muestran la importancia de una correcta elección de los progenitores a ser utilizados en el programa de hibridación para mayor tolerancia al frío a efectos de minimizar la incidencia desfavorable que podría tener en la calidad de la madera la incorporación de algunas de estas especies, fundamentalmente en cuanto a tensiones de crecimiento.

### Evaluación genética de propiedades físicas de la madera de clones híbridos de *Eucalyptus*.

Juan A. López; Augusto J. López; Leonel Harrand; Martín A. Marcó

Se analizaron propiedades físicas de la madera de importancia para usos sólidos de alto valor de un grupo de clones híbridos, generados por el grupo de mejoramiento de la EEA INTA Concordia, estimándose los principales parámetros genéticos y la superioridad/inferioridad esperada respecto a materiales comerciales de *E. grandis* utilizados durante los últimos años en la Mesopotamia Argentina. Para este efecto, en un ensayo ubicado en Concepción del Uruguay, Entre Ríos (Figura 25) se realizó al 6° año de edad un muestreo destructivo que incluyó 11 clones de *E. grandis* x *E. camaldulensis* (GC), 5 clones de *E. grandis* x *E. tereticornis* (GT), 1

	IRr* (%)	DB (kg/m <sup>3</sup> )	CR (%)	CT (%)
GC27	0,55	531	7,61	14,96
GC9	0,38	504	8,16	15,82
GC12	0,35	496	8,04	16,47
GT37	0,23	520	7,72	15,08
GT31	0,22	521	6,53	14,45
GT44	0,2	512	6,48	12,95
HSP	0,34	430	6,55	11,82

\* Muy Bajo (<0,25), Bajo (0,25-0,49), Medio (0,50-0,74), Alto (0,75-1,0), Muy Alto (>1,0)

**Tabla 13.** Valores medios esperados.

clon de *E. grandis* x *E. dunnii* (GD), 2 clones puros de *E. grandis* (EG) y un material de semilla mejorada procedente del Huerto Semillero de Progenies de INTA ubicado en Ubajay, E.R. (HSP). Para cada uno de los 20 materiales analizados se cortaron 5 ejemplares representativos en los que se evaluó *in situ* el índice de rajado en rollizos (IRr) y en el Laboratorio de la EEA del INTA Bella Vista: densidad básica de la madera (DB), contracción total radial y tangencial (CR y CT). El color del duramen se midió en muestras estacionadas (12% de humedad) utilizando un colorímetro portable con iluminante estándar D65 (luz difusa).

Entre los principales resultados obtenidos se constató que la heredabilidad clonal (H<sup>2</sup>c) de las características evaluadas fue alta (entre 0,64 y 0,87) indicando un fuerte control genético de las propiedades de la madera analizadas. Entre los clones híbridos evaluados, dada la gran variabilidad existente, se identificaron algunos que se destacaron por poseer alta densidad de la madera, bajo nivel de tensiones de crecimiento y una estabilidad dimensional aceptable a pesar de los altos valores de contractibilidad radial y tangencial. En cuanto al color del duramen, utilizando la metodología CIELab, las diferencias de color entre el material de semilla (HSP) y la de los híbridos de GC y GT demostraron que no podrían ser distinguidas por un observador promedio (DE\* <5) lo cual los posicionaría en igualdad de condiciones que *E. grandis* para usos de apariencia. En la Tabla 13 se consignan los valores medios esperados del material de semilla mejorada (HSP) y de los 6 clones híbridos inscriptos por el INTA en base a velocidad de crecimiento, rectitud del fuste y a la información aquí analizada.



**Figura 25.** Muestreo destructivo en el ensayo de Concepción del Uruguay, E. Ríos (Lat: 32° 29'19" Sur, Long: 58° 21'02" Oeste).

### Variación de propiedades físicas de la madera de *Corymbia* spp.

Juan A. López

En 3 ensayos de orígenes de *Corymbia citriodora* subsp. *citriodora* (CC), *Corymbia citriodora* subsp. *variegata* (CV) y *Corymbia maculata* (CM) a los 9 años de edad se realizó un muestreo destructivo. De cada origen y en cada sitio se muestrearon 4-5 individuos codominantes resultando una población muestral de 297 árboles (103 en el sitio Bella Vista, 98 en el sitio Paso de los Libres y 96 en el sitio Humaitá). En los mismos se evaluó *in situ* el índice de rajado en rollizos (IRr) y en el Laboratorio de la EEA del INTA Bella Vista: densidad básica de la madera (DB), contracción total radial y tangencial (CR y CT).

Los principales resultados indicaron que las tres subespecies manifestaron un bajo nivel de tensiones de crecimiento (IRr entre 0,06 y 0,38). En cuanto a la densidad de la madera (Figura 26) y considerando a los 3 sitios en conjunto, *Corymbia citriodora* subsp. *citriodora* fue la de mayor densidad (751 kg/m<sup>3</sup>) y *Corymbia maculata* la de menor (604 kg/m<sup>3</sup>). *Corymbia citriodora* subsp. *variegata* mostró un comportamiento intermedio (712 kg/m<sup>3</sup>). No obstante, considerando la temprana edad de evaluación, la densidad de la madera de cualquiera de las tres subespecies superó ampliamente a la de *E. grandis* actualmente comercializado en la región. Por otro lado, las contracciones totales radiales y tangenciales (CR y CT) evidenciaron valores levemente inferiores a las de *E. grandis* demostrando su aptitud para usos de alto valor (Figura 27).

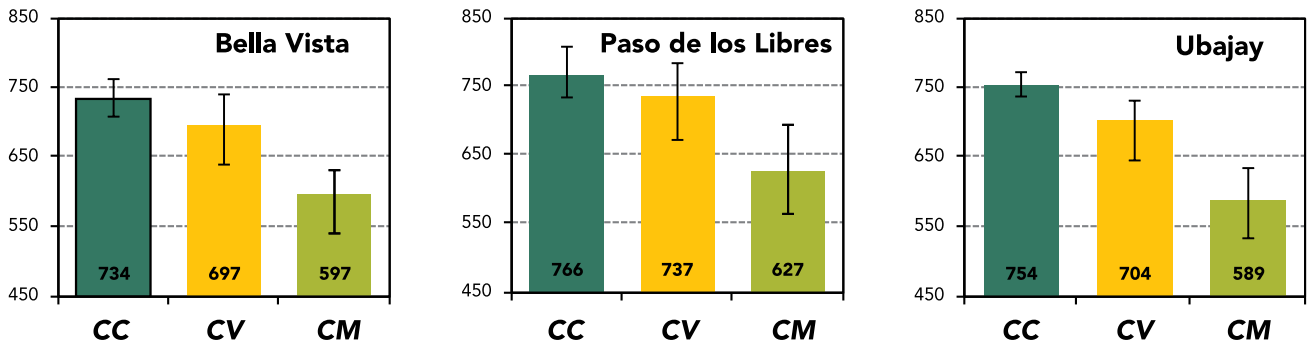


Figura 26. Densidad de la madera (kg/m<sup>3</sup>) de las subespecies evaluadas en los 3 sitios. Las barras verticales indican la densidad de los orígenes extremos.

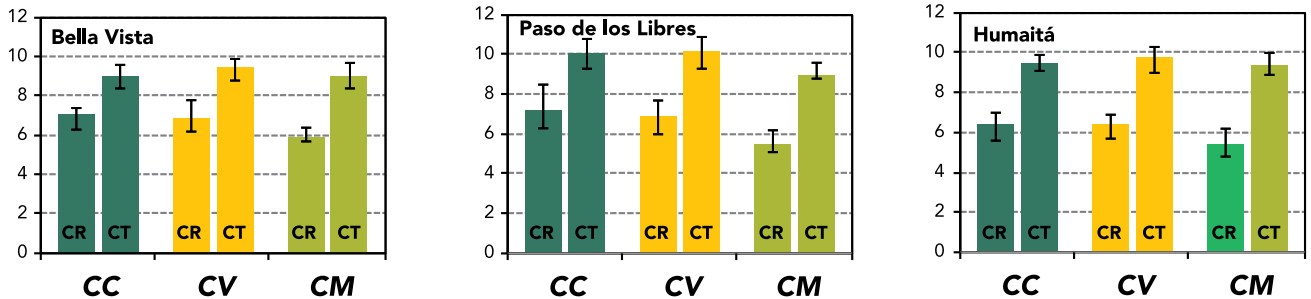


Figura 27. Contracción radial y tangencial (%) de las subespecies evaluadas en los 3 sitios. Las barras verticales indican las contracciones de los orígenes extremos.

## Aplicación de herramientas moleculares

### Orígenes geográficos para la determinación de razas locales de *Eucalyptus grandis*.

Pamela V. Villalba; Cintia V. Acuña; Martín N. García; María C. Martínez; Leonel Harrand; Javier Oberschelp; Nuno Borralho; Juan A. López; Martín A. Marcó; Esteban Hopp; Susana N. Marcucci Poltri

Se evaluaron 188 árboles con 2.816 DArT variables y se realizaron análisis para determinar los grupos genéticos de la muestra seleccionada que alberga distintos orígenes geográficos que incluyen dos grupos australianos: NSW (grupos verdes) y SE Queensland (grupos azules). Entre estos individuos (Figura 28) están las selecciones y razas locales que integran los HSC y que mostraron un patrón que no concordó con ninguna de los materiales de los distintos orígenes y procedencias evaluados (grupo rojo). Esto sugiere que dichos materiales podrían provenir de otros orígenes geográficos y que a partir de esta información de grupos genéticos se podría

descubrir si tienen un posible origen en el N de Queensland (puntos rojos).

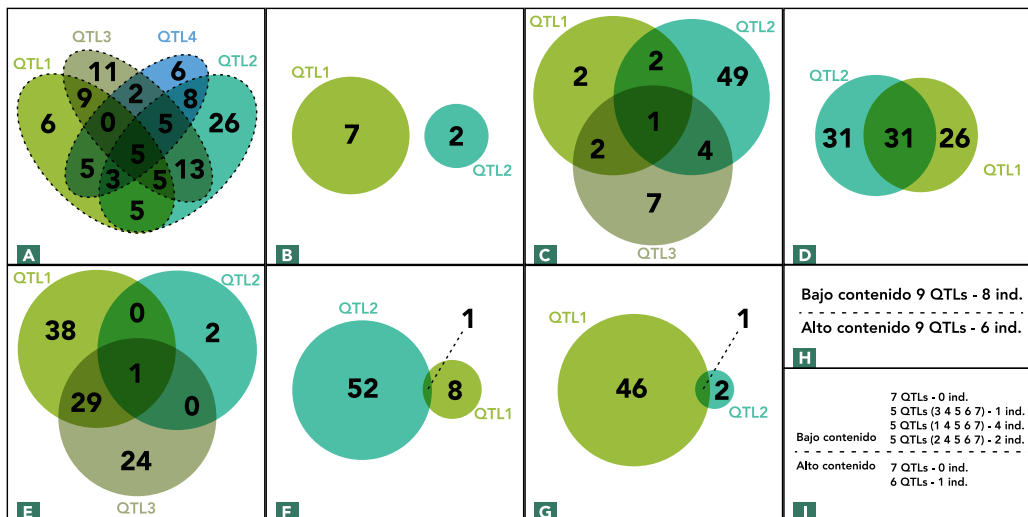
### Selección de árboles portadores de varios QTL (*loci* de caracteres cuantitativos) asociados con calidad maderera de *Eucalyptus grandis*.

Martín N. García; Eduardo P. Cappa; Leonardo A. Ornella; Pamela V. Villalba; Cintia V. Acuña; María C. Martínez; Leonel Harrand; Javier Oberschelp; Mauro Surenciski; Juan A. López; Martín A. Marcó; Esteban Hopp; Susana N. Marcucci Poltri

A partir de un mapa de ligamiento de marcadores generado a partir de un cruzamiento intra-específico de *E. grandis* se ubicaron 33 QTL de interés para la producción: cinco relacionados con propiedades físicas de la madera, siete con crecimiento y 21 con propiedades químicas de la madera. En base a la información genética del mapa se seleccionaron aquellos individuos del cruzamiento que contenían los QTL favorables para cada uno de los caracteres (Figura 29). De esta manera se identificaron individuos por-







**Figura 29.** Representación en diagramas de Venn del número de individuos con QTL favorables para densidad de madera (A), diámetro (B), altura de árbol (C), volumen (D), alta relación S/G (E), bajo contenido de extractivos etanólicos (F) alto contenido de extractivos etanólicos (G), lignina Klason (H) y lignina total (I).

década del 90, es de origen desconocido. Paralelamente, un conjunto de 30 clones que fueron seleccionados por la empresa SOPORCEL para ser utilizados en Portugal y que fueron probados en la Pcia. de Buenos Aires con buenos desempeños en crecimiento, no cuentan con información precisa de *pedigree*. Mediante el uso de distintas herramientas moleculares (10 SSR y 243 AFLP -para las razas locales- y 400 DArT -para los clones) fue posible identificar el origen geográfico del cual derivan estos materiales (Figura 30).

Las razas locales mostraron gran afinidad con las razas del NE, S y SE de Tasmania. En el caso de los clones, algunos mostraron mayor afinidad con razas del SO de Tasmania, mientras que otros se identificaron con el S de Tasmania. Sin embargo unos pocos clones se identifican con Furneaux, Western Otways y Strzelecki. Estas últimas razas han demostrado en la red de ensayos de orígenes y progenies de INTA, muy buenos desempeños tanto para crecimiento como en densidad básica de la madera.

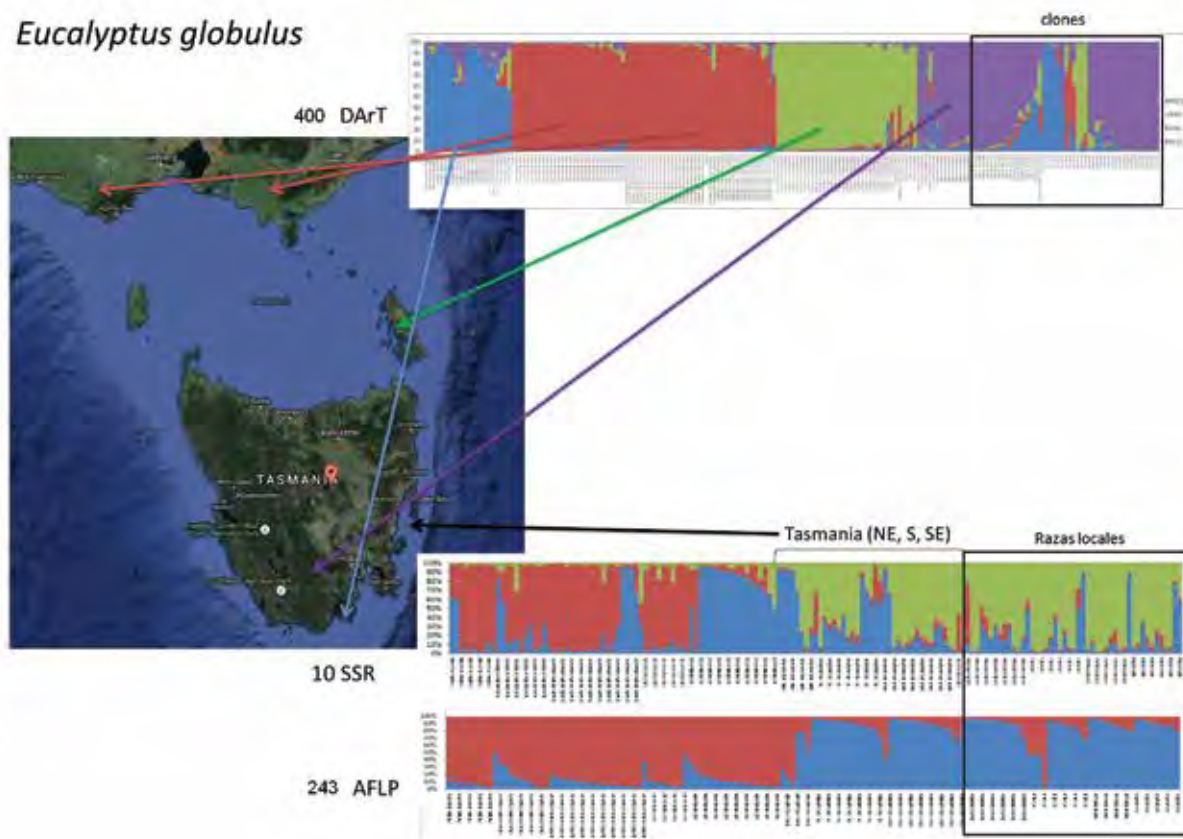
### Propiedades de calidad de madera en *Eucalyptus globulus*: identificación de genes mediante mapeo por asociación.

Pamela V. Villalba; Natalia C. Aguirre; Eduardo P. Cappa; Cintia V. Acuña; Martín N. García; María C. Martínez; Pablo Pathauer; Esteban Hopp; Susana N. Marcucci Poltri

El conocimiento de las regiones genómicas involucradas en el control de características de interés forestal es de suma importancia en los programas de mejoramiento genético. En este contexto, el mapeo de asociación, para buscar marcadores ligados a las mismas, es una de las estrategias más utilizadas debido principalmente al desarrollo en los últimos años de tecnologías para genotipificar un alto número de loci en simultáneo, como ser el empleo de marcadores DArT.

Se estudió una población de polinización abierta de 134 individuos de *E. globulus* emplazada en Balcarce (Buenos Aires) provenientes de 8 orígenes australianos y una raza local. En esta población, se analizaron características de calidad de la madera a partir de predicciones por medio de mediciones de espectros de tipo NIRs realizadas en el Instituto de Investigación Científica Tropical de Portugal: tenor y tipo de lignina (LIG TOTAL y KLASON), relación Syringil/Guayacil de lignina (S/G), extractivos (EXT ET y EXT TOTAL) y densidad básica de

## *Eucalyptus globulus*



**Figura 30.** Distribución de los grupos genéticos de *E. globulus*, las razas locales y los clones determinados con marcadores moleculares.

la madera (DB). Se realizó el mapeo por asociación utilizando un modelo lineal mixto; calculado como:  $y = Sa + Qv + Zu + e$  en donde  $y$  es el fenotipo corregido por efectos ambientales dentro del ensayo,  $\alpha$  es el vector de efectos fijos de marcador que se relaciona con  $y$  mediante la matriz de los marcadores  $S$ ,  $v$  es el vector de efectos fijos que estima la proporción de cada individuo a la estructura poblacional y que se relaciona con  $y$  mediante la matriz de estructura poblacional ( $Q$ ),  $u$  es el efecto aleatorio poligénico que se relaciona con  $y$  mediante la matriz  $Z$  y  $e$  son los efectos residuales.

De un total de 7.860 marcadores DArT, 2.354 fueron variables entre los individuos y útiles para el análisis de asociación. Luego de una corrección para comparaciones múltiples ( $p \leq 0,05$ ), se encontraron 44 marcadores positivamente asociados a las características evaluadas. Todas ellas estuvieron relacionadas con rasgos de calidad de madera de sumo interés para el mejoramiento, tanto para producción de madera como para papel. En particular relacionadas con la síntesis de la lignina: 20 marca-

dores asociados para LIG TOTAL, 14 para EXT ET, 7 para KLASON y 3 para S/G. Estos marcadores se utilizaron para encontrar genes a partir de la secuencia del genoma publicado de *E. grandis* (<http://phytozome.jgi.doe.gov>). Entre ellos, se encontraron marcadores relacionados con la síntesis de celulosa y xilano (como son el CesaA y las glicosiltransferasas), con factores de transcripción de MYB, con genes de MADS y K-Box, con genes de la síntesis de terpenos, de peroxidasas y lacasas, todos ellos de importancia biológica en las características de crecimiento y calidad de madera en el área forestal.

Los resultados obtenidos demuestran que los estudios de asociación son herramientas útiles a la hora de identificar genes implicados en caracteres complejos. Esta información puede ser utilizada como herramienta para realizar mejoramiento asistido por marcadores en edades tempranas para estas características así como para profundizar el estudio funcional de los genes implicados y contribuir con futuros análisis de selección genómica.

## Identificación de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* para su inscripción en el INASE.

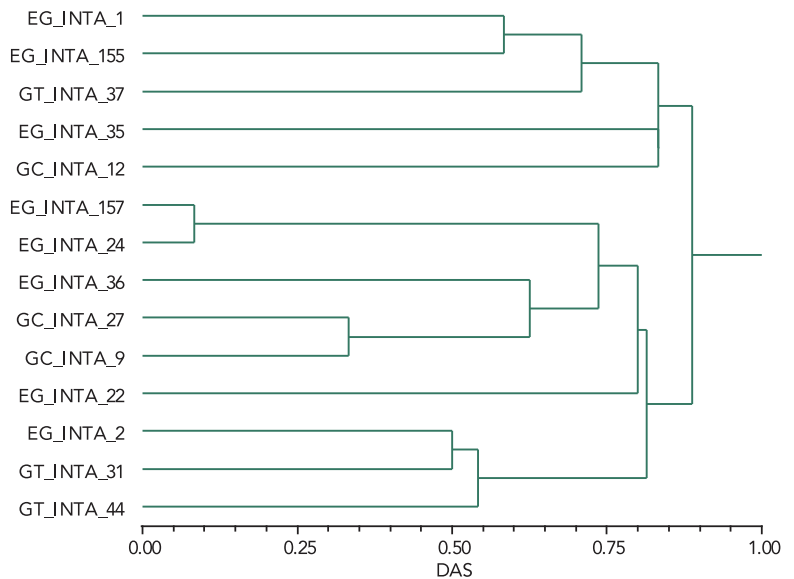
Pamela V. Villaba; Cintia V. Acuña; Martín N. García; María C. Martínez; Juan G. Rivas; Leonel Harrand; Javier Oberschelp; Martín A. Marcó; Esteban Hopp; Susana N. Marcucci Poltri

En la República Argentina, para poder comercializar un material, es necesario que el mismo esté inscripto en el Registro Nacional de Cultivares (RNC) del Instituto Nacional de Semillas (INASE). Dentro de los requisitos necesarios para este fin es indispensable contar con una herramienta rápida y eficiente que identifique inequívocamente un material y lo distinga de otro. Bajo este objetivo, se determinaron los perfiles genéticos de material clonal proveniente de la EEA Concordia integrado por 8 clones de *E. grandis* (EG) y 6 híbridos con *E. camaldulensis* (GC) y *E. tereticornis* (GT) mediante la utilización de 6 marcadores microsatélites (SSR) para su posterior inscripción al RNC de INASE. Los marcadores SSR que se emplearon (EMBRA2, EMBRA5, EMBRA6, EMBRA10, EMBRA21 y EMBRA25) han sido ampliamente utilizados y validados en diversos laboratorios en el mundo para la identificación de árboles del género *Eucalyptus*. Tal como se observa en la Figura 31, los marcadores pudieron diferenciar satisfactoriamente todos los clones puros e híbridos y fue posible corroborar las identidades genotípicas en el marco de las actividades de certificación y control de comercio que realiza el INASE y para monitoreo y control de calidad por parte de los mejoradores.

## Recuperación de la identidad genética de clones de *Eucalyptus grandis* e híbridos mediante marcadores moleculares de ADN.

Cintia V. Acuña; Juan G. Rivas; Leonel Harrand; Javier Oberschelp; Pamela V. Villalba; Silvina Brambilla; Pamela Alarcón; Martín A. Marcó; Susana N. Marcucci Poltri

Con el objetivo de restablecer la identidad de 270 rametos pertenecientes a 44 clones de *E.*

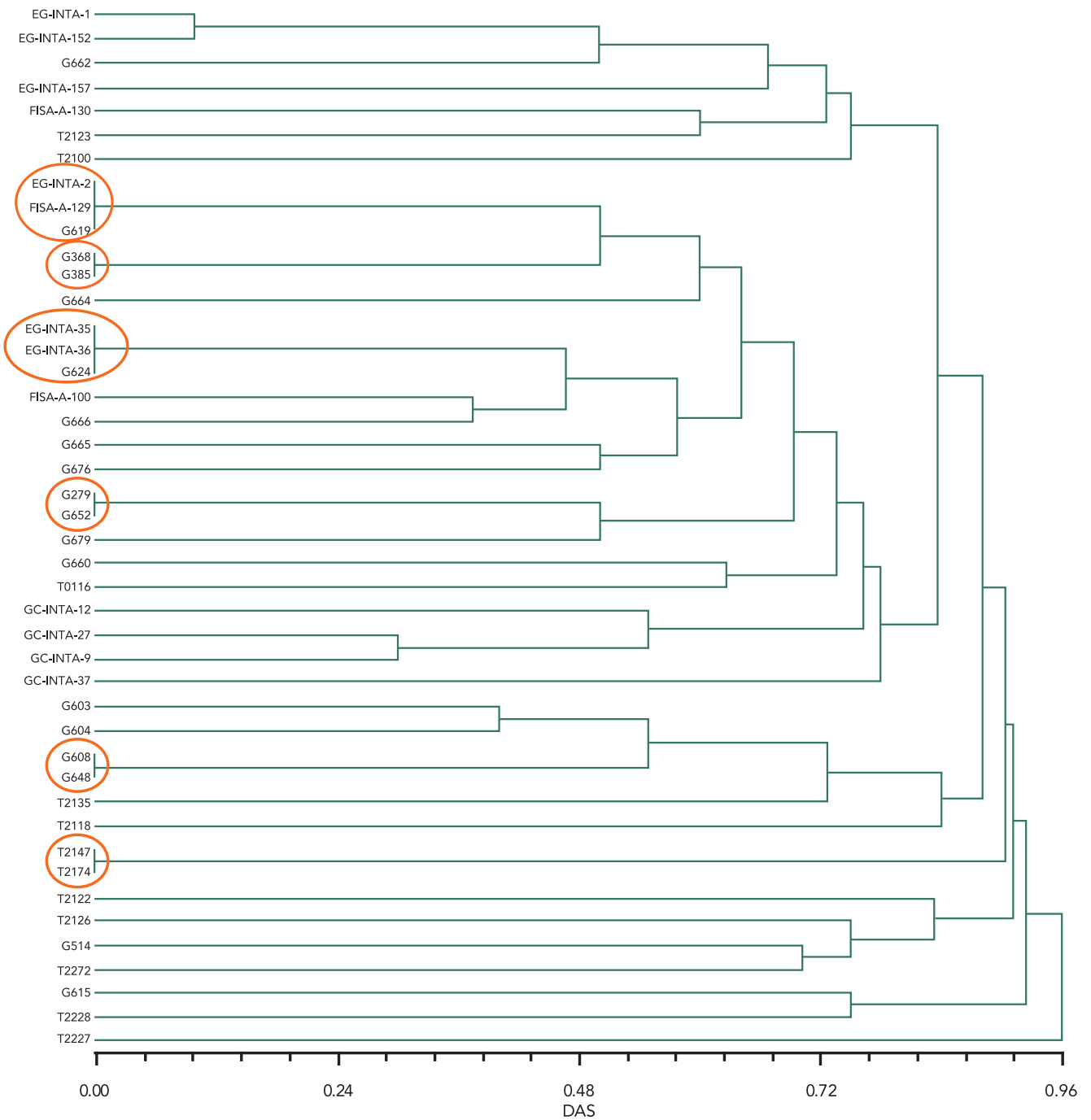


**Figura 31.** Dendrograma de los 16 clones de *E. grandis* (puros e híbridos) analizados. Se indica el valor de Distancia Genética (DAS).

*grandis* e híbridos en un ensayo implantado en Colón (E. Ríos) se utilizaron marcadores SSR. Los clones correspondían a material comercial o precomercial de diferentes empresas: Forestadora Tapebicua (FTSA), Vivero Paul Forestal (G), Pomera Maderas (T), vivero Loreto Forestal (EG-INTA) y de la EEA Concordia de INTA (GC y GT-INTA).

Se analizaron 4 regiones SSR variables (marcadores denominados EMBRA 2, 6, 10, 25) que permitieron obtener la identificación de cada clon y rameto y la distancia genética (DAS) entre pares de individuos, que puede valer entre 0 (cuando los individuos comparten todos los alelos) ó 1 (cuando los individuos no comparten ninguno de los alelos). Se realizó un dendrograma donde se observó que la mayoría de los genotipos fueron discriminados, excepto algunos que, posiblemente, sean los mismos materiales ya que tampoco pudieron ser discriminados agregando otros 4 SSR (EMBRA 18, 28, 33, 69) (Figura 32). Por lo tanto, utilizando los primeros 4 marcadores mencionados se analizó la identidad genética de los 270 rametos (obteniendo el perfil molecular completo del 99% de los mismos) y se lo comparó con el de los clones originales, logrando recuperar la identidad perdida del 87% de los 270.

En resumen: se logró restablecer la identidad perdida de estos individuos/clones, únicamente mediante el empleo de técnicas moleculares



**Figura 32.** Dendrograma de los 44 clones estudiados. Se indica el valor de Distancia Genética (DAS). Los círculos rojos marcan los clones que no se diferenciaron mediante la utilización de 4 SSR.

y recuperar el ensayo a campo. Adicionalmente se pudo establecer la existencia de problemas de rótulo, lo que llevaría a la utilización del material clonal en una forma equivocada o diferente a lo que se planifica. Contar con esta información, es de utilidad para el programa de mejoramiento genético, tanto por la correcta identificación de los clones, como el conoci-

miento de la distancia genética existente entre los individuos de la población de mejora.

## Publicaciones

- Acuña, C. V.; Villalba, P. V.; García, M.; Pathauer, P.; Hopp, H. E. And Marcucci Poltri, S. N. 2012. Microsatellite markers in candidate genes for wood properties and its application in functional diversity assessment in *Eucalyptus globulus*. *EJBiotech/OJS/RES/749*.
- Acuña, C. V.; Fernandez, P.; Villalba, P.; García, M.; Hopp, E.; Marcucci Poltri, S. 2012. Discovery, validation and in silico functional characterization of EST-SSR markers in *Eucalyptus globulus*. *Tree Genetics and Genomes*. 8(2):289–301.
- Acuña, C. V. 2011. Estudio de variabilidad de genes candidatos involucrados en calidad de madera en *Eucalyptus globulus*. Tesis (Doctorado). UBA: 120 p.
- Cappa, E. P. 2014. Uso conjunto de información fenotípica, de pedigree y genómica en la evaluación genética forestal. Actas del XLIII Congreso Argentino de Genética y IV Reunión Regional SAG-La Pampa Patagonia, del 19 al 22 de Octubre de 2014. Ciudad de San Carlos de Bariloche, Neuquen, Argentina. ISSN: 1852-6233.
- Cappa, E. P. 2014. Aplicación de Modelos Mixtos en Genómica Forestal. XIX Reunión Científica del Grupo Argentino de Biometría, del 10 al 12 de Septiembre de 2014. Ciudad de Santiago del Estero, Santiago del Estero, Argentina. ISBN: 978-987-23883-7-9.
- Cappa, E. P. 2014. Aplicación de modelos mixtos en genómica forestal. En: VI Reunión GEMFO. Trabajos Técnicos. Campana, Buenos Aires, Argentina. 8 al 10 de Abril de 2014. INTA. PROMEF. Ediciones INTA ISBN: 978-987-521-484-2. Juan Adolfo López (ed.), Silvia Cortizo (ed.): 79-82.
- Cappa, E. P.; El-Kassaby, Y.A.; García, M. N.; Acuna C.; Borralho, N. M. G.; Grattapaglia D. y Marcucci Poltri S. N. 2013. Impacts of Population Structure and Analytical Models in Genome-Wide Association Studies of Complex Traits in Forest Trees: A Case Study in *Eucalyptus globulus*. *PLoS ONE* 8(11): e81267. doi:10.1371/journal.pone.0081267.
- Cappa, E. P. and Varona, L. 2013. Bayesian inference in multi-threshold mixed model for ordered categorical traits from forest genetic trials. *Tree Genetics & Genomes*, 9: 1423-1434.
- Cappa, E. P.; García, M. N.; Villalba, P.; Marcucci Poltri, S. y Grattapaglia, D. 2013. Overestimation of marker effects in association genetics: a case study in *Eucalyptus globulus*. In: REDBIO 2013-VIII Encuentro Latinoamericano y del Caribe de Biotecnología. Mar del Plata, Argentina.
- Cappa, E. P. 2012. Modelación simultanea de efectos de competencia y heterogeneidad ambiental en un modelo mixto de árbol individual. Actas XV Jornadas forestales y Ambientales, UNM, Eldorado, Misiones. Junio de 2012.
- Cappa, E. P. 2011. Inferencia Bayesiana en modelos mixtos umbrales y multi-umbrales para caracteres categóricos ordenados: una comparación de modelos para la evaluación genética de calidad de fuste en *Prosopis alba*. En: V Reunión GEMFO. Resúmenes. Buenos Aires, Argentina. 15 al 17 de Noviembre de 2011. INTA. PROMEF. Ediciones INTA. ISBN: 978-987-679-082-06. Juan A. López (ed.); Pablo S. Pathauer (ed.); Eduardo P. Cappa (ed.): 45.
- Cappa, E. P. 2011. Inferencia Bayesiana en un modelo mixto multi-umbral para caracteres categóricos ordenados de ensayos genéticos forestales. 12-14 de Octubre de 2011. XVI Reunión Científica del Grupo Argentino de Biometría, Salta, Argentina.
- Cappa, E. P.; Martinez, M. C.; García, M. N.; Villalba, P. V.; Marcucci Poltri, S. N. 2011. Effect of population structure and kinship relationships on the results of association mapping tests of growth and wood quality traits in four *Eucalyptus* populations. IUFRO Tree Biotechnology Conference. BMC Proceedings.
- Cappa, E. P.; P. S. Pathauer and G. A. Lopez. 2010. Provenance variation and genetic parameters of *Eucalyptus viminalis* in Argentina. *Tree Genetics & Genomes*, 6(6): 981-994.
- Della Torea, V.; Diez, J.; Salleses, L.; Riera, N.; Rizzo, P. y Crespo, D. 2013. Efecto de la utilización de sustratos con compost de guano avícola en la capacidad de enraizamiento y desarrollo de clones híbridos de *Eucalyptus* spp. En: V Simposio Iberoamericano de Ingeniería de residuos sólidos REDIGIRS-REDIS. Mendoza, Argentina.
- Diez, J. P.; Salleses, L. y Pathauer, P. 2012. "Evaluación de la capacidad de enraizamiento y desarrollo de clones híbridos de *Eucalyptus* spp. en sustratos con compost avícola". Actas XV Jornadas Forestales y ambientales de El Dorado, 6-9 junio 2012. Misiones.
- García, M.; Cappa, E.; Villalba, P.; Acuña, C.; Martínez, M.; Oberschelp, J.; Harrand, L.; López, J.; Higgins J.; Marcó, M.; Paniego, N.; Marcucci Poltri, S.; Surenciski, M.; Hopp, E. 2015. Tree selection including several QTLs related to growth and wood quality traits in *Eucalyptus grandis*. IUFRO Tree Biotechnology Conference. Florencia, Italia.
- García, M. N.; Ornella, L.; Cappa, E.P.; Villalba, P. V.; Acuna, C. V.; Martinez, M. C.; Oberschelp, J.; Harrand L.; Surenciski, M.R.; López, J. A.; Pathauer, P. S.; Marco, M. A.; Hopp, H. E.; Marcucci Poltri S. N. 2014. Actualización de la selección genómica en poblaciones de mejoramiento de *Eucalyptus* locales. Actas del XLIII Congreso Argentino de Genética y IV Reunión Regional SAG-La Pampa Patagonia, del 19 al 22 de Octubre de 2014. Ciudad de San Carlos de Bariloche, Neuquen, Argentina. ISSN: 1852-6233.
- García, M. N.; Ornella, L.; Cappa, E. P.; Villalba, P.V.; Acuña, C. V.; Martinez, M. C.; Surenciski, M.; Oberschelp, J.; Harrand, L.; López, J. A.; Tapia, E.; Hopp, E.; S. N. Marcucci Poltri. 2014. Estrategias genómicas en *Eucalyptus*: mapeo de QTL y Selección Genómica. En: VI Reunión GEMFO. Trabajos Técnicos. Campana, Buenos Aires, Argentina. 8 al 10 de Abril de 2014. INTA. PROMEF. Ediciones INTA ISBN: 978-987-521-484-2. Juan Adolfo López (ed.), Silvia Cortizo (ed.): 87-90.
- García, M. N.; Cappa, E. P.; Villalba, P. V.; Acuña, C. V.; Martinez, M. C.; Surenciski, M.; Oberschelp, J.; Harrand, L.; López, J. A.; Hopp, E.; S. N. Marcucci Poltri. 2014. Selección de árboles portadores de varios QTLs asociados con calidad maderera de *Eucalyptus grandis*. En: VI Reunión GEMFO. Trabajos Técnicos. Campana, Buenos Aires, Argentina. 8 al 10 de Abril de 2014. INTA. PROMEF. Ediciones INTA ISBN: 978-987-521-484-2. Juan Adolfo López (ed.), Silvia Cortizo (ed.): 91-94.
- García, M. N. 2013. Mapeo de QTLs y genes candidatos para caracterización de interés forestal en *Eucalyptus grandis*. Tesis (Doc-

- torado). Facultad de Farmacia y Bioquímica, UBA: 172 p.
- García, M. N.; Ornella, L.; Cappa, E. P.; Villalba, P. V.; Acuña, C. V.; Martínez, M.; Surenciski, M.; Oberschelp, J.; Harrand, L.; López, J. A.; Tapia, E.; Marcucci Poltri, S. N. 2013. Análisis comparativo de métodos de predicción genómica en un cruzamiento intraespecífico de *Eucalyptus grandis*. REDBIO 2013-VIII Encuentro Latinoamericano y del Caribe de Biotecnología. Mar del Plata, Argentina.
- García, M. N.; Ornella, L.; Cappa, E. P.; Villalba, P. V.; Acuña, C.V.; Martínez, M.C.; Surenciski, M. R.; Oberschelp, J.; Harrand, L.; López, J.; Tapia, E.; Marcucci Poltri, S.N. 2013. Application of classification algorithms for genomic prediction methods in an intraspecific cross of *Eucalyptus grandis*. 4to. Congreso Argentino de Bioinformática y Biología Computacional (4CAB2C) y 4ta. Conferencia Internacional de la Sociedad Iberoamericana de Bioinformática (SolBio) - Rosario, Argentina.
- García, M. N.; Ornella, L.; Cappa, E. P.; Villalba, P. V.; Martínez, M. C.; Acuña, C. V.; Oberschelp, J.; Harrand, L.; Surenciski, M.; López, J. A.; Marcó, M. A.; Sansaloni, C.; Petroli, C.; Faria, D.; Rodriguez, J.; Borralho, N.; Hopp, E.; Grattapaglia, D.; Marcucci Poltri, S. N. 2013. Genomics tools in *Eucalyptus grandis*: DArT, SSR AND SNP for mapping and breeding. REDBIO 2013-VIII Encuentro Latinoamericano y del Caribe de Biotecnología. Mar del Plata, Argentina.
- García, M. N.; Ornella, L.; Cappa, E. P.; Villalba, P. V.; Acuña, C. V.; Martínez, M. C.; Surenciski, M.; Oberschelp, J.; Harrand, L.; López, J. A.; Tapia, E.; Faria, D.; Sansaloni, C.; Petroli, C.; Grattapaglia, D.; Hopp, E.; Marcucci Poltri, S.N. 2012. Perspectiva de aplicación de la Selección Genómica en un cruzamiento intraespecífico de *Eucalyptus grandis*. En: XV Congreso Latinoamericano de Genética ALAG 2012.
- Genes, P. Y.; J. A. López. 2011. Importancia del tamaño de probeta en la determinación de las contracciones de la madera. En: V Reunión GEMFO. Resúmenes. Buenos Aires, Argentina. 15 al 17 de Noviembre de 2011. INTA. PROMEF. Ediciones INTA. ISBN: 978-987-679-082-06. Juan A. López (ed.); Pablo S. Pathauer (ed.); Eduardo P. Cappa (ed.): 9.
- González, D. P.; Moglia, J. G.; López, A. J.; Pece, M.; López, J. A. y Moreno, R. 2014. Estimación de las tensiones de crecimiento en individuos selectos de *Eucalyptus camaldulensis* mediante extensómetro e índice de rajado. Quebracho Vol. 22(1-2): 57-65.
- González, D.; Moglia, J. G.; López, A. J.; Pece, M.; López, J. A.; Moreno, R. 2013. Relación entre el extensómetro Cirad-forêt y el índice de rajado para estimar tensiones de crecimiento en individuos selectos de *Eucalyptus camaldulensis* en Santiago del Estero. 4to Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano, Iguazú, Argentina: 10 p.
- Guarnaschelli, A. B.; Drobot, J.; Garau, A. M.; Figueroa, E. y P. Pathauer. 2011. Evaluación del comportamiento de clones de *Eucalyptus grandis* y *E. grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* en respuesta a alta y baja disponibilidad de recursos. Actas XXV Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia, Entre Ríos, 20-21 de octubre de 2011.
- Harrand, L. 2014. Elaboración de un Descriptor Morfológico de *Eucalyptus grandis* para la República Argentina. En: 5º Congreso Nacional e Internacional de Agrobiotecnología, Propiedad Intelectual y Políticas Públicas. Paraná, E.R.
- Harrand, L.; Salto, C.; Marcó, M. A. 2012. Ensayo clonal de *Eucalyptus grandis*. En: Jornadas de Actualización Técnica “Mejoramiento genético de pinos y eucaliptos subtropicales”. EEA INTA Concordia. ISBN: 978-987-679-144-1. López, J.A. et al. (eds.): 50-53.
- Harrand, L.; Salto, C.; Marcó, M. A. 2012. Ensayo clonal de híbridos interespecíficos de *Eucalyptus*. En: Jornadas de Actualización Técnica “Mejoramiento genético de pinos y eucaliptos subtropicales”. EEA INTA Concordia. ISBN: 978-987-679-144-1. López, J.A. et al. (eds.): 54-60.
- Hernández, M. A. 2011. Densidad básica y tensiones de crecimiento en procedencias de *Eucalyptus dunnii*. En: V Reunión GEMFO. Resúmenes. Buenos Aires, Argentina. 15 al 17 de Noviembre de 2011. INTA. PROMEF. Ediciones INTA. ISBN: 978-987-679-082-06. Juan A. López (ed.); Pablo S. Pathauer (ed.); Eduardo P. Cappa (ed.): 17.
- Hernández, M.; Zaderenko C.; Monteoliva S. 2014. Tensiones de crecimiento y propiedades físicas de la madera de *Eucalyptus dunnii* implantado en Argentina. *Maderas-Cienc Tecnol* 16(3): 373-384.
- Hernández, M.; Zaderenko, C.; Monteoliva S. 2014. Efecto de las tensiones de crecimiento en el rendimiento y calidad del aserrado de *Eucalyptus dunnii*. *Maderas-Cienc Tecnol* 16(4): 403-412.
- Hernández, M. A. 2013. Efecto de las tensiones de crecimiento en árboles en pie, rollizos y tablas aserradas de *Eucalyptus dunnii*. En: 4to Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano, Iguazú, Mnes. Argentina. 23 al 27 de Septiembre de 2013. Actas en CD: 10 p.
- Lima, B. M.; Cappa, E. P.; da Silva Junior, O. B.; Garcia, C.; Almeida, A.; Mansfield, S.; Grattapaglia, D. 2015. GWAS for growth and wood quality traits in *Eucalyptus* using the EuchIP60K: a segment based-approach enhances the proportion of variance explained by associated SNPs. IUFRO Tree Biotechnology Conference. Florencia, Italia.
- López, A. J.; López J. A.; Harrand, L.; Marcó M. y Oberschelp, G. P. J. 2014. Tensiones de crecimiento de 5 especies de eucalipto con mayor tolerancia al frío que *Eucalyptus grandis*. En: XXVIII Jornadas Forestales de Entre Ríos.
- López, A. J. 2014. Variación del color de la madera de *Eucalyptus dunnii* Maiden. En: VI Reunión GEMFO. Trabajos Técnicos. Campana, Buenos Aires, Argentina. 8 al 10 de Abril de 2014. INTA. PROMEF. Ediciones INTA. ISBN: 978-987-521-484-2. Juan Adolfo López (ed.), Silvia Cortizo (ed.): 16-19.
- López, A. J. 2012. Comportamiento de clones de *Eucalyptus grandis* del INTA en forestaciones comerciales ubicadas en Vertisoles del centro-sur de la provincia de Corrientes, Argentina. En: Simposio IUFRO. Congreso Latinoamericano “Eucaliptos Genéticamente Mejorados para aumentar la competitividad del Sector Forestal en América Latina”, Pucón, Chile: 12 p.
- López, A. J. 2011. *Eucalyptus grandis* en el sudeste de Corrien-

- tes: propiedades físicas y químicas del suelo relacionadas con la producción volumétrica. XXV Jornadas Forestales de Entre Ríos, Concordia, Argentina: 7 p.
- López, A. J. y López J. A. 2011. *Eucalyptus grandis* en el sudeste de Corrientes: Variación de la densidad de la madera. XXV Jornadas Forestales de Entre Ríos, Concordia, Argentina: 6 p.
- López, A. J.; Genes, P. Y. y López. J. A. 2010. Evaluación no-destructiva de la densidad de la madera de árboles vivos en pie de *Eucalyptus grandis* utilizando resistógrafo. En: XXIV Jornadas Forestales de Entre Ríos, Concordia, Argentina: 9 p.
- López, J. A.; Hernández, M.; Harrand, L. y Marcó, M. 2014. Tensiones de crecimiento, densidad básica y contracciones de la madera de clones híbridos de *Eucalyptus*. En: VI Reunión GEMFO. Trabajos Técnicos. Campana, Buenos Aires, Argentina. 8 al 10 de Abril de 2014. INTA. PROMEF. Ediciones INTA. ISBN: 978-987-521-484-2. Juan Adolfo López (ed.), Silvia Cortizo (ed.): 12-15.
- López, J. A. y López, A. J. 2013. Coeficiente de repetibilidad edad-edad de las tensiones de crecimiento en clones de *Eucalyptus grandis*. En: 4to Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano, Iguazú, Mnes. Argentina. 23 al 27 de Septiembre de 2013. Actas en CD: 10 p.
- López, J. A. y Vera Bravo, C. D. 2013. Comportamiento de 22 orígenes geográficos de *Corymbia* spp. en 3 sitios de la Mesopotamia Argentina. En: 4to Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano, Iguazú, Mnes. Argentina. 23 al 27 de Septiembre de 2013. Actas en CD: 10 p.
- López (h.), J. A.; N. Borralho; A. J. López; M. A. Marcó y L. Harrand. 2012. Variación genética del índice de rajado rollizos en *Eucalyptus dunnii*. En: Simposio IUFRO. Eucaliptos genéticamente mejorados para aumentar la competitividad del sector forestal de América latina. 22-23 de noviembre de 2012. Pucón Chile. Actas en CD: 12 p.
- López, J. A. 2012. Selección genética de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden en el Sudeste de Corrientes utilizando la metodología REML-BLUP. En: 15ª Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales FCF - INTA 7, 8 y 9 de junio de 2012, Eldorado, Misiones, Argentina.
- López (h.), J. A. y López, A. J. 2011. Repetibilidad juvenil-adulto de las tensiones de crecimiento en clones de *Eucalyptus grandis*. En: V Reunión GEMFO. Resúmenes. Buenos Aires, Argentina. 15 al 17 de Noviembre de 2011. INTA. PROMEF. Ediciones INTA. ISBN: 978-987-679-082-06. Juan A. López (ed.); Pablo S. Pathauer (ed.); Eduardo P. Cappa (ed.): 16.
- López (h.), J. A.; Marcó, M. A.; López, A. J.; Harrand, L.; Genes, P. Y.; Surencisky, M.; Salleses, L.; J. P. Diez. 2011. Calidad de la madera de *Eucalyptus dunnii*: Estrategia de muestreo y evaluación de la primera población de mejoramiento. En: V Reunión GEMFO. Resúmenes. Buenos Aires, Argentina. 15 al 17 de Noviembre de 2011. INTA. PROMEF. Ediciones INTA. ISBN: 978-987-679-082-06. Juan A. López (ed.); Pablo S. Pathauer (ed.); Eduardo P. Cappa (ed.): 19.
- López Jimenez, L. y Yañez Ayala, V. H. 2014. Parámetros genéticos en un ensayo de progenies de *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden establecido en la Mesopotamia Argentina. Tesis de grado. Un. Aut. Chapingo, Divi. Cs. Forestales. México: 51p.
- Marcó, M. A.; Gallo, L. A. 2013. Mejoramiento genético de especies forestales para usos de alto valor. Revista Producción Forestal MAGyP. N° 7- Año N°3.
- Marcó, M. A. y Harrand, L. 2012. Programa de Mejoramiento Genético de *Eucalyptus grandis* en INTA. En: Jornadas de Actualización Técnica "Mejoramiento genético de pinos y eucaliptos subtropicales". EEA INTA Concordia. ISBN: 978-987-679-144-1. López, J. A. et al (ed): 44-48.
- Marcó, M. A. y Harrand, L. 2011. Programa de Mejoramiento de *Eucalyptus grandis* en INTA. En: XL Congreso Argentino de Genética - III Simposio Latinoamericano de Citogenética y Evolución - I Jornadas Regionales SAG-NEA, Corrientes.
- Marcó, M. A. 2010. Breeding fast-growing tree species for higher-value-wood. In: 2<sup>nd</sup> Japan-Argentina Workshop on "Bioscience and Biotechnology for the Promotion of Agriculture and Food Production". November 8<sup>th</sup> and 9<sup>th</sup> 2010. Tokio, Japan.
- Marcucci Poltri, S. N.; Torales, S.; El Mujtar, V.; Acuna, C.; Soliani, C.; Zelener, N.; Schmid, P.; Pomponio, F.; Marchelli, P.; Inza, V.; Sola, G.; Villalba, P. V.; Arana, V.; Bozzi, J.; Garcia, M. N.; Azpili-cueta, M. M.; Martinez, M. C.; Rivas, G.; Lopez Lauestein, D.; Cosacov, A.; Vega, C.; Cappa, E. P.; Ornella, L.; Pastorino, M.; Pathauer, P.; Diez, J.; Cortizo, S.; Cerrillo, M. T.; Gauchat, M. E.; Rodriguez, G.; Fassola, H.; Pahr, N.; Surenciski, M.; Oberschelp, J.; Harrand, L.; Lopez, J.; Fornes, L.; Verga, A.; Marco, M.; Hopp, E.; Gallo, L. 2013. Desarrollo y aplicación de herramientas de genética molecular para resolver problemas complejos de la genética forestal. Actas del 4to Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Iguazú, Misiones, Argentina. Septiembre 2013.
- Oberschelp, G. P. J. 2014. Propagação *in vitro* de *Eucalyptus dunnii* Maiden: desenvolvimento de um novo meio basal e estimação de parâmetros genéticos para características morfofisiológicas. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz - Piracicaba: 158 p.
- Puente, M. L.; García, J. E.; Pathauer, P. and Peticari, A. 2010. Inoculation with *Azospirillum brasilense* is a useful tool in *Eucalyptus globulus* management. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences 8 (2): 124-130. ISSN 1818-6769.
- Salleses, L.; Diez, J. y Pathauer, P. 2013. Evaluación de viabilidad de híbridos interespecíficos de *Eucalyptus* spp. Actas del 4to Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Iguazú, Misiones, Argentina. Septiembre 2013.
- Salleses, L. y Diez, J. P. 2011. Ajuste de un protocolo para la propagación de *Eucalyptus globulus* e híbridos de *E. grandis* × *E. camaldulensis*. En: V Reunión GEMFO. Resúmenes. Buenos Aires, Argentina. 15 al 17 de Noviembre de 2011. INTA. PROMEF. Ediciones INTA. ISBN: 978-987-679-082-06. Juan A. López (ed.); Pablo S. Pathauer (ed.); Eduardo P. Cappa (ed.): 22.
- Salleses, L. y Diez, J. P. 2011. Relevamiento y caracterización de ataque de *Leptosybe invasa* en un estaquero clonal de *Eucalyptus* spp. En: V Reunión GEMFO. Resúmenes. Buenos Aires, Argentina. 15 al 17 de Noviembre de 2011. INTA. PROMEF. Ediciones



INTA. ISBN: 978-987-679-082-06. Juan A. López (ed.); Pablo S. Pathauer (ed.); Eduardo P. Cappa (ed.): 18.

Tesón, N.; Fernández, M. E. y Licata, J. 2012. Resultados preliminares sobre la variación a la cavitación por sequía de clones de *Eucalyptus grandis*. IUFRO, Pucón; Chile.

Vera Bravo, C. D. 2014. Micropropagación de árboles adultos de *Corymbia citriodora* subesp. *variegata* (F. Muell.) A.R. Bean & M.W. McDonald: efecto de Ag+, S2O3-2 y tipo de luz para el enraizamiento. En: VI Reunión GEMFO. Trabajos Técnicos. Campana, Buenos Aires, Argentina. 8 al 10 de Abril de 2014. INTA. PROMEF. Ediciones INTA. ISBN: 978-987-521-484-2. Juan Adolfo López (ed.), Silvia Cortizo (ed.): 24-27.

Vera Bravo, C. D.; López, J. A. 2011. Avances en la propagación vegetativa de *Corymbia citriodora* subsp. *variegata* (F. MUELL). En: V Reunión GEMFO. Resúmenes. Buenos Aires, Argentina. 15 al 17 de Noviembre de 2011. INTA. PROMEF. Ediciones INTA. ISBN: 978-987-679-082-06. Juan A. López (ed.); Pablo S. Pathauer (ed.); Eduardo P. Cappa (ed.):14.

Villalba, P. V.; Higgins, J.; Aguirre, N. C.; Acuña, C. V.; Garcia, M.; Cappa, E. P.; Martinez, M. C.; Pathauer, P.; Hopp, H. E.; Grattapaglia, D.; Paniego, N.; Marcucci Poltri, S. 2015. Screening of 19.2 Mb of genomic sequence surrounding DArT markers associated to wood quality traits in *Eucalyptus globulus*. In: IUFRO Tree Biotechnology Conference. Florencia, Italia.

Villalba, P. V.; Cappa, E. P.; Acuna, C. V.; Garcia, M. N.; Martinez, M. C.; Pathauer, P. S.; Hopp, E.; Marcucci Poltri, S. N. 2014. Mapeo de asociación en *Eucalyptus globulus* de Argentina mediante SNPs. En: VI Reunión GEMFO. Trabajos Técnicos. Campana, Buenos Aires, Argentina. 8 al 10 de Abril de 2014. INTA. PROMEF. Ediciones INTA. ISBN: 978-987-521-484-2. Juan Adolfo López (ed.), Silvia Cortizo (ed.): 95-98.

Villalba, P. V.; Ornella, L.; Cappa, E. P.; Acuña, C. V.; Garcia, M. N.; Martinez, M. C.; Surenciski, M.; Oberschelp, J.; Harrand, L.; López, J. A.; Pathauer, P.; Tapia, E.; Faria, D.; Grattapaglia, D.; Marcó, M.; Hopp, E.; Marcucci Poltri, S. 2012. Efecto de las variaciones técnicas de SNPs (illumina gsgt) en *Eucalyptus* para selección genómica. XV Congreso Latinoamericano de Genética ALAG 2012.

## Acciones de transferencia

### Reuniones

- ♦ Cappa, Eduardo. 2014. Application of Mixed Models in Forest Tree Genomics Xix. en: Reunión Científica del Grupo Argentino de Biometría, del 10 al 12 de Septiembre de 2014. Ciudad de Santiago del Estero, Santiago del Estero, Argentina.
- ♦ Cappa, Eduardo. 2014. Aplicacion de Modelos Mixtos en Genomica Forestal. 19 de Marzo de 2014, IRB-INTA Castelar, Buenos Aires, Argentina.
- ♦ Cappa, Eduardo. 2013 Environmental Heterogeneity and Competition Effects in Forest Genetics Trials. 3 de Diciembre de 2013. Unidad de Mejoramiento, genética y fisiología forestal, INRA Orleans, Francia.
- ♦ Cappa, Eduardo. 2013 Overestimation Of Marker Effects in Association Genetics: A Case Study in *Eucalyptus globulus*. 5 de Noviembre de 2013, IB-INTA Castelar, Buenos Aires, Argentina.
- ♦ Cappa, Eduardo. 2011. Bayesian Inference in Threshold and Multi-Threshold Mixed Models For Ordered Categorical Data From Forest Genetic Trials. 24 de Agosto de 2011, IRB-INTA Castelar, Buenos Aires, Argentina.
- ♦ Harrand, Leonel, Marcó, Martín A. y Oberschelp, G. P. Javier. 2014. Clones de híbridos interespecíficos de *Eucalyptus* para la región templado-cálida y subtropical de la Mesopotamia Argentina. En: 58° Reunión Consorcio Forestal Río Uruguay. Concordia, Entre Ríos.
- ♦ Harrand, Leonel y Marcó Martín. 2014. Muestra de los materiales mejorados de *Eucalyptus* de INTA. En: Reunión del Consorcio Forestal Corrientes Norte - FCA Universidad del Salvador. Gdor. Valentín Virasoro, Corrientes, 10 de octubre 2014.
- ♦ Harrand, Leonel y Salto, Carla. 2013. Clones de híbridos interespecíficos de *Eucalyptus* para la región templado cálida y subtropical de la Mesopotamia Argentina. En: 52° Reunión Consorcio Forestal Río Uruguay.
- ♦ Harrand, Leonel; Salto, Carla y Marcó, Martín A. 2012. Desarrollo y propagación vegetativa de híbridos interespecíficos de *Eucalyptus* para la región templado cálida y subtropical de la Mesopotamia argentina. En: 50° Reunión Reunión Consorcio Forestal Río Uruguay.
- ♦ López, Augusto Javier. 2014. Crecimiento de clones de *Eucalyptus grandis* a los 4,5 años de edad, respuesta al recepe de 2 clones de eucalipto dañados por heladas, ensayo de preparación del terreno en un bañado de altura. En: 48° Reunión Consorcio Forestal Corrientes Centro. Perurgorría, Corrientes. 20 de Agosto de 2014.
- ♦ López, Augusto Javier. 2012. Métodos no-destructivos para la evaluación indirecta de las propiedades de la madera, equipos y ajuste de los mismos. EEA INTA Bella Vista. En: 35° Reunión Consorcio Forestal Corrientes Centro. Bella Vista, Corrientes. 17 de Octubre de 2012.
- ♦ López, Augusto Javier. 2012. Crecimiento de clones de *Eucalyptus grandis* de 30 meses de edad, daños por frío en plantaciones clonales de 2 y 3 años de edad, diferencia entre clones. En: 34° Reunión Consorcio Forestal Corrientes Centro. Perurgorría, Corrientes. 19 de Septiembre de 2012.
- ♦ López, Augusto Javier. 2012. Uso del Resistógrafo. Manejo del softword F-Tool Pro. Medición de rajaduras en caras de rollizos con el Kosmos 2.0. En: Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Santiago del Estero. Capacitación dirigida a estudiantes e Ingenieros Forestales. 18-21 de Junio de 2012.
- ♦ López, Augusto Javier. 2011. Comportamiento de plantaciones clonales de *Eucalyptus grandis* a los 18 meses de edad en Vertisoles del Centro-Sur de Corrientes. Establecimiento La Nina. En: Reunión CREA Mercedes (Ctes.). Perurgorría, Corrientes. 28 de Julio de 2011.

- ◆ López, Augusto Javier. 2010. Crecimiento comparativo de clones de *Eucalyptus grandis* y *Pinus taeda* al primer año de plantación. En: 15° Reunión de Consorcio Forestal Corrientes Centro. Peruggorria, Corrientes. 22 de Septiembre de 2010.
- ◆ López, Augusto Javier. 2010. Physical and Chemical properties of soil related to volumen production of *Eucalyptus grandis*. En: Forest Productivity Cooperative Meeting (North Carolina State University-Virginia Polytechnic Institute and State University-Universidad de Concepción). Paso de Los Libres. Corrientes. Argentina. 17 de Noviembre de 2010.
- ◆ López, Augusto Javier. 2010. Proyecto Forestal 2009-2013. Establecimiento La Nina. En: Reunión Conjunta CREA Mercedes (Ctes.) y CREA La Paz (E. Ríos). Peruggorria, Corrientes. 12 de Marzo de 2010.
- ◆ López, Juan Adolfo; Hernandez, Mariano; Harrand, Leonel y Marcó, Martín A. 2014. Proporción de corteza, propiedades físicas de la madera y color del duramen de clones híbridos de *Eucalyptus* al 6° año de edad. En: 58° Reunión COFRU. La Criolla, E.R.
- ◆ López, Juan Adolfo. 2010. Comportamiento de 30 clones de *Eucalyptus grandis* seleccionados por velocidad de crecimiento y rectitud del fuste. En: Forest Productivity Cooperative Meeting. Predio Buena Vista. Argentina. 17 de Noviembre de 2010.
- ◆ López, Juan Adolfo, López, Javier Augusto; Hernández, Mariano Agustín y Genes, Pabla Yolanda. 2010. Análisis de 10 clones de *Eucalyptus grandis* en el Establecimiento Aguaí (Las Marías). Forma del fuste, densidad de la madera y tensiones de crecimiento. En: Reunión N° 184. Consorcio Forestal Corrientes Norte. 18 de julio de 2010.
- ◆ López, Juan Adolfo. 2010. Transformación del ensayo de progenies en Huerto Semillero de Progenies. Ganancias genéticas esperadas. Campo Gral. Belgrano, San Antonio, Misiones. En: Reunión N° 184. Consorcio Forestal Corrientes Norte. 25-26 de Febrero de 2010.
- ◆ Marcó, Martín A.; Harrand, Leonel y Oberschelp, G. P. Javier. 2011. Reunião Técnica e Visita Internacional – Desafios do Melhoramento e da Propagação Vegetativa na Silvicultura Atual. IPEF-INIA-INTA.
- ◆ Marcó, Martín A.; Harrand y Leonel, Oberschelp, L. 2011. Visita Técnica Internacional “Associação Catarinense de Empresas Florestais”
- ◆ Marcó, Martín A. 2010. Presentación del Programa de Mejoramiento Forestal (PROMEF) en la EEA Concordia, en la Reunión del Consorcio Forestal Corrientes Norte (Capióví, Mnes.), ante el Consorcio Forestal Río Uruguay (Nueva Escocia, Concordia, Entre Ríos) y ante la Dirección de Producción Forestal de SAGyP (Buenos Aires).
- ◆ Oberschelp, G. P. Javier. 2012. Otimização das condições de cultura para a propagação in vitro de *Eucalyptus dunni*: resultados preliminares. II Reunião Técnica PECE Micropropagação em *Eucalyptus*. Piracicaba, San Pablo, Brasil.
- ◆ Vera Bravo, Carlos. 2014. Huertos Semilleros Clonales de *Grevillea robusta* y *Corymbia citriodora* subesp. *variegata*. En: Reunión del Consorcio Forestal Corrientes Norte - FCA Universidad del Salvador. Gdor. Valentín Virasoro, Corrientes, 10 de octubre 2014.
- ◆ Vera Bravo, Carlos. 2011. Estrategias de mejoramiento de *Grevillea robusta*. En: Reunión Consorcio Forestal Corrientes Norte. Posadas, Misiones. 2 de Octubre de 2011.

## Jornadas

- ◆ Jornada de Transferencia de Resultados de los Proyectos de Investigación Aplicada, Proyectos de Sanidad Forestal y del Programa de Mejoramiento Genético de Especies Forestales. INTA-UCAR-PROYECTO FORESTAL BIRF 7520 AR- GEF 090118. EEA Concordia, 02 de julio de 2015. Organizado por INTA Concordia.
- ◆ Jornadas de Actualización Técnica “Mejoramiento Genético de Pinos y Eucaliptos Subtropicales”. 2012. EEA Concordia, Entre Ríos, Argentina. 2-3 de agosto de 2012. Organizado por INTA Concordia.
- ◆ López, Juan Adolfo. 2012. Selección genética de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden en el Sudeste de Corrientes utilizando la metodología REML-BLUP. En: 15ª Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales FCF - INTA 7, 8 y 9 de junio de 2012, Eldorado, Misiones, Argentina
- ◆ Marcó, Martín A. y Harrand, Leonel. 2011. Programa de Mejoramiento de *Eucalyptus grandis* en INTA. I Jornadas Regionales SAG-NEA, Corrientes, Argentina.
- ◆ Pathauer, Pablo. 2012. “Avances en el mejoramiento genético de *E. globulus*”. En: el marco de la Jornada Técnica Forestal: “*Eucalyptus globulus* en el sudeste bonaerense: Transferencia de resultados del inventario y perspectivas de la cuenca” Organizado por MAAyP de la Pcia. de Bs. As. y Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales UNLP. Necochea 29 de junio de 2012.
- ◆ Pathauer, Pablo. 2011. Programa de melhoramento de eucaliptos para região dos pampas (*E. globulus* e *E. viminalis*). En: Reunião e visita técnica internacional: Desafios do melhoramento e da propagação vegetativa na silvicultura atual. Organizado por IPEF -INTA 1-7 de Mayo de 2011. Brasil – Argentina - Uruguay.
- ◆ Pathauer, Pablo. 2010. Avances en el mejoramiento genético de *Eucalyptus viminalis* para el sudoeste bonaerense. En: Jornadas Forestales: “Forestar la pampa arenosa: una alternativa posible” Guaminí, 3 de junio de 2010.
- ◆ Pathauer, Pablo. 2010. El potencial ecológico y mejoramiento forestal de eucaliptos en el sudeste bonaerense. En: Jornadas: Perspectivas de la Actividad Forestal en el Sudeste de la Provincia de Buenos Aires. Tandil, 27 y 28 abril 2010.
- ◆ Vera Bravo, Carlos. 2015. Presentación de la Guía de Buenas Prácticas Forestales para la Provincia de Corrientes. En: Inauguración del Parque Foresto-industrial de Santa Rosa, Santa Rosa, 6 de Marzo de 2015.
- ◆ Vera Bravo, Carlos. 2015. Presentación de la Guía de Buenas Prácticas Forestales para la Provincia de Corrientes. En: Reunión N° 222 de Consorcio Corrientes Norte, realizado en Esquina el 27 de Marzo de 2015.

## Charlas

- ♦ Harrand, Leonel. 2014. Elaboración de un Descriptor Morfológico de *Eucalyptus grandis* para la República Argentina. En: 5º Congreso Nacional e Internacional de Agrobiotecnología, Propiedad Intelectual y Políticas Públicas en Paraná, Entre Ríos. 28 de Agosto de 2014.
- ♦ Harrand, Leonel. 2014. Huertos Semilleros de *Eucalyptus* de la EEA Concordia de INTA. EEA Concordia. Cartilla de difusión para productores: 4 p.
- ♦ Harrand, Leonel. 2013. Jornada para viveristas. "La calidad de la semilla forestal" - EEA Concordia - 17/12/2013 - Cartilla: 12 p.
- ♦ López, Juan Adolfo. 2015. Mejoramiento genético de *Eucalyptus*. En: Curso de Posgrado: Estrategias de Mejoramiento Genético en Especies Forestales. 19 al 22 de Mayo 2015, Montecarlo, Misiones.
- ♦ López, Augusto Javier. 2013. Coeficiente de repetibilidad edad-edad de las tensiones de crecimiento en clones de *Eucalyptus grandis*. En: 4to Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano, Iguazú, Mnes. Argentina. 23 al 27 de Septiembre de 2013.
- ♦ López (h.), Juan Adolfo; Borralho, Nuno; López, Augusto Javier; Marcó, Martín A. y Harrand, Leonel. 2012. Variación genética del índice de rajado rollizos en *Eucalyptus dununii*. En: Simposio IUFRO. Eucaliptos genéticamente mejorados para aumentar la competitividad del sector forestal de América latina. 22-23 de noviembre de 2012. Pucón Chile. Actas en CD: 12 p.
- ♦ Marcó, Martín A. 2015. Mejoramiento Genético Forestal y Producción de Material de Propagación Forestal. Dictado Clase en la Fac. Ciencias Agrarias (U.N.N.E), Corrientes, el 25 de junio de 2015. En: Curso de Especialización en Manejo de Recursos Forestales, Módulo 4: Manejo de Ecosistemas Forestales. Resolución N0 8.710-C.D. Fac. Ciencias Agrarias -UNNE.
- ♦ Marcó, Martín A. 2014. Oportunidades e desafíos para o melhoramento de *Eucalyptus grandis* na Argentina em um contexto de mudanças climáticas. En: VII Workshop em Melhoramento Florestal. Piracicaba, S.P., Brasil, 4 al 6 de Noviembre de 2014.
- ♦ Marcó, Martín A. 2014. Agrobiotecnología y sus aportes a la producción forestal del nordeste de Entre Ríos. En: 5to Congreso de Agrobiotecnología, Propiedad intelectual y Políticas públicas. Concordia, 20 de agosto de 2014.
- ♦ Marcó, Martín A. 2012. *E. cloeziana* para producción de tanino, energía y madera sólida. En Seminario Forestando el Chaco. Ministerio de la Producción - Subsecretaría de Recursos Naturales del Chaco. Resistencia, Chaco.
- ♦ Marcó, Martín A. y Diaz, Diana. 2012. La actividad forestal en la región de Concordia, orígenes y evolución. Ciclo de Conferencias Históricas en el marco del centenario de la EEA Concordia. Centro Cívico Concordia, Concordia, Entre Ríos, 30 de mayo de 2012.
- ♦ Marcó, Martín A. 2011. Cultivo y mejoramiento de eucalipto en Argentina: situación actual. En: I Simposio Internacional de la Dendroenergía y Biocombustibles. Posadas, Misiones, 19 y 20 de agosto de 2011.
- ♦ Marcó, Martín A. 2011. Programa de mejoramiento genético de *Eucalyptus grandis* en INTA. En: XL Congreso Argentino de Genética. III Simposio Latinoamericano de Citogenética y Evolución. I Jornadas Regionales SAG- NEA. Corrientes, Argentina.
- ♦ Marcó, Martín A. 2010. Mejoramiento Genético de Eucaliptos para Usos de Alto Valor. En: Seminario Internacional organizado por el Centro Internacional de Investigación de Ciencias Agropecuarias del Japón en Asunción, Paraguay, el 26 de Noviembre de 2010.
- ♦ Oberschelp, Javier 2015. Hibridación y Propagación vegetativa de Eucaliptos. Dictado Clase en la Fac. Ciencias Agrarias (U.N.N.E), Corrientes, el 25 de junio de 2015. En: Curso de Especialización en Manejo de Recursos Forestales, Módulo 4: Manejo de Ecosistemas Forestales. Resolución N0 8.710-C.D. Fac. Ciencias Agrarias -UNNE.
- ♦ Marcucci Poltri, Susana. 2011. Desarrollo de una plataforma integrada de genotipificación y fenotipificación de germoplasma de *Eucalyptus* del MERCOSUR. En: XL Congreso Argentino de Genética. III Simposio Latinoamericano de Citogenética y Evolución. I Jornadas Regionales SAG- NEA. Corrientes, Argentina.

## Días de campo

- ♦ Genes, Pabla Yolanda y Hernández, Mariano Agustín. 2010. Comparación de dos esquemas de aserrado y su influencia en las características de la madera de *Grevillea robusta*. Día de Campo Forestal. *Grevillea robusta* una Alternativa para la Region. Mburucuyá, Corrientes. 9 de setiembre de 2010.
- ♦ Harrand, Leonel, Oberschelp, G. P. Javier, Marcó, Martín. 2014. Ensayo de especies de Eucaliptos para zonas frías. En: Día de campo XXVIII Jornadas Forestales de Entre Ríos. 2 y 3 de Octubre de 2014, Concordia, Entre Ríos.
- ♦ Harrand, Leonel. 2014. Lote clonal de *Eucalyptus grandis*. En: Día de Campo Forestal AFOA-CEDEFI. Berdúc, E.R.
- ♦ Harrand, Leonel. 2012. Ensayo de productividad de fuentes semilleras comerciales de *Eucalyptus grandis*. En: Día de Campo XXVI Jornadas Forestales de Entre Ríos.
- ♦ Harrand, Leonel y Mastrandrea, Ciro. 2011. Cartilla Día de Campo. *Eucalyptus cloeziana*. Caracterización de la especie. En: XXV Jornadas Forestales.
- ♦ López, Juan Adolfo. 2010. Mejoramiento genético de *Grevillea robusta*. Día de Campo Forestal. *Grevillea robusta* Una Alternativa para la Region. Mburucuyá, Corrientes. 9 de setiembre de 2010.
- ♦ Mastrandrea, Ciro y López, Augusto Javier. 2014. Caracterización de la madera de 5 especies de Eucalipto para el noreste de Entre Ríos. En: Día de campo XXVIII Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia, Entre Ríos. Argentina.
- ♦ Pathauer, Pablo y Cappa, Eduardo. 2014. Modelos mixtos para la Evaluación Genética Forestal (Bosques Cultivados (IRB)-IN-

TA Castelar, Cursada de grado: Cátedra de Mejoramiento genético forestal de la FCAYF-UNLP, 29 de mayo de 2014).

- ♦ Pathauer, Pablo y Cappa, Eduardo. 2013. Modelos mixtos para la Evaluación Genética Forestal (Bosques Cultivados (IRB)-INTA Castelar, Cursada de grado: Cátedra de Producción Vegetal IV (Dasonomía) de la Facultad de Agronomía - Universidad de Lujan, 27 de Junio de 2013).
- ♦ Pathauer, Pablo. 2012. “Modelos mixtos para la Evaluación Genética Forestal” (Bosques Cultivados (IRB)-INTA Castelar, Cursada: Cátedra de Mejoramiento Genético Forestal de la FCAYF-UNLP, 31 de Mayo y 3 de Noviembre de 2012).
- ♦ Pathauer, Pablo. 2012. “Programa de mejoramiento de *Eucalyptus viminalis* en Guaminí”. En: Jornada Forestal: Sistemas Silvopastoriles y Plantaciones Forestales de *Eucalyptus*. Organizado por INTA Cesáreo Naredo. Guaminí, 10 de Julio de 2012.

### Talleres

- ♦ Cappa, Eduardo. 2011. Taller Teórico-Práctico: Toma de Datos a Campo, Digitalización, Validación, Almacenamiento, Administración y Análisis Genéticos Básicos de Datos Fenotípicos de Ensayos Genéticos de Especies Forestales Nativas e Introducidas. Taller impartido al Grupo Genética y Mejoramiento Forestal de INTA (GEMFO). 6 - 8 de Abril de 2011, Salón Auditorio “Ing. Reichart”, INTA Cervino. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
- ♦ Cappa, Eduardo. 2011. Fenotipificación. Curso Genómica Aplicada. 1 de Febrero – 19 de Marzo de 2011. INTA Castelar, Buenos Aires, Argentina.
- ♦ Taller del Proyecto Integrador de Mejoramiento Genético de Especies Forestales del Programa Nacional Forestales de INTA y el Área de Extensión de la Dirección de Producción Forestal del MINAGRI. EEA Concordia, 26 y 27 de Marzo de 2015. Organización INTA Concordia.
- ♦ Taller: Aplicación de “Enfoque Territorial” en el ámbito del Integrador de Mejoramiento Genético de especies forestales para usos de alto valor (PNFOR-1104061) del Programa Nacional Forestal. Centro Regional Corrientes, Corrientes (Cap.). 12 y 13 de noviembre de 2013. Organizado por Proyecto Integrador (PNFOR-1104061)

### Impactos

La información generada durante la ejecución del presente Subprograma fue numerosa, de alta calidad y a diferencia de los proyectos anteriores, en éste merece destacarse el uso práctico de las herramientas moleculares y de la evaluación de las propiedades de la madera, evidenciando claramente un abordaje multidisciplinario en el desarrollo de las estrategias de mejoramiento genético.

Otro de los aspectos a destacar se refiere al reconocimiento del sector productivo en referencia a la calidad de la semilla proveniente de los Huertos Semilleros del INTA (de Progenies y Clonales) dado que durante los últimos años se tuvo una demanda

continua y creciente de los viveros de distintas regiones del país. Así mismo, resulta muy destacable la inscripción y habilitación de nuevos huertos semilleros de progenies y clonales y la firma de 7 nuevos convenios de transferencia de tecnología con viveristas para la multiplicación de los clones de *E. grandis* e híbridos interespecíficos generados por el INTA.

La incorporación de nuevas colecciones de especies y la generación de nuevos materiales permitió la instalación de numerosos nuevos ensayos y lotes demostrativos (de especies, progenies, clones puros e híbridos) que, a mediano plazo, permitirán identificar los materiales de mejor adaptación, productividad y calidad para varias ecoregiones de Argentina.

Por último, los principales resultados obtenidos así lo demuestran, entre los grupos de trabajo que participaron del Subprograma existió una significativa articulación y complementariedad, potenciando la consolidación de los mismos y beneficiando la generación de innovación tecnológica de uso público.

## Responsable del subprograma

Juan Adolfo López

## Unidad Sede

Estación Experimental Agropecuaria del INTA Bella Vista.  
Corrientes

## Unidades participantes

- ♦ Estación Experimental Agropecuaria del INTA Bella Vista (Corrientes)
- ♦ Estación Experimental Agropecuaria del INTA Concordia (Entre Ríos)
- ♦ Instituto de Recursos Biológicos (Castelar, Buenos Aires)
- ♦ Instituto de Biotecnología (Castelar, Buenos Aires).

## Profesionales participantes

- ♦ Acuña, Cintia V. INTA Instituto de Biotecnología, Castelar, Buenos Aires.
- ♦ Aguirre, Natalia C. INTA Instituto de Biotecnología, Castelar, Buenos Aires.
- ♦ Alarcón, Pamela. INTA EEA Concordia, Entre Ríos – Consultor PROMEF.
- ♦ Becerro, Santiago. INTA Instituto de Recursos Biológicos, Castelar, Buenos Aires.
- ♦ Borralho, Nuno. Centro de Estudos Florestais, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal.
- ♦ Brambilla, Silvina. INTA EEA Concordia, Entre Ríos –

- Consultor PROMEF.
- ◆ Cappa, Eduardo P. INTA Instituto de Recursos Biológicos, Castelar, Buenos Aires.
  - ◆ Diez, Juan Pablo. INTA Instituto de Recursos Biológicos, Castelar, Buenos Aires – Consultor PROMEF.
  - ◆ Galasso, Gonzalo. INTA Instituto de Recursos Biológicos, Castelar, Buenos Aires.
  - ◆ García, Martín N. INTA Instituto de Biotecnología, Castelar, Buenos Aires.
  - ◆ Genes, Pabla Y. INTA EEA Bella Vista, Corrientes.
  - ◆ Harrand, Leonel. INTA EEA Concordia, Entre Ríos.
  - ◆ Hernández, Mariano. INTA EEA Bella Vista, Corrientes.
  - ◆ Hopp, Esteban. INTA Instituto de Biotecnología, Castelar, Buenos Aires.
  - ◆ López, Augusto J. INTA EEA Bella Vista, Corrientes – Consultor PROMEF.
  - ◆ López, Juan A. INTA EEA Bella Vista, Corrientes.
  - ◆ López Jimenez, Leonardo. UACH División Ciencias Forestales, Chapingo, México.
  - ◆ Lupi, Ana. INTA Instituto de Suelos, Castelar, Buenos Aires.
  - ◆ Marcó, Martín. INTA EEA Concordia, Entre Ríos.
  - ◆ Marcucci Poltri, Susana N. INTA Instituto de Biotecnología, Castelar, Buenos Aires.
  - ◆ Martínez, María C. INTA Instituto de Biotecnología, Castelar, Buenos Aires.
  - ◆ Oberschelp, Gustavo Pedro Javier. INTA EEA Concordia, Entre Ríos.
  - ◆ Ornella, Leonardo A. INTA Instituto de Biotecnología, Castelar, Buenos Aires.
  - ◆ Pathauer, Pablo S. INTA Instituto de Recursos Biológicos, Castelar, Buenos Aires.
  - ◆ Rivas, Juan Gabriel. INTA Instituto de Biotecnología, Castelar, Buenos Aires – Consultor PROMEF.
  - ◆ Salleses, Leonardo INTA Instituto de Recursos Biológicos, Castelar, Buenos Aires – Consultor PROMEF.
  - ◆ Salto, Carla. INTA EEA Concordia, Entre Ríos.
  - ◆ Surenciski, Mauro. INTA EEA Concordia, Entre Ríos – Consultor PROMEF.
  - ◆ Torales, Susana L. INTA Instituto de Recursos Biológicos, Castelar, Buenos Aires.
  - ◆ Vera Bravo, Carlos. INTA EEA Bella Vista, Corrientes.
  - ◆ Villalba, Pamela V. INTA Instituto de Biotecnología, Castelar, Buenos Aires.
  - ◆ Yañez Ayala, Halemey Valentín. UACH División Ciencias Forestales, Chapingo, México.
  - ◆ Zelener, Noga. INTA Instituto de Recursos Biológicos, Castelar, Buenos Aires.

## Instituciones participantes

- ◆ Consorcio Forestal Corrientes Norte (CFCN)
- ◆ Consorcio Forestal Río Uruguay (CoFRU)
- ◆ Instituto Nacional de Semillas (INASE)
- ◆ Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (MINCYT)
- ◆ Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF, Brasil)
- ◆ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Cernagen, Brasil)
- ◆ Instituto de Investigação Científico Tropical (IICP, Portugal).



Subprograma Salicáceas  
(*Salix* y *Populus*)

**Autores.** Cortizo, S.(a); Cerrillo, T.(a); Thomas, E.(b); Monteverde, S.(a)

(a) INTA EEA Delta del Paraná, Buenos Aires, (b) INTA EEA Alto Valle, Río Negro.

**Resumen Ejecutivo.** Las Salicáceas han sido de utilidad gracias a su rápido crecimiento, facilidad de clonación, capacidad de rebrote, adaptación a diferentes sitios, alta plasticidad en respuesta a los cambios ambientales y las variadas aplicaciones de la madera en la industria (aserrado, debobinado, celulosa, fibras y/o partículas para la producción de tableros y biomasa con fines energéticos), en la protección de las cuencas y cultivos, en la remediación de aguas y suelos contaminados y en el balance de dióxido de carbono.

En Argentina, con 97.893 ha que producen alrededor de 727.633 tn/año, ocupan el tercer lugar de importancia dentro de los bosques implantados. El desarrollo de estas plantaciones depende en gran medida del suministro de material mejorado que asegure la adaptabilidad, productividad y sostenibilidad del recurso forestal y en este contexto, tanto la selección de especies y clones adaptados a los requerimientos actuales como la disponibilidad de variabilidad genética para afrontar los nuevos desafíos tienen una importancia fundamental.

La mayor parte de los programas de mejora de Salicáceas se basan fundamentalmente en la hibridación interespecífica, la cual permite maximizar la varianza genotípica a través de la combinación de las características sobresalientes de las distintas especies, seguida de un minucioso trabajo de selección que opera a través de las distintas fases del programa. Los criterios utilizados no solamente tienen en cuenta la productividad sino también la calidad integral del árbol a fin de responder adecuadamente a los requerimientos de las distintas industrias.

Utilizando esta metodología se han generado por cruzamientos más de 15.000 nuevos genotipos que a través de un proceso de selección y clonación permitieron la instalación de una nueva red de ensayos genéticos en las distintas regiones de cultivo que constituyen el reservorio para la liberación de variedades en el futuro. Por otro lado, a partir de materiales disponibles al principio del proyecto se inscribieron en el Registro Nacional de Cultivares 6 nuevos clones de sauce y 3 de álamo con impacto creciente en el mercado de material de propagación mejorado y que permitirán mejorar la oferta de clones de excelente calidad para las distintas industrias. Estos clones cuentan además con una detallada caracterización tanto desde el punto de vista productivo como de adaptación a las distintas condiciones de cultivo.

Dado que la obtención de variedades mejoradas requiere de importantes inversiones de tiempo y recursos se han desarrollado estrategias para garantizar la correcta multiplicación y difusión de los genotipos selectos garantizando la trazabilidad desde el obtentor hasta su instalación en el campo.

## Introducción

Los álamos (*Populus*) y los sauces (*Salix*), miembros de la familia de las Salicáceas, son árboles y arbustos que desde tiempos remotos han resultado de gran utilidad para la sociedad (Isebrands y Richardson, 2014) gracias a su rápido crecimiento juvenil, facilidad de propagación vegetativa, buena capacidad de rebrote, adaptabilidad a diferentes sitios, alta plasticidad en respuesta a los cambios ambientales y variados usos de la madera: aserrado, debobinado, celulosa, fibras y/o partículas para la producción de tableros y biomasa con fines energéticos (Leclercq, 1996; Zsuffa *et al.*, 1996; Dickmann, 2001; Dillen *et al.*, 2010; Cerrillo, 2011 (7); Facciotto *et al.*, 2011 (62)). También juegan un rol de importancia en la mejora y conservación del ambiente, especialmente en la protección de cuencas y cultivos, en la remediación de aguas y suelos contaminados y en el balance de dióxido de carbono (Wang *et al.*, 1999; Schultz *et al.*, 2000; Isebrand y Karnosky, 2001; Ball *et al.*, 2005; Pilipovic *et al.*, 2006).

Si bien no existe acuerdo entre taxonomistas con respecto al número exacto de especies de *Populus* y *Salix*, se considera que entre ambos géneros suman unas 400–500 especies que, a excepción de *S. humboldtiana*, nativa de Sudamérica, se encuentran en bosques nativos en el hemisferio norte. Por el contrario, las plantaciones tanto en macizos, sistemas agroforestales, cortinas o pequeños grupos de árboles aislados se ubican en latitudes templadas de ambos hemisferios (Ragonese y Rial Alberti, 1966; Dickmann, 2006; Pincemin *et al.*, 2007; Dickmann y Kuzovkina, 2014).

En Argentina se cultivan, principalmente en el Delta del Paraná y zonas de regadío de la Patagonia y Cuyo, unas 97.893 ha (Alcobé *et al.*, 2015), que producen alrededor de 727.633 tn/año (promedio de la serie 1994–2013, Brandán *et al.*, 2014) siendo el tercer cultivo forestal en importancia en el país. El desarrollo de estas plantaciones depende en gran medida del suministro de material mejorado que asegure la adaptabilidad, productividad y sostenibilidad del recurso forestal y en este contexto, tanto la selección de especies y clones adaptados a los requerimientos actuales como la disponibilidad de variabilidad genética para afrontar los nuevos desafíos tienen una importancia funda-

mental (Marcó, 2005; White *et al.*, 2007).

Los programas de mejora genética operan para desviar el consumo de energía en sistemas que presentan ventajas adaptativas para la supervivencia en rodales naturales hacia la producción de madera en sistemas estrictamente controlados (Bradshaw y Strauss, 2001), buscando árboles con una arquitectura de copa que permita capturar la luz de forma más eficiente, que concentren la producción de fotosintatos en el tallo, que presenten menor cantidad de ramas, mayor largo de entrenudos, mejor aptitud y comportamiento en los procesos de transformación de la madera para fines específicos, mejorando así la calidad y cantidad del producto final, reduciendo el turno de aprovechamiento y los costos de establecimiento, cosecha y/o procesos industriales (Cortizo *et al.*, 2009).

El primer antecedente de actividades de mejoramiento fue la hibridación de álamos realizada por Henry en 1912 en el Jardín botánico de Kew en Londres, Inglaterra (Henry, 1914), que se continuó con el trabajo realizado por Stout y Schreiner (1933) en el Jardín botánico de Nueva York, Estados Unidos. Estos antecedentes sirvieron de base para la creación de nuevos programas, principalmente en Europa (FAO, 1958; Schreiner, 1959), siendo el primero de ellos el conducido en el Istituto di Sperimentazione per la Pioppicoltura fundado en 1937 en Casale Monferrato, Italia. En Argentina, los trabajos se iniciaron a mediados del siglo XX y sumados a los esfuerzos de introducción y selección realizados en conjunto por el sector público y privado, generaron una serie de clones que se han utilizado por décadas (Ragonese, 1987; Borodowski y Suárez, 2004; Cortizo, 2005; Cerrillo, 2011 (7)).

La mayor parte de los programas de mejora se basan fundamentalmente en la hibridación interespecífica, la cual permite maximizar la varianza genotípica a través de la combinación de las características sobresalientes de las distintas especies, seguida de un minucioso trabajo de selección que opera a través de las distintas fases del programa. Se han utilizado principalmente 12 especies de álamo (*P. balsamifera*, *P. deltoides*, *P. trichocarpa* y *P. tremuloides* de América del Norte, y *P. alba*, *P. cathayana*, *P. ciliata*, *P. euphratica*, *P. maximowiczii*, *P. nigra*, *P.*



*simonii* y *P. tremula* de Eurasia) y 14 de sauce (*S. caprea*, *S. dasyclados*, *S. eriocephala*, *S. koriyanagi*, *S. miyabeana*, *S. purpurea*, *S. udensis*, *S. schwerinii*, *S. triandra* y *S. viminalis* para fines energéticos y *S. alba*, *S. babylonica* (sinonimia de *S. matsudana*) y *S. nigra* para producción de madera) (Stanton *et al.*, 2014).

La primera generación de hibridación ( $F_1$ ) constituye el material operacional de la mayoría de los programas de plantación comercial debido a que presenta buenos niveles de heterosis para crecimiento (Smart y Cameron, 2008; Stanton *et al.*, 2010; Karp *et al.*, 2011). Las generaciones más avanzadas son menos utilizadas aún cuando podrían encontrarse genotipos de alto rendimiento resultantes de la acumulación de genes dominantes por variaciones transgresivas. También se han producido materiales por retrocruza de estas  $F_1$  con alguno de sus padres a fin de recuperar características de expresión poligénica y/o recesiva. Tal es el caso de (*P. deltoides* x *P. nigra*) x *P. deltoides* utilizada para lograr clones tolerantes a *Septoria musiva*, el hongo que produce una cancrrosis de importancia en Argentina (Cortizo, 2011 (32)) y de (*S. viminalis* x *S. schwerinii*) x *S. viminalis* para mejorar la forma y el rendimiento en híbridos tolerantes a roya (Pei *et al.*, 2010). Los clones de especies puras deben ser utilizados cuando por razones de adaptación y/o falta de tolerancia a enfermedades los híbridos interespecíficos no presentan ventajas (Stanton *et al.*, 2014). Un ejemplo de ello es la elección de clones de *P. deltoides* en zonas propensas a cancrrosis.

Como se mencionó anteriormente, la Argentina sólo cuenta con una especie nativa de sauce y por lo tanto nuestros programas de mejoramiento debieron iniciarse con la introducción de clones de especies con características adecuadas a las condiciones ecológicas de los distintos territorios, a saber *Populus deltoides*, *P. nigra*, *P. trichocarpa*, *P. alba*, *Salix alba*, *S. babylonica*, *S. nigra*, *S. bondplandiana*, *S. viminalis*, etc. Entre los clones que lograron instalarse con éxito y aún se mantienen en plantaciones comerciales, merece citarse el sauce Soveny americano destacado por la tolerancia a sitios bajos inundables y la aptitud para elaborar papel de diarios, los álamos Australianos 129/60 y 106/60 de excelente plasticidad y el Conti 12 por su tolerancia a cancrrosis. Varios fueron además utilizados como parentales de los programas de cruzamiento llevados a cabo para incrementar la base genética

de las poblaciones de mejora, la que también fue complementada con la introducción de semillas de árboles plus (Cortizo, 2005; Cerrillo, 2006). Para seleccionar los genotipos en condiciones de pasar a través de las sucesivas etapas del programa (bancos de progenie, bancos clonales, ensayos genéticos) se utiliza el método de niveles independientes de descarte (Riemenschneider *et al.*, 2001) para los siguientes criterios: facilidad de enraizamiento, crecimiento, forma, tolerancia a plagas y características físicas y mecánicas de la madera. Todas ellas exhiben importantes magnitudes de variación genética y responden bien a este tipo de selección. Para hacer más eficiente el proceso, las características que presentan mayor heredabilidad se evalúan en las primeras etapas del programa, mientras que aquellas que presentan menor heredabilidad o altos costos de evaluación se retrasan hasta contar con mayor cantidad de repeticiones y/o menor cantidad de genotipos. Para reducir los tiempos y/o costos de la selección es aconsejable valerse de correlaciones juvenil-adulto, mediciones indirectas a través de características asociadas, selección asistida por marcadores y/o selección genómica.

Los ensayos genéticos son implantados siguiendo un cuidadoso diseño que permite el análisis estadístico de los datos obtenidos y la generalización de los resultados con alto grado de seguridad. En todos ellos se incluye al menos un testigo local de amplia difusión a fin de garantizar que los clones selectos superen a los comerciales en al menos alguno de los criterios definidos en el ideotipo que se pretenda alcanzar. Gran parte de los ensayos se encuentran instalados en campos de productores y empresas y son conducidos del mismo modo que sus plantaciones comerciales asegurando que los resultados del desempeño clonal sean lo más parecido posible a los que se obtendrán en las plantaciones operacionales. Estas asociaciones nos permiten además construir un conocimiento colectivo (empírico y técnico) al contar con la opinión del productor y los resultados de las evaluaciones experimentales y difundir las cualidades de los materiales selectos entre los productores a través de referentes calificados. El proceso de selección y difusión se completa con la instalación de parcelas demostrativas en varios puntos del territorio.

La liberación de un nuevo clon demanda alrededor de 10 a 14 años según el género y el

destino para el cual es seleccionado, pues si se pretende utilizarlo para aserrado y debobinado debería contarse con madera de corte para realizar las pruebas de calidad industrial.

La obtención de variedades mejoradas requiere de importantes inversiones de tiempo y recursos que deben estar garantizados a través de una correcta difusión, para lo cual se requiere la multiplicación controlada de los genotipos selectos, la caracterización morfológica y fenológica en base a los descriptores aprobados por el INASE, la inscripción en el Registro Nacional de Cultivares y/o en el Registro Nacional de la Propiedad y un sistema de seguimiento que garantice la trazabilidad desde el obtentor hasta su instalación en el campo.

En este capítulo se presentarán los avances logrados por los programas de mejora de álamo y sauce que se desarrollan en el INTA en el marco de proyectos nacionales y regionales institucionales y del PROMEF con el apoyo de universidades e instituciones públicas y privadas, dando continuidad a las acciones desarrolladas durante el Programa de Producción de Material de Propagación Mejorado (PPMPM) del Proyecto de Desarrollo Forestal. Si bien ambos programas comparten metodologías de trabajo, poseen características propias derivadas de las condiciones ecológicas del área de cultivo y de las necesidades del sector productivo y empresarial.

## Objetivos

### Objetivo general

Generar material genético mejorado, adaptado a las condiciones ecológicas de las distintas regiones, que incremente en términos cuantitativos y cualitativos la oferta de madera de calidad adecuada a los requerimientos industriales, mejorando la rentabilidad, competitividad y sustentabilidad de la cadena forestal.

### Objetivos específicos

1. Aumentar la variabilidad genética disponible mediante la incorporación de nuevas especies de valor maderable y nuevos genotipos o poblaciones de especies de comprobada capacidad de adaptación al medio, que contemplen aspectos que no están presentes en los materiales disponibles y que

puedan eventualmente responder a las posibles modificaciones climáticas surgidas por el cambio climático global.

2. Desarrollar esquemas de cruzamientos controlados (interespecíficos e intraespecíficos) para incrementar la variabilidad genética en lo referente a características de vigor, forma, adaptación, tolerancia a factores bióticos y abióticos negativos y propiedades de calidad de la madera, tales como densidad básica, características de las fibras y tensiones de crecimiento, entre otras.
3. Integrar el uso de las herramientas biotecnológicas desarrolladas por el equipo de trabajo (marcadores moleculares y transgénesis) para entender y manipular la información genética del Subprograma.
4. Evaluar y caracterizar la variabilidad genética existente y la generada durante este proyecto. Seleccionar y multiplicar genotipos superiores para rendimiento volumétrico, forma, adaptación, tolerancia a factores bióticos y abióticos, y calidad de la madera (blancura, densidad básica, características de las fibras y madera de tensión) adaptados a los distintos ambientes de producción.
5. Caracterizar los materiales selectos mediante características morfológicas, fenológicas y moleculares e inscribirlos en el Registro Nacional de Cultivares (RNC).
6. Transferir los resultados obtenidos al sector productivo.
7. Contribuir a consolidar masas críticas con profesionales calificados en temas de Genética, Mejoramiento y Biotecnología en las principales Unidades participantes en el Subprograma.

## Actividades y resultados

### Programa de mejoramiento de álamo

#### Ampliación de la base genética.

Si bien existen antecedentes de cruzamientos controlados realizados en Argentina (Ragonese, 1987; Alonzo, 1987), este proceso recién logró continuidad a partir del año 2006 con la implementación de un protocolo basado en el descrito por Stanton y Shuren (2001). Como progenitores masculinos se utilizaron los clones de *P. deltoides* Guayracá INTA, Catfish 2, Cara-

belas INTA, R9 (IC 562/47), Stoneville 67, Stoneville 109, Alton y de *P. xcanadensis* Ragonese 22 INTA y como femeninos los clones de *P. deltooides* Australiano 106/60, Australiano 129/60, Ñacurutú INTA, 21-82, 89-82, 149-82, 150-82 y 41-70. Todos fueron seleccionados priorizando características tales como crecimiento, plasticidad, sanidad, tolerancia a estrés abiótico y/o calidad de madera. Estas variables son de relevancia para la adaptabilidad y productividad del álamo en la región y además forman parte de los criterios de selección del Programa de Mejoramiento de INTA (Monteverde y Cortizo, 2014 (85)).

Las plantas obtenidas en los distintos años fueron instaladas a campo distanciadas a 1 x 1 m en sendos bancos de progenies en donde fueron evaluadas por crecimiento, sanidad (*Melampsora* spp. (roya) y *Septoria musiva* (cancrosis)) y forma durante un período de 2 a 4 años según el caso. Las plantas seleccionadas fueron multiplicadas agámicamente e instaladas en bancos clonales para un nuevo ciclo de evaluación, que incluyó además la determinación del porcentaje de prendimiento de las estacas como estimación indirecta de su habilidad para la propagación agámica, dado que este atributo tiene mayor impacto en el rendimiento que la productividad en volumen del fuste individual cuando las tasas caen por debajo del 90% (Chambers y Borralho, 1997), y la valoración de las características de las guías de año (rectitud, largo de entrenudos, tamaño y disposición de ramas).

Entre 2006 y 2013 se han obtenido 11.294 individuos procedentes de 20 cruzamientos diferentes de los cuales 7.837 genotipos fueron generados durante este proyecto (Tabla 1, Figura 1). La cantidad de semillas logradas por cruzamiento y año fue muy variable y al igual que en otros programas (Stanton y Villar, 1996) depen-

dió fundamentalmente del buen establecimiento de las varas femeninas en el invernáculo. El aborto de amentos ya fecundados fue la principal causa y estuvo relacionada a la falta de un buen sistema de raíces funcionales capaces de mantener a las varas durante el largo período de maduración de los mismos (entre 8 a 10 semanas); tal es el caso del clon 21-82. Asimismo, algunos clones masculinos como el Ragonese 22 INTA presentaron altos niveles de esterilidad y otros como el Alton abortaron sus amentos antes de la madurez, por lo cual produjeron escasa o nula cantidad de polen. Se encontraron además problemas de incompatibilidad temporal (por ejemplo Australiano 129/60 x Carabelas INTA) que fueron resueltos al ajustar el programa de conservación de polen a largo plazo.

En base a los resultados de las evaluaciones realizadas (Cortizo y Monteverde, 2013 (53); Monteverde y Cortizo, 2014 (85)) se seleccionaron 280 genotipos que fueron multiplicados y establecidos en bancos clonales (Figura 2). Estos bancos constituyen la fuente de clones experimentales para la instalación de ensayos genéticos.

Asimismo se incorporaron a la E.E.A. Delta del Paraná 4 clones de *P. deltooides* seleccionados en la República Oriental del Uruguay. Por su parte, la E.E.A. Alto Valle realizó un importante trabajo de recuperación del material genético sobreviviente de un banco clonal instalado en la década del '90 con clones provenientes de introducciones; de semillas de polinización libre de *P. deltooides* Australiano 106/60 y *P. xcanadensis* Conti 12 e I 214 y de genotipos generados por cruzamientos controlados con diferentes clones de *P. nigra* y *P. deltooides* a partir del trabajo realizado por el Dr. Leonardo Gallo. Este material fue completado con clones de *P. deltooides* generados en el Delta y clones de *P. xcanadensis* y *P. xgenerosa* introducidos por la Facultad de

♀ \ ♂	2-82	Catfish2	Carabelas	R22 INTA	R9 (562/47)	St.67	St.109
A106/60	956	607	-	84	388	190	-
A129/60	763	-	1292	91	628	-	197
20-82	-	-	117	-	2279	-	70
89-82	72	-	1289	-	-	-	1305
149-82	123	-	5	-	-	-	-
41-70	-	546	-	-	-	292	-

Tabla 1. Número de genotipos obtenidos para las distintas combinaciones de álamos.



**Figura 1.** De izquierda a derecha: Ramas femeninas recientemente polinizadas, amentos maduros, semillas germinadas y plántulas logradas.

Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo.

Todas estas acciones responden a los primeros dos objetivos del proyecto y permiten la continuidad del programa así como la provisión de material experimental a otros proyectos (PIAs, SaFos, CONICET, FAUBA) para el desarrollo de investigaciones sobre manejo, ecofisiología y tolerancia a plagas incrementando así los conocimientos y las relaciones interinstitucionales.

### Evaluación de germoplasma experimental en la red de ensayos establecida por el programa.

En un principio la meta fue la obtención de clones tolerantes a roya y a cancrisis que permitieran mejorar la sanidad de las plantaciones e incrementar su diversidad reduciendo así la presión ejercida sobre las poblaciones de hongos causantes de dichas enfermedades a fin minimizar la posibilidad de aparición de nuevas razas patogénicas que obliguen a un recambio clonal. Posteriormente, en función de la importancia que las propiedades intrínsecas de la madera y de su calidad general tienen sobre los tradicionales y los nuevos y emergentes escenarios de utilización (Balatinecz *et al.*, 2014) se incorporaron criterios de selección de propiedades físicas, mecánicas y de aptitud industrial. En el momento de iniciarse este proyecto se contaba con una red de ensayos comparativos instalada entre 1997 y 2005 por el grupo de mejoramiento de INTA bajo el marco del PPMPM (Cortizo, 2005) y el Convenio INTA-Grupo Carabelas, que contaba con 66 clones experimentales y 3 testigos de amplia difusión (Australia-

no 106/60, Australiano 129/60 y Stoneville 67). Los materiales incluidos en esta red provenían de selecciones realizadas en un banco de 160 clones de *P. nigra*, *P. xcanadensis* y *P. xgenerosa* provenientes de Italia, Francia, España, Bélgica, Holanda, China, EEUU y de otras regiones y/o instituciones del país, y de 240 clones seleccionados a partir 2.000 individuos provenientes de semillas introducidas desde EEUU y generados por cruzamientos controlados entre *P. deltoides* y *P. nigra* en nuestra Experimental.

En una primera etapa se seleccionó el clon *P. deltoides* Carabelas INTA inscripto en el Registro Nacional de Cultivares del Instituto Nacional de Semillas (INASE) en el año 2008 (Resolución N° 168/2008), cuya difusión tuvo lugar durante este período y que actualmente ocupa el 20 % de la oferta de clones de álamo. Fue también el objeto de la primera venta de



**Figura 2.** Vista general del banco clonal 2012 (Izq.). Detalle de una guía de año con características sobresalientes (Der).

material certificado de especies de propagación agámica del país amparada en el Documento de Autorización de Venta DAV FoPo 0025/10 (Cortizo *et al.*, 2014 (41)).

Recientemente se inscribieron otros dos clones de *P. deltoides* bajo la denominación Guayracá INTA y Ñacurutú INTA (Resoluciones N° 199/2015 y 196/2015 respectivamente), seleccionados también a partir de este grupo de ensayos.

Estos clones provienen de introducciones de semillas correspondientes a familias de medios hermanos colectadas en los estados de Illinois, Tennessee y Mississippi por Celulosa Argentina S.A. e introducidos a la E.E.A. Delta del Paraná-INTA en 1982 por el Ing. Agr. Abelardo Alonzo. La primer evaluación en base a crecimiento y densidad básica de la madera detectó 140 genotipos superiores, los cuales fueron multiplicados e instalados en un banco clonal en donde se realizó una nueva selección en base a crecimiento y sanidad. Los clones selectos fueron paulatinamente incorporados a la red de ensayos comparativos del programa de mejoramiento instalada en quintas pertenecientes a campos de productores locales (Co-

sentino (1998), Jaureguiberry (1999), José Gomes (2000) y Urionagüena (2003) y en la E.E.A. Delta del Paraná (2000 y 2002)) en donde se evaluaron, además de las variables antes mencionadas, las características del fuste y la densidad básica de la madera utilizando un Pilodyn 6J-Forest (PROSEQ SA).

A partir del año 2011, cuando las plantas fueron alcanzando la edad corte (Figuras 3 y 4), se iniciaron las pruebas físicas y mecánicas trabajando en conjunto con el Laboratorio de Investigaciones en Maderas (LIMAD) de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata y se realizaron pruebas preliminares de calidad industrial (aserrado y debobinado) en empresas del sector (Wojciekian, EDERRA S.A. y Compañía General de Fósforos Sudamericana S.A.). Los detalles de la metodología utilizada pueden verse en Cortizo y colaboradores (2011 (58), 2012 (59), 2014 (60) y 2015 (61)).

Ambos clones presentan un crecimiento en volumen similar o significativamente superior a los testigos, excelente tolerancia a roya y a canchosis, y un fuste adecuado para usos sólidos (Figura 5, 6 y 7).

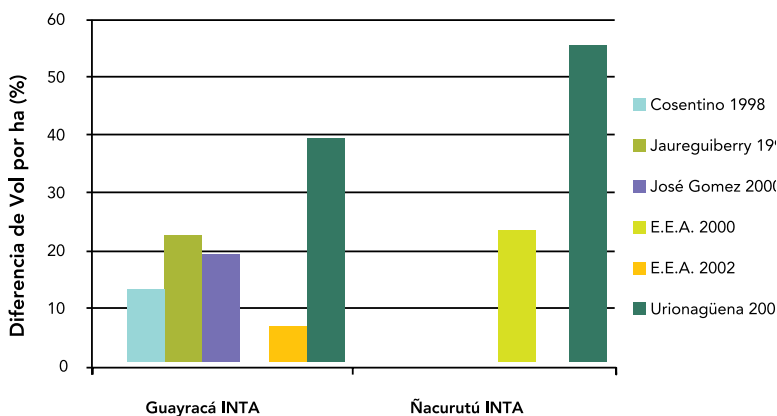
Los valores de densidad obtenidos (densidad normal: 0,46 y 0,47 g/cm<sup>3</sup> y densidad anhidra: 0,45 y 0,43 g/cm<sup>3</sup> para los clones Guayracá y Ñacurutú INTA respectivamente) clasifican a la madera de ambos clones como liviana (Coronel, 1994; Rivero Moreno, 2004). Por su parte el punto de saturación de las fibras y las contracciones máxima radial y tangencial se ubicaron dentro de los rangos normales. Finalmente, los correspondientes al coeficiente de anisotropía, que indica la armonía de la pieza de madera al



**Figura 3.** Trozas de madera identificadas por color correspondientes a 1 árbol seleccionado de 14 años, listas para ser remitidas al aserradero.



**Figura 4.** Estiba de secado con listones de 2200 mm de largo y de tres secciones: 50 x 50 mm, 20 x 150 mm y 20 x 40 mm identificadas por árbol correspondientes a un clon selecto.



**Figura 5.** Diferencia de volumen por hectárea entre los clones seleccionados y los testigos locales, expresada en porcentaje, correspondiente a los ensayos comparativos instalados entre 1998 y 2003 en el Delta del Paraná.

contraerse ante variaciones en su contenido de humedad, fueron bajos de acuerdo con la clasificación de Rivero Moreno (2004) y por lo tanto la madera puesta en servicio resulta estable a moderadamente estable.

La madera del clon Guayracá INTA resultó blanda, mientras que la del Ñacurutú INTA resultó blanda en el plano transversal y muy blanda en los planos radial y tangencial (Coronel, 1995). La resistencia a la compresión perpendicular es alta, la resistencia a la compresión y la resistencia al corte son medianas en ambos clones. Finalmente la resistencia a la rotura en flexión estática es baja y según los valores del MOE la madera de estos clones resulta muy elástica (Rivero Moreno, 2004).

Por su lado en el aserradero se obtuvo un porcentaje de tablas de primera calidad con valores similares o levemente superiores a los obtenidos en el proceso de aserrado comercial, y el clon Guayracá INTA resultó adecuado para el debobinado y la producción de fósforos.

Durante este período además se implantaron parcelas de producción en diferentes sitios del Delta en donde se está evaluando la estabilidad espacial y temporal de los rendimientos y se espera contar con suficiente material para corroborar a escala industrial los comportamientos de la madera obtenidos en el laboratorio y en la industria con muestras más pequeñas. Asimismo se inició la propagación dentro del predio de la E.E.A. Delta del Paraná en Convenio con el Grupo Carabelas, para contar con material de plantación suficiente para su inserción en el mercado.

A partir del año 2013 se inició la instalación de una red de evaluación de los clones generados por cruzamientos controlados a partir del año 2006 que incluye un total de 45 clones experimentales que superaron los umbrales mínimos del programa. El primer año se instalaron 5 unidades independientes en campos de productores locales bajo distintas condiciones de



Figura 6. Guayracá INTA.



Figura 7. Ñacurutú INTA.

manejo en parcelas monoárbol con al menos cinco repeticiones por sitio, en 2014 se instaló una nueva unidad con 19 repeticiones y en 2015 otras dos nuevas unidades, una protegida por dique y otra sobre un albardón de un campo no endicado, con entre 5 y 7 repeticiones por campo. El número de clones de la nueva red de ensayos se encuentra dentro de los límites recomendados para reducir al mínimo el riesgo de fallas debido a condiciones ambientales atípicas y la evolución de la virulencia de patógenos de la mayoría de los programas clonales (Libby, 1982). Si bien se tienen resultados muy preliminares, siete de ellos presentaron un comportamiento promisorio, y pasaron a una nueva etapa del programa en donde son comparados con los clones comerciales utilizando un mayor número de plantas.

Por su parte el grupo de trabajo de Alto Valle realizó en conjunto con la Delegación Valle Medio del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de Río Negro la evaluación del ensayo instalado en el predio del Vivero Forestal de la Subsecretaría de Bosques ubicado en Pomona con cuatro clones de *P. xcanadensis* (Triplo, Ra-

	Dureza Janka (MPa)			MOR (MPa)			MOR	MOE
	Transversal	Radial	Tangencial	Compresión perpendicular	Corte paralelo	Compresión paralela		
<b>Guayracá INTA</b>	50,00	35,70	40,05	9,71	11,51	36,12	52,89	5176,12
<b>Ñacurutú INTA</b>	36,28	21,63	22,74	8,75	9,97	37,95	79,22	6652,06

**Tabla 2.** Valores medios de las propiedades mecánicas (Dureza Janka, valores de rotura de compresión perpendicular, paralela y corte paralelo a las fibras y valores de flexión estática (MOR y MOE) para los clones Ñacurutú INTA y Guayracá INTA.

gonese 22 INTA, Panguí INTA, Pudú INTA), seis clones de *P. deltoides* (Harvard, Onda, Stoneville 67, Carabelas INTA, Ñacurutú INTA y C-657), un clon de *P. xcanescens* y dos testigos (I-214 y Conti 12). Luego de cuatro períodos de crecimiento los clones Triplo, Ragonese 22 INTA, Panguí INTA, Pudú INTA, Ñacurutú INTA y *P. xcanescens* presentaron un comportamiento similar al de los testigos locales convirtiéndose así en una alternativa para diversificar las plantaciones y ofrecer al mismo tiempo materiales tolerantes a cancrisis (Thomas y Garces, 2014(95)).

Asimismo, se realizaron las evaluaciones de los ensayos comparativos instalados en 2009 y 2010 en la chacra experimental anexa ubicada en J.J. Gómez, Río Negro con siete clones de *P. deltoides* (Carabelas INTA, Ñacurutú INTA, 21-82, 149-82, 150-82, C-88 y C-150) y *P. xcanadensis* Guardi como testigo. El primero se instaló en un suelo de barda de textura arenoso-franco y el segundo en un suelo de media barda de textura franco arcillo-limoso. En estos ensayos los clones Carabelas INTA y Ñacurutú INTA demostraron buen comportamiento presentándose como una buena alternativa, siendo además tolerantes a cancrisis (Thomas y Cortizo, 2014 (93)).

### Caracterización de los clones selectos mediante características morfológicas y fenológicas y moleculares e inscripción en el Registro Nacional de Cultivares (RNC).

Para caracterizar a los nuevos clones se utilizó el protocolo definido en el "DESCRIPTOR" de álamo ([http://www.inase.gov.ar/index.php?option=com\\_content&view=article&id=101:-descriptorescultivares&catid=49&Itemid=90](http://www.inase.gov.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=101:-descriptorescultivares&catid=49&Itemid=90)). Se describieron 58 características sobre guías de año y 13 características en árboles adultos durante tres años consecutivos. Con los datos obtenidos se completó la Declaración Jurada de Solicitud de Inscripción que permitió, como se mencionó anteriormente, la incorporación de los productos del proyecto en el Registro Nacional de Cultivares.

Dada las limitaciones de los marcadores morfológicos y fenológicos para diferenciar clones muy parecidos entre sí y con la finalidad de brindar una herramienta que pueda ser utilizada en el proceso de certificación, se trabajó en el desarrollo de patrones moleculares SSR (*Simple Sequence Repeat*), también denomina-

dos microsatélites, que fueron incluidos como características adicionales en la Declaración Jurada de Solicitud de Inscripción. Estos marcadores se basan en las diferencias en el número de repeticiones de secuencias cortas de dos, tres o cuatro nucleótidos diseminadas a través del genoma. Para su utilización requieren el desarrollo de bibliotecas de ADN genómico que deben ser analizadas para determinar las secuencias flanqueantes a las regiones repetidas, con las cuales se construyen los *primers* o cebadores necesarios para realizar la amplificación por PCR (*Polymerase Chain Reaction*). Este desarrollo requiere de tiempo e importantes inversiones pero, una vez que se conocen las secuencias flanqueantes, los polimorfismos son relativamente fáciles de detectar.

Como material vegetal se utilizaron hojas recién expandidas libres de plagas y enfermedades, extraídas de estaqueros de reconocida identidad, que fueron trasladadas en N<sub>2</sub> líquido hasta el Laboratorio de Mejoramiento molecular de especies Forrajeras y Salicáceas del IGEEAF-CICVyA, en donde se realizó la extracción de ADN utilizando el Kit DNeasy Plant Mini Kit (QIAGEN). Para la amplificación por PCR se seleccionaron 48 loci microsatélites, de los cuales 31 fueron desarrollados por *Poplar Molecular Genetics Cooperative* de Estados Unidos con la finalidad de identificar clones de álamo, 5 fueron desarrollados para *Populus nigra* (Van der Schoot *et al.*, 2000), 10 fueron desarrollados para *Populus tremuloides* (Dayanandan *et al.*, 1998; Rahman *et al.*, 2000) y 2 fueron desarrollados para la identificación de sauce por Barker y colaboradores (2003). El análisis de los productos de amplificación se realizó utilizando la técnica de electroforesis capilar de fragmentos de PCR con marca fluorescente en la Unidad de Genómica del Instituto de Biotecnología del CICVyA-INTA. Los resultados obtenidos de la electroforesis capilar se analizaron con el software GeneMapper 4.0. Los *primers* PMGC 2217 y PTR12 permitieron diferenciar todos los clones de álamo incorporados al Registro Nacional de Cultivares, a excepción de los clones Australiano 106/60 y Australiano 129/60, para los cuales se continuará trabajando con las reacciones de PCR utilizando otros *primers* marcados hasta detectar diferencias. En este caso, hasta lograr su diferenciación molecular existe una ventana que nos ayuda a diferenciarlos en estaquero durante el invierno cuando no tienen hojas observando el color de

las guías en el tercio superior y la forma de inserción de las ramas, ya que las guías de Australiano 129/60 son verde amarillentas en el tercio superior y con ramitas en ángulo, mientras que las guías del Australiano 106/60 son amarronadas y con ramitas en forma de copa. Si bien las diferencias son sutiles y el período de observación es corto pueden resultar de utilidad.

### Estudios ecofisiológicos que apoyan al proceso de selección.

Con la finalidad de caracterizar los genotipos promisorios y generar información que permita orientar la elección de parentales de los programas de cruzamientos y la selección de genotipos tolerantes a condiciones de estrés abiótico durante el período de implantación, se realizaron sendos ensayos de tolerancia a períodos de inundación y sequía bajo condiciones controladas con plantas instaladas en macetas.

En los ensayos de tolerancia a inundación se comparó el comportamiento de plantas inundadas por 35 días y regadas a capacidad de campo correspondientes a los clones Australiano 106/60, Australiano 129/60, Catfish 2, Stoneville 67, Carabelas INTA, Guayracá INTA, Ñacurutú INTA, 21-82, 89-82, 149-82 y 150-82 de *P. deltooides* y a los híbridos Conti 12 y SIA 22-85 de *P. xcanadensis*, a través de mediciones de variables morfológicas (altura, diámetro a la altura del cuello, área foliar, tasa de expansión foliar, formación de raíces adventicias) y fisiológicas (conductancia estomática, contenido de clorofila, tasa de transporte de electrones). Si bien todos los clones probados presentaron importantes reducciones de crecimiento y deberían reservarse para sitios protegidos, se observó el siguiente gradiente de tolerancia: Alton > Australiano 106/60 y Catfish 2 > 150-82 y SIA 22-85 > Stoneville 67 > Carabelas INTA y Guayracá INTA > Conti 12 > 149-82 > Ñacurutú INTA y 21-82 > 89-82 (Luquez *et al.*, 2012 (79)).

En los ensayos de tolerancia a sequía se compararon plantas de los clones Australiano 129/60, Stoneville 67, Ñacurutú INTA y Carabelas INTA de *P. deltooides* y Conti 12 de *P. xcanadensis* regadas a capacidad de campo con plantas sometidas a restricción hídrica por un período de cuatro meses. Aunque todos los clones fueron significativamente afectados, manifestaron distintos mecanismos de adaptación para evadir o tolerar las condiciones de sequía. Así por ejemplo los clones Stoneville 67 y Ñacurutú

INTA presentaron ajuste osmótico, mientras que los clones Australiano 129/60 y Conti 12 menor nivel de defoliación y mayor masa de raíces (Guarnaschelli *et al.*, 2010 (76), Guarnaschelli *et al.*, 2013 (77)).

Para evaluar el efecto de la roya sobre el crecimiento del año y del rebrote de la siguiente temporada se estableció un experimento comparando plantas enfermas y sanas (pulverizadas con funguicidas) de tres clones de *P. deltooides* (Australiano 106/60, Stoneville 109 y Onda (I 72/51)) que presentan distinta arquitectura del canopeo y del nivel de tolerancia. Se evaluó además el efecto de la enfermedad sobre la densidad básica de la madera debido a la importancia que tiene esta característica en la determinación de la calidad y el rendimiento industrial. Para determinar las bases fisiológicas del daño causado por la roya se estudiaron los cambios en la dinámica foliar, la del follaje, la fotosíntesis, el contenido de clorofila y el reciclado del nitrógeno.

Los resultados obtenidos indican que la roya reduce el crecimiento del año y de la siguiente temporada tanto a nivel aéreo como radical, siendo la magnitud del cambio dependiente del clon y el nivel de ataque. Asimismo la densidad de la madera se ve disminuida a través de los años, lo cual termina impactando sobre la calidad. Todos estos efectos se deben a una disminución de la capacidad fotosintética y consecuentemente de la capacidad de fijar y translocar carbono, tanto para continuar el crecimiento del año como para acumular reservas en la parte aérea y radical. La reducción del sistema radical limita la capacidad de explorar el suelo y adquirir agua y nutrientes durante esa temporada de crecimiento. Esto, sumado a una retranslocación incompleta de nitrógeno debido a que las hojas enfermas caen con mayor cantidad de nitrógeno, reduce las reservas de carbono y de nitrógeno para iniciar un nuevo ciclo de crecimiento y la capacidad de adquirir recursos desde el suelo al inicio de la temporada siguiente (Cortizo, 2014 (37)).

## Programa de mejoramiento de sauce

### Ampliación de la base genética.

Se han generado entre 2008 y 2013 aproximadamente 5.000 individuos mediante cruza-



mientos controlados y, en menor medida, por polinización abierta de madres destacadas, que se han ido sumando a la base pre-existente, lograda entre 1987 y 1998 a través del Convenio INTA-CIEF, que actualmente cuenta con cerca de 100 individuos en diferentes fases de selección (Cerrillo, 1989; Cerrillo, 2005).

Los cruzamientos se llevaron a cabo utilizando como parentales individuos de las especies: *S. alba* L., *S. amygdaloides* Anderss., *S. babylonica* L., *S. bonplandiana* H.B.K, *S. fragilis* L., *S. jessoensis* Seemen, *S. matsudana* Koidtz, *S. nigra* Marsh y *S. sachalinensis* F. Schmidt.

Tanto el éxito reproductivo como la calidad de las plántulas resultantes fueron variables (Tabla 3, Figura 8) y consistentes con resultados anteriores del programa. Probablemente los resultados negativos se deban a mecanismos de incompatibilidad entre individuos pertenecientes a secciones taxonómicas alejadas y/o a la direc-



Figura 8. Progenies de sauce para selección obtenidas por cruzamientos controlados.

Origen	Fecha del cruzamiento	Fecha de cosecha de semillas	Número de semillas por amento	Germi-nación y su-pervivencia de plántulas	Superviven-cia de plan-tas a los 3 años (%)	Individuos selec-cionados por familia (%)
<i>S. amygdaloides</i> x <i>S. alba</i>	16/09 al 30/09	30/10 al 17/11	25 a 28	B	62,51	11,84
<i>S. amygdaloides</i> x <i>S. babylonica</i>	07/09 al 30/09	19/10 al 02/11	18 a 20	B	63,83	10,00
<i>S. amygdaloides</i> x <i>nigra</i>	17/09	12/11	20 a 25	B	59,0	6,80
<i>S. matsudana</i> x <i>S. matsudana</i>	12/08 al 07/09	08/09 al 10/10	7 a 12	MB	85,00	6,50
<i>S. matsudana</i> x <i>S. babylonica</i>	12/08 al 04/09	08/09 al 05/10	5 a 7	B	86,50	10,00
( <i>S. matsudana</i> x <i>S. nigra</i> )	Polinización abierta	18/11	7 a 10	MB	89,20	35,35
<i>S. matsudana</i>		08/09 al 15/10	7 a 12	MB	89,00	25,50
<i>S. matsudana</i> x <i>S. bonplandiana</i>	12/08 al 07/09	15/09 al 01/10	3 a 5	R	20,00	---
<i>S. alba</i> x <i>S. babylonica</i>	27/08	15/09 al 07/10	6 a 7	R	18,60	---
<i>S. alba</i> x ( <i>S. matsudana</i> x <i>S. alba</i> )	29/08 al 05/09	29/09 al 07/10	5 a 7	M	25,64	---
<i>S. alba</i> x <i>S. matsudana</i>	29/8 al 7/09	08/09 al 15/10	3 a 5	M	20,00	---
<i>S. sachalinensis</i> x <i>S. alba</i>	10/09 al 15/09	----	---	M	---	---

#### Referencias germinación y supervivencia:

**MB** semillas de mayor tamaño y bien formadas, muy buena germinación ( $\geq 90\%$ ). Muy buen nivel de supervivencia de las plántulas el primer mes ( $\geq 90\%$ ).

**B** semillas de tamaño medio y bien formadas, aceptable germinación ( $\geq 50\%$ ). Buen nivel de supervivencia de las plántulas el primer mes (50-90%).

**R** semillas muy pequeñas, de difícil germinación ( $\leq 50\%$ )- Mala supervivencia de las plántulas el primer mes ( $\leq 50\%$ ).

**M** semillas muy pequeñas, de difícil germinación ( $\leq 50\%$ )- Sin supervivencia de las plántulas al primer mes.

Tabla 3. Familias de sauces obtenidas entre 2008 y 2013. Performance reproductiva.

ción del cruzamiento.

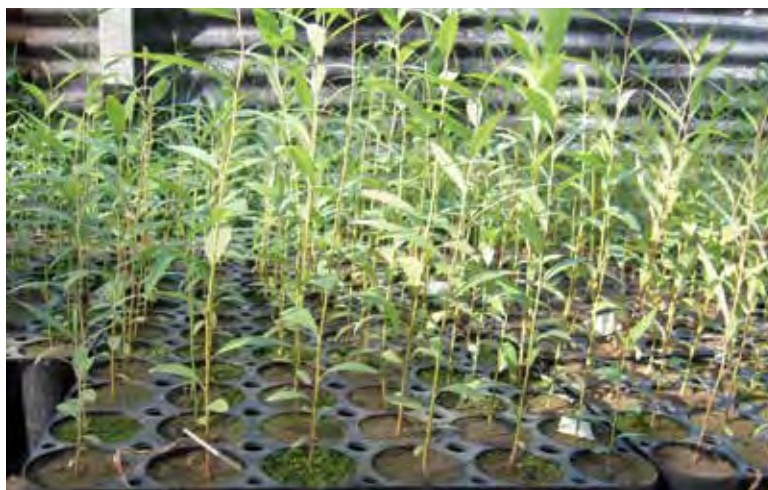
El material generado por cruzamientos en 2008 y 2009 ya cuenta con una primera selección realizada en los respectivos bancos de progenies para las variables altura total y diámetro a la altura de pecho, enfermedades y forma. También se han estudiado algunas características de la madera, como densidad básica y longitud de fibras en individuos seleccionados, en articulación con el equipo de Silvia Monteoliva de la Universidad de La Plata.

Los individuos selectos están instalados en sendos bancos de clones en la E.E.A. Delta y una parte de ellos ya se están evaluando a campo en ensayos comparativos (Figura 9).

Con vistas a la futura incorporación de la especie nativa *Salix humboldtiana* al programa de mejora, se está comenzando a explorar dicha especie; primeramente iniciando la colección y propagación de genotipos muestreados en tres puntos del Delta del Paraná: Isla Cambacú en Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Río Paraná Guazú y Río Carabelas en el Delta bonaerense, en Formosa y en Río Negro. Se prevé la incorporación de un número mayor de individuos y su caracterización morfológica y molecular.

#### Evaluación de germoplasma experimental en la red de ensayos establecida por el programa.

La meta es el logro de clones que permitan contar con una masa crítica de madera de calidad de sauce, actualmente faltante en el Delta, donde la mayoría de las plantaciones del género pertenecen al clon comercial 'Soveny Americano', de gran rusticidad frente al anegamiento y excelentes estándares para la industria del papel, pero de baja tasa de crecimiento y mala forma. Desde hace más de diez años se ha puesto énfasis en lograr clones con aptitud de la madera, tanto para usos sólidos como para la industria del papel para diarios. Una mayor diversidad clonal es también deseable desde el punto de vista de la sustentabilidad, posibilitando contar con recomendaciones regionales; asimismo plantaciones sustentadas en un amplio stock de clones resultan menos vulnerables de cara a eventuales problemas sanitarios. Finalmente, a través de acciones integradas con los equipos de Desarrollo y Extensión, se busca una adecuada transferencia en la propagación de los clones mejorados para su adopción en el medio productivo.



**Figura 9.** Banco de clones implantado con material seleccionado en 2014 de germoplasma obtenido en el año 2011.

La red de ensayos se inició en el 2005 y posee actualmente un número de 40 unidades experimentales, considerando ensayos comparativos (EC) en donde se realiza la primer selección a campo, ensayos de productividad (EP) con materiales en etapas intermedias de selección y parcelas demostrativas con clones en etapa final de selección. Entre 2005 y 2010 se han instalado en las unidades experimentales los genotipos originados entre 1987 y 1998 y si bien en su mayor parte se continúan registrando variables dendrométricas, los más antiguos han permitido la selección de 6 clones liberados en 2012. Algunos de estos materiales fueron también llevados a otros territorios, como Cuenca del Salado, Patagonia norte y Esquel, articulando con profesionales de otras Unidades de INTA y de los equipos de Extensión de la Dirección Forestal.

A partir del 2010 se han instalado 18 unidades experimentales, de las cuales 11 son ensayos comparativos en donde se prueban por primera vez genotipos originados por cruzamientos (controlados y libres) realizados a partir de 2008 en la E.E.A. Delta del Paraná, 3 son ensayos de productividad y 5 corresponden a unidades demostrativas monoclonales de genotipos avanzados en el proceso de mejoramiento. Los diez ensayos comparativos y de productividad instalados entre 2005 y 2010 en el Delta bonaerense y entrerriano (Tabla 4) permitieron la comparación de 68 genotipos experimentales de las especies *S. alba*, *S. babylonica*, *S. humboldtiana* (a través de la entidad botánica que integra: *Salix xargentiniensis*), *S. matsudana* y *S.*

Localización del ensayo	Nº de clones en ensayo	Nº de plantas/ clon/ensayo	Criterios de selección a los que aporta cada ensayo
Río Carabelas, Campana, Bs.As.	30	16	S - F - C
A° Léber, Escobar, Bs.As.	30	16	S - F - C
A° Brazo Largo, Islas del Ibicuy, Entre Ríos	20	16	S - F - C - T
A° Martínez, Islas del Ibicuy, Entre Ríos	28	16	S - F - C - T
A° Martínez, Islas del Ibicuy, Entre Ríos	15	16	S - F - T
Río Carabelas, Campana, Bs.As.	15	100	S - F - C
A° Martínez, Islas del Ibicuy, Entre Ríos	15	100	S - F - C - T
A° Martínez, Islas del Ibicuy, Entre Ríos	30	16	S - T
Río Paraná Miní, San Fernando, Bs.As.	20	16	T
Río Paraná Miní, San Fernando, Bs.As.	6	36	T

• S: sanidad • C: crecimiento • F: Forma del fuste • T: Tolerancia al anegamiento

**Tabla 4.** Experimentos considerados en la selección de seis nuevos sauces inscriptos.

*nigra*, utilizando un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y un número de plantas por parcela variable entre 4 y 25, a distancia usual de plantación (3 m x 3 m o 4 m x 2 m). Quince de estos genotipos fueron tratamientos comunes a todos los ensayos, lo cual permitió realizar un análisis en red. Como testigos se utilizaron tres clones comerciales ampliamente difundidos: *S. matsudana* x *S. alba* 'Barrett 13-44 INTA', *S. babylonica* x *S. alba* 'Ragonese 131-27 INTA' y *S. babylonica* var *sacramenta* 'Soveny Americano'.

#### Para la selección se consideraron los criterios:

**Sanidad:** Se evaluaron síntomas y signos de las principales enfermedades causantes de daños foliares (*Marssonina salicicola*, *Cercospora spp.* y *Melampsora spp.*) y afecciones corticales (*Schizospora spp.* y *Fusarium spp.*), registrándose observaciones en planta desde las primeras etapas de selección hasta en árboles de ocho años de edad. Para la valoración de daños en hojas se aplicó una escala visual ordinal de seis grados: de grado 0= sin síntomas ni signos a grado 5= láminas completamente afectadas. Se consideró el grado más frecuente de cada clon.

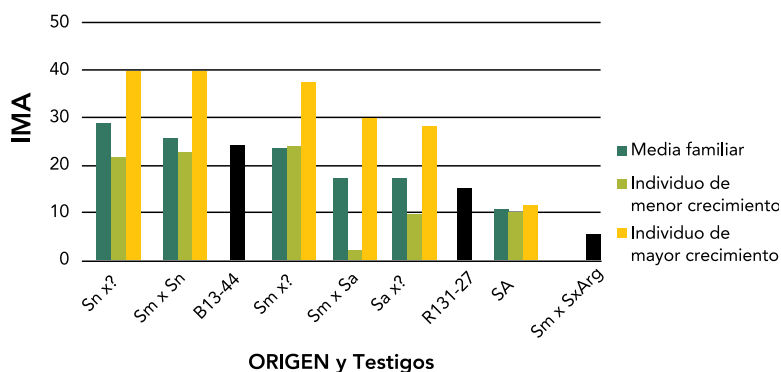
**Adaptabilidad (tolerancia al anegamiento prolongado a campo):** Se relevó la supervivencia en seis ensayos expuestos a la inundación ocurrida en el delta entre noviembre de 2009 y mayo de 2010. Este evento crítico sucedió con mayor gravedad al delta entrerriano y norte del bonaerense. El nivel del agua en los ensayos más afectados, en islas del Ibicuy, al-

canzó 1,50 m y se extendió durante 6 meses.

**Crecimiento:** Se evaluó altura total y diámetro a la altura del pecho (DAP) en cinco ensayos al quinto año y se analizaron los datos grupalmente, en base a tratamientos en común. Integrando ambas variables dasométricas, se calculó el incremento medio anual con corteza (IMA), expresado en m<sup>3</sup>/ha/año.

**Forma:** Se valoraron los fustes de los tratamientos a través de una escala visual ordinal de seis niveles: de grado 0= fustes tortuosos y muy ramificados a grado 5= fustes rectos, predominantemente únicos, ramas escasas, con desrame natural y alta dominancia apical. Se consideró el grado más frecuente para cada clon.

**Aptitud tecnológica de la madera:** Se evaluaron la densidad básica, la blancura y las propiedades para elaborar pasta para papel para diarios, así como las resistencias a la tracción y al rasgado y la opacidad (Grande, 2013). Asimismo, se realizaron experiencias empíricas de



**Figura 10.** Comparación de medias del Incremento Medio Anual en volumen total con corteza (IMA; m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>·año<sup>-1</sup>) del germoplasma según orígenes.

aserrado con madera de 7 años de los seis clones selectos, sometida al secado natural, con la participación de productores y aserraderos locales. A partir de la evaluación de los ensayos de la red experimental, considerando integradamente los criterios predeterminados, se detectaron combinaciones -o familias- de mejor performance; luego se seleccionaron los mejores individuos dentro de ellas. Los crecimientos más destacados correspondieron a: *S. matsudana* x *S. nigra* (Sm x Sn), *S. matsudana* x *S. alba* (Sm x Sa) y algunos individuos de polinización abierta de *S. alba* (Sa PA), *S. matsudana* (Sm PA) y *Salix nigra* (Sn PA).

En la Figura 10 se observan los valores de las medias familiares y las correspondientes a los individuos de menor y mayor crecimiento por familia, comparados con los testigos: 'Barrett 13-44 INTA' (B13-44), 'Ragonese 131-27 INTA' (R131-27) y 'Soveny Americano' (SA).

Este trabajo permitió seleccionar, entre esas combinaciones, una primera serie de seis clones (Cerrillo, 2012 (10)), que fueron inscriptos en 2013 en el Registro Nacional de Cultivares del Instituto Nacional de Semillas (INASE), con los siguientes nombres (Resolución N° 80/2013):

- ◆ *Salix matsudana* x *Salix alba* 'Agronales INTA-CIEF' (Figura 11)
- ◆ *Salix matsudana* x *Salix alba* 'Los Arroyos INTA-CIEF'
- ◆ *Salix nigra* 'Ibicuy INTA-CIEF' (Figura 12)
- ◆ *Salix matsudana* 'Géminis INTA-CIEF'
- ◆ *Salix matsudana* x *Salix nigra* 'Lezama INTA-CIEF' (Figura 13)
- ◆ *Salix alba* 'Yaguareté INTA-CIEF'

Los sauces selectos mostraron un crecimiento significativamente mayor al clon testigo 'Soveny Americano' y superior o equivalente al clon 'Barrett 13-44 INTA', uno de los sauces de mayor crecimiento promedio en la cuenca tomado como testigo. En cuanto a los aspectos sanitarios específicamente, las evaluaciones mostraron la inexistencia de afecciones de corteza y muy bajos niveles de afección por roya y antracnosis en los seis clones seleccionados, detectándose para antracnosis máximos de grado 3 y en roya máximos de grado 1. En la consideración integral de todos los criterios de selección, los resultados mostraron una mejora de la performance respecto a los clones actualmente en uso, entendiéndose como tal no sólo el crecimiento volumétrico, sino



**Figura 11.** Vista general de un ensayo de productividad del clon Agronales INTA-CIEF de 7 años.



**Figura 12.** Vista de 4 plantas del clon Ibicuy INTA-CIEF de 7 años perteneciente a una de ensayo comparativo.



**Figura 13.** Clon Lezama en lote demostrativo de 4 años.

también la sanidad, la adaptabilidad (tolerancia a períodos prolongados de anegamiento), la calidad del fuste y la aptitud de la madera. La factibilidad de que un mismo clon pueda aplicarse a diversas aplicaciones, papel y usos sólidos, está presente en: 'Yaguareté INTA-CIEF',

‘Lezama INTA-CEF’, ‘Los Arroyos INTA-CIEF’ y ‘Géminis INTA-CIEF’. Esta característica, junto a la rectitud del fuste y el crecimiento rápido, constituyen una innovación tecnológica (cit. por Cittadini, E. “La Innovación y el Desarrollo de los Territorios” Taller Forestal Pampeano, Buenos Aires, 9 de septiembre 2014). Esta idoneidad para ambas aplicaciones es una ventaja significativa desde el punto de vista de la pro-

ductividad como así también de la equidad, ya que puede ser un factor que beneficie al productor para destinar la materia prima producida en bocas de consumo alternativas.

La evaluación de adaptabilidad mostró un gradiente de mayor a menor grado de tolerancia a condiciones de anegamiento a saber: ‘Ibicuy INTA-CIEF’ ≥ ‘Los Arroyos INTA-CIEF’ ≥ ‘Lezama INTA-CIEF’ ≥ ‘Yaguareté INTA-CIEF’, lo

CLON	Origen	Crecimiento (*)	Forma del árbol (**)	Tolerancia al anegamiento (***)	Madera BI: blancura DB: densidad básica, al 12% de humedad, ( t/m3) BI: alta; DB: 0.405
<b>Agronales INTA-CIEF</b>	<i>Salix matsudana</i> x <i>S.alba</i>	Rápido, con alto vigor inicial.	5	Baja tolerancia a inundaciones críticas, con anegamiento prolongado (≥ 3 meses).	√ Apto para papel para la industria del papel para diarios (similar a híbridos de uso actual). √ Aserrado: apta.
<b>Los Arroyos INTA-CIEF</b>	<i>Salix matsudana</i> x <i>S.alba</i>	Rápido, con alto vigor inicial.	3/4	Alta tolerancia al anegamiento prolongado.	<b>BI:</b> alta; <b>DB:</b> 0,364 √ Excelente aptitud para papel para diarios: semejante a Soveny Americano. √ Aserrado: apta.
<b>Géminis INTA-CIEF</b>	<i>Salix matsudana</i> Polinización <i>abieta</i>	Rápido, luego de los 4 años.	3/4	Baja tolerancia a inundaciones críticas, con anegamiento prolongado (≥ 3 meses).	<b>BI:</b> media; <b>DB:</b> 0,408 √ Excelente aptitud para papel para diarios: semejante a Soveny Americano. √ Aserrado: apta.
<b>Ibicuy INTA-CIEF</b>	<i>Salix nigra</i> Polinización <i>abieta</i>	Rápido, con alto vigor inicial	4	Excelente tolerancia a anegamiento prolongado.	<b>BI:</b> media; <b>DB:</b> 0,427 √ Aserrado: apta. √ No apto para papel para diarios, según pruebas de laboratorio de Papel Prensa S.A.
<b>Lezama INTA-CIEF</b>	<i>Salix matsudana</i> x <i>S. nigra</i>	Rápido, con alto vigor inicial	5	Alta tolerancia a anegamiento prolongado.	<b>BI:</b> alta ; <b>DB:</b> 0,353 √ Excelente para papel para diarios semejante a Soveny Americano. √ Aserrado: apta.
<b>Yaguareté INTA-CIEF</b>	<i>Salix alba</i> Polinización <i>abieta</i>	Rápido, luego de los 4 años.	4 Ramas finas Desrame natural en árbol adulto.	Alta tolerancia a anegamiento prolongado.	<b>BI:</b> media; <b>DB:</b> 0,436 √ Excelente para papel para diarios semejante a Soveny Americano. √ Aserrado: apta.

(\*) **Crecimiento rápido:** similares o superiores, a los clones difundidos: Barrett 13-44 INTA y Ragonese 131-27 INTA y Soveny Americano.

(\*\*) **Calidad del fuste:** de: grado 0 = torcido, abundantes tramas y bifurcaciones a **grado 5** = recto, cilíndrico, alto desrame natural.

(\*\*\*) **Tolerancia al anegamiento:** sobre la base de supervivencia de plantas de más de 2 años, constatada luego de inundaciones severas y prolongadas (acaecidas en el delta entrerriano y norte del d. bonaerense, entre 11/ 2009 a 05/2010).

**Sanidad:** tolerancia a enfermedades foliares (*Marssonina salicicola*, *Cercospora spp* y *Melampsora*) – Sin síntomas de enfermedades de corteza.

**Propiedades técnicas de la madera:** evaluaciones realizadas por el Laboratorio Central, Papel Prensa S.A., San Pedro.

**Experiencias empíricas de aserrado/ debobinado:** colaboración de Sr. Ricardo Schincariol, Sr. Sergio Schincariol, Sr. Luis Kirpach (Aserradero “Don Gerardo”); Sr. Miguel Wronsky y Sr. Sergio Sturla (Establecimiento Forestal “Las Carabelas”, PPSA)

**Tabla 5.** Caracterización de los clones mejorados seleccionados e inscriptos.

cual posibilita efectuar recomendaciones regionales de acuerdo al riesgo de inundaciones, con material adaptado y con buenas características de crecimiento, forma y aptitud de la madera. A su vez es importante destacar que, si bien la obtención de clones mejorados es un aporte importante, su impacto productivo dependerá de que se realice un correcto manejo del agua y se apliquen prácticas silvícolas adecuadas. Podrá arribarse a una cuantificación más ajustada, en términos de rendimiento productivo final cuando se disponga de datos provenientes de plantaciones monoclonales en áreas más amplias que las que ocupan los ensayos. Sin embargo, la información proporcionada por los ensayos genéticos ya brinda una clara definición sobre rendimientos superiores a los clones más plantados hasta la actualidad.

Focalizando a corto-mediano plazo, el proceso de mejora aquí desarrollado prosigue con la evaluación del germoplasma experimental producto del mismo programa, posibilitando nuevos aportes de clones al mercado. En este sentido, en 2015 se ha completado el descriptor de un nuevo clon, con origen en el cruzamiento controlado de *Salix matsudana* x *Salix alba* realizado en 1998, que próximamente será remitido al INASE para su inscripción.

Sobre la base de los criterios de selección considerados integralmente, se presenta en la Tabla 5 una caracterización simplificada de los clones (Cerrillo, 2014 (13)).

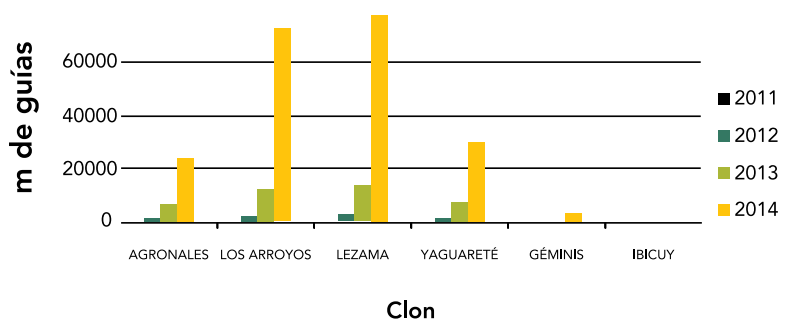
A fin de contribuir a la difusión de los nuevos clones seleccionados y propender a una rápida adopción de los mismos, se implementó una estrategia de propagación (Cerrillo *et al.*, 2014 (22)) a través de un Convenio de Multiplicación suscrito entre el Grupo Viveristas del Delta y la Asociación Cooperadora de la E.E.A. Delta del Paraná en junio de 2014 (Figura 14). El mismo se articuló con los Proyectos Regionales con Enfoque Territorial (PRETs) de la E.E.A. Delta del Paraná. En ese año se transfirió material al Vivero de la Asociación Cooperadora de la E.E.A. Delta del Paraná.

Esta metodología de trabajo permitió lograr:

- ◆ El primer incremento “en escala” de los nuevos genotipos mejorados (Figura 15).
- ◆ La mejora económica de pequeños viveristas al tener un material nuevo para la venta.
- ◆ Una más rápida disponibilidad de material mejorado para plantación.



**Figura 14.** Difusión de nuevos clones de sauce entre productores del Grupo de Cambio Rural Viveristas del Delta.



**Figura 15.** Evolución en la disponibilidad de material de propagación, aplicándose una estrategia de transferencia a pequeños viveristas en el delta del Paraná.

- ◆ El estatus de material calificado, según normas legales (INASE).

Finalmente a partir del 2010 se inició la instalación de una serie de ensayos en Patagonia que si bien no presentan resultados definitivos debido a la edad de los mismos y deben continuar evaluándose hasta obtener resultados concluyentes, indican la adaptabilidad y el potencial del sauce en esta región, tanto para la producción de madera destinada a usos sólidos como para la conformación de barreras rompevientos, destacándose por su performance general los clones ‘Los Arroyos INTA-CIEF’ y una serie de genotipos experimentales, entre ellos: “94.08.43”, “94.13.06”, “96.12.01” y “98.07.71” (Amico y Cerrillo, 2014 (2); Thomas y Cerrillo, 2014 (91)).

#### Desarrollo de herramientas biotecnológicas integradas al programa.

Utilizando la metodología descrita para álamo se logró identificar, utilizando los *primers* PMGC 2017 y PMGC 2020, todos los clones

de sauce inscriptos en el Registro Nacional de Cultivares.

Se desarrolló además una metodología que posibilita extraer ADN a partir del *cambium* de la madera permitiendo la identificación mediante marcadores moleculares de los troncos al ingreso a una planta industrial. Este desarrollo tuvo por finalidad contar con una metodología que les permita detectar si un cargamento que entra a la planta industrial de papel corresponde al sauce 'Soveny Americano', preferido por su calidad para ese uso. Papel Prensa S.A. paga en la actualidad el 10% más a cargamentos de madera de ese clon que entran al proceso de elaboración. Como referencia, cabe destacar que el 22 % de los cargamentos muestreados poseía al menos un árbol con perfil genético distinto al de sauce americano. La metodología desarrollada se lleva a la práctica en el marco de un servicio que presta el IGEAF de INTA a Papel Prensa S.A., a través del análisis molecular de muestras tomadas en la entrada de la planta industrial (Nosedá *et al.*, 2013 (86)).

Más allá de la aplicación para este clon en particular, la metodología de este trabajo servirá para desarrollar la identificación de nuevos clones mejorados que están comenzando a ser plantados.

A través de ensayos controlados llevadas a cabo articuladamente por los equipos del INFIVE-CONICET-Universidad de la Plata y de la Cátedra de Dasonomía de la FAUBA se estudió el comportamiento de los clones de sauce frente a la alternancia de períodos de exceso hídrico y de sequía, y a diferentes condiciones de anegamiento respectivamente. En ambos casos se evaluaron parámetros morfológicos y fisiológicos con el objetivo de correlacionarlos con la tolerancia a las distintas condiciones de estrés y generar información para desarrollar criterios tempranos de selección. Un detalle de estos ensayos puede verse en Lúquez (2013) y Caccia y colaboradores (2014 (4)).

Las respuestas favorables de crecimiento, morfológicas y funcionales que en las evaluaciones han mostrado los clones 'Lezama INTA-CIEF' y 'Yaguareté INTA-CIEF', frente al testigo comercial 'Barrett 13-44 INTA', señalan alta tolerancia al anegamiento por parte de ambos. Asimismo, el clon 'Yaguareté INTA-CIEF' mostró mayor capacidad de recuperación que el testigo al exponerse a la alternancia de exceso hídrico y sequía, mostrando un reinicio más rápido

del crecimiento en altura durante el intervalo de recuperación; no así el 13-44. Estos resultados reafirman la característica de adaptabilidad de eso dos nuevos clones a fenómenos críticos de inundación; aspecto que, como se discutió anteriormente, pudo constatarse en un caso de inundación. Por otra parte, los resultados aportan elementos que contribuirán al desarrollo de metodologías tempranas de selección.

## Convenios y consultorias

- ◆ Convenio de Investigación y Desarrollo. INTA- Papel Prensa S.A.I.C.F. y M.  
Título: Obtención de nuevos clones de sauce para el Delta del Paraná.  
Responsables: Ing. Agr. T. Cerrillo, Ing. Agr. (M. Sc.) D. Ceballos
- ◆ Convenio de Investigación y Desarrollo. INTA – GRUPO DE CONSULTA MUTUARIO CARABELAS  
Título: Difusión de Clones de Álamo.  
Responsables: Ing. Agr. (M. Sc.) S. Cortizo, Ing. Agr. (M. Sc.) D. Ceballos.
- ◆ Convenio de Cooperación Científica. INTA – INFIVE (FCAYF-CONICET)  
Título: Factores de estrés bióticos y abióticos que limitan la productividad del álamo (*Populus spp*) en el Delta del Paraná.  
Responsables: Ing. Ftal. J. Alvarez, Ing. Agr. (M. Sc.) S. Cortizo.
- ◆ Convenio de Cooperación Científica INTA – INASE- MAGyP  
Título: Proyecto de fortalecimiento del sistema de fiscalización de material de propagación forestal mediante el uso de técnicas moleculares.  
Responsables del Módulo Salicáceas: Ing. Agr. (M. Sc.) S. Cortizo.
- ◆ Convenio de Cooperación Técnica Asociación Cooperadora E.E.A. Delta – Viveristas del Delta  
Título: Multiplicación de clones de sauce.  
Responsables del Módulo Salicáceas: Ing. Agr. (M. Sc.) Jorge Álvarez.

## Publicaciones

1. Alvarez, J.; Gyenge, J.; Graciano, C.; Cortizo, S. 2011. Estrés hídrico por exceso y déficit en dos clones de álamo ampliamente difundidos en el Delta del Paraná. En: V Reunión GEMFO. López, J.A.; Pathauer, P.S. Cappa, E.P. (eds.). 1ª ed. CABA. Ediciones INTA. Buenos Aires. Argentina: 29.
2. Amico, I.; Cerrillo, T. 2014. Evaluación preliminar de nuevos clones de sauce en la región cordillerana de la provincia de Chubut. IV Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina. La Plata: 6 pp.
3. Braccini, C.; Cerrillo, T.; Martínez, R.; Chludil, H.; Leicach, S.; Fernandez, P. 2010. Host selection in the willow sawfly *Nematus oligospilus* and secondary metabolites in *Salix spp.* Congreso de Ecofisiología. Colonia, Uruguay. Octubre de 2010.
4. Caccia, F.; Guarnaschelli, A.; Spinardi, J.; Vincent, P.; Garau, A.; Fernández Tscheider, E.; Cerrillo, T. 2014. Evaluación de algunas respuestas de un nuevo clon de sauce a estrés por inundación. IV Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina. La Plata: 8 pp.
5. Casabón, E.; Cerrillo, T.; Madoz, G. 2015. Instalación de sistemas silvopastoriles en el delta del Paraná: comportamiento de guías de sauce como material de propagación. 3º Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles: VII Congreso Internacional Sistemas Agroforestales. Peri, P.L. 1a ed. Santa Cruz: Ediciones INTA, 2015: 138-141.
6. Cerrillo, T. 2010. El Mejoramiento Genético - Una herramienta en búsqueda de aportes tecnológicos para incrementar la productividad del sauce, en función de la capacidad forestal, la adaptabilidad y el potencial tecnológico de su madera. Actas de la Jornada Técnica sobre el Sauce. . E.E.A. Delta del Paraná. 22 de julio de 2010.
7. Cerrillo, T. 2011. Avances en el mejoramiento genético del sauce (*Salix spp*) con fines de aprovechamiento maderero en Argentina. Tercer Congreso Internacional de las Salicáceas en Argentina. Neuquén. Argentina: 10 pp.
8. Cerrillo, T. 2011. Avances sobre tolerancia a períodos prolongados de inundación y aptitud tecnológica de la madera. Jornada Técnica sobre el Sauce en el Delta Entrerriano. I. del Ibicuy, noviembre de 2011.
9. Cerrillo, T. 2011. Mejoramiento genético del sauce. Estado actual. Actas V Reunión GEMFO. López J.A.; Pathauer P.S.; Cappa E.P. (eds.). 1a ed. CABA. Ediciones INTA. Buenos Aires. Argentina: 23.
10. Cerrillo, T. 2012. Advances on the willow breeding program in Argentina. 24ª Reunión de la Comisión Internacional del Álamo, Dehradun, India.
11. Cerrillo, T. 2014. ¿Qué plantar? Nuevos clones de sauces. Realidades y esperanza para el Bajo Delta. Periódico Actualidad Isleña. Cooperativa de Consumo Forestal y Servicios Públicos del Delta Ltda. Año 7- N° 26. Julio de 2014.
12. Cerrillo, T. 2014. Avances del Programa de Mejoramiento del Sauce (*Salix spp.*) en los últimos tres años. En: VI Reunión GEMFO. J. A. López; S. Cortizo (ed.) - 1a ed. - CABA : Ediciones INTA, 2014: 28-31.
13. Cerrillo, T. 2014. Selección de seis nuevos clones de sauce (*Salix spp.*) para el Delta del Paraná. IV Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina - Jornadas de Salicáceas. La Plata: 12 pp.
14. Cerrillo, T. 2014. Mejoramiento Genético del Sauce. Nuevos clones seleccionados para la foresto-industria del Delta. Informe para extensión. E.E.A. Delta del Paraná INTA. ISSN 1414-3902.
15. Cerrillo, T. 2015. Investigación aplicada para mejorar la disponibilidad clonal de sauces y mimbres en Argentina. Una experiencia con inclusión del pequeño productor. Simposio Internacional sobre Biotecnología Forestal para la Agricultura Familiar. Foz do Iguazú, Brasil.
16. Cerrillo, T., Doffo, G., Rodríguez, M.E., Olguín, F., Achinelli, F.; Luquez, V. 2014. Tolerancia al anegamiento prolongado de una amplia gama de genotipos mejorados de sauce (*Salix spp.*). IV Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina. La Plata: 10 pp.
17. Cerrillo, T.; Álvarez, J.; Ortiz, S. 2011. Material genético de mimbres en el Delta del Paraná: relevamiento de clones comerciales y exploración de potenciales individuos de aplicación productiva. Tercer Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina. Neuquén: 10 pp.
18. Cerrillo, T.; Braccini, C; Martínez, R.; Chludil, H; Leicach, S. y P. Fernandez. 2011. Susceptibilidad de distintos genotipos experimentales de *Salix spp.* a la avispa sierra *Nematus oligospilus* - Evaluación de daños a campo y estudios de preferencia en laboratorio. Tercer Congreso Internacional de salicáceas en Argentina. Neuquén: 8 pp.
19. Cerrillo, T.; Doffo G.; Rodríguez, M.E.; Achinelli F.; Luquez, V. 2013. Do greenhouse experiments predict willow responses to long term flooding events in the field? BOSQUE 34(1):71-79. DOI: 10.4067/SO717-9220020130000100009
20. Cerrillo, T.; Doffo G.; Rodríguez, M.E.; Achinelli F.; Luquez, V. 2013. Tolerancia al anegamiento prolongado de sauces (*Salix spp.*) mejorados - Evaluaciones a campo y en invernáculo. IV Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano- AFoA-INTA-FAO. Iguazú, Misiones, Argentina.
21. Cerrillo, T.; Doffo, G.; Rodríguez, M.E.; Olguín, F.; Achinelli, F.; Luquez, V. 2014. Flooding tolerance in willows (*Salix spp.*) germplasm for the Paraná River Delta, Argentina: evaluation in the field and the greenhouse. Sixth International Poplar Symposium, Vancouver, British Columbia, Canada.
22. Cerrillo, T.; Dubra, E.; Olemberg, D.; Mangeri, V.; Álvarez, J.L.; Mujica, G.; Álvarez, R. y S. Ortiz. 2014. Una estrategia participativa para la transferencia y propagación de nuevos clones de sauce obtenidos por Mejoramiento Genético. IV Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina. La Plata: 10 pp.
23. Cerrillo, T.; Grande, J.; Vaschetto, J.; Bratovich, R.; Mujica, G.; García Conde, J.; Monteoliva, S. 2012. Wood evaluation of willows for paper industry. 24ª Reunión de la Comisión Interna-



- cional del Álamo, Dehradun, India.
24. Cerrillo, T.; Monteoliva. 2012. Evaluation of wood characteristics in the first phase of selection of a willow (*Salix spp*) breeding program in Argentina. Conferencia IUFRO, Lisboa, Portugal.
  25. Cerrillo, T.; Monteverde, S. 2011. Selección de progenies de sauces Actas V Reunión GEMFO. López, J.A.; Pathauer, P.S.; Cappa, E.P. (eds.) 1a ed. CABA. Ediciones INTA. Buenos Aires. Argentina: 1a ed. CABA. Ediciones INTA. Buenos Aires. Argentina: 24.
  26. Cerrillo, T.; Monteverde, S.; Ortiz, S. 2013. Nuevos clones mejorados de sauce (*Salix spp*). IV Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano- AFoA-INTA-FAO. Iguazú, Misiones, Argentina.
  27. Cerrillo, T.; Rodríguez, M.E; Achinelli, F; Doffo, G.; y Luquez, V. 2011. Tolerancia a períodos prolongados de inundación de genotipos experimentales de sauce. Actas V Reunión GEMFO. López, J.A.; Pathauer, P.S.; Cappa, E.P. (eds.) 1a ed. CABA. Ediciones INTA. Buenos Aires. Argentina: 26.
  28. Cerrillo, T.; Russo, F.; Morales, D.; Achinelli, F. 2014. Evaluación preliminar de sauces (*Salix spp.*) experimentales en sitios bajos próximos al Río Arrecifes, Baradero, Buenos Aires. IV Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina. La Plata: 8 pp.
  29. Cerrillo, T.; Thomas, E. 2012. Comparative growth of willow clones in North Patagonia, Argentina – preliminary results. 24ª Reunión de la Comisión Internacional del Álamo, Dehradun, India.
  30. Cerrillo, T.; Villaverde, R.; Avogadro, E.; Salleses, L.; Pathauer, P.; Álvarez, J.A.; Diez, J. 2014. Respuesta a temprana edad de nuevos genotipos de *Salix spp* ante estrés abiótico en un “bajo dulce” de Chascomús, provincia de Buenos Aires. IV Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina. La Plata: 8 pp.
  31. Cerrillo, T; Braccini, C; Chludil, H; Martínez, R; Leicach, S.; Fernandez, P. 2011. Susceptibilidad de sauces experimentales a avispa sierra (*Nematus oligospilus*)- Evaluación de daños a campo y estudios preliminares de preferencia en laboratorio. Actas V Reunión GEMFO. López, J. A.; Pathauer, P. S.; Cappa, E.P. (eds.) 1a ed. CABA. Ediciones INTA. Buenos Aires. Argentina
  32. Cerrillo, T; Rodríguez, ME; Achinelli, F; Doffo, G.; Luquez, V. 2011. Respuestas a la inundación de clones comerciales y experimentales de sauces (*Salix spp.*). Tercer Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina, Neuquen: 3 pp.
  33. Cortizo, S. 2011. Mejoramiento genético del álamo, una ciencia en apoyo a la producción forestal sostenible. Tercer Congreso Internacional de las Salicáceas en Argentina. Neuquén. Argentina: 14 pp.
  34. Cortizo, S. 2011. Red de ensayos de álamo de la E.E.A. Delta del Paraná. Ensayo de 16 clones de álamo instalado en 1997. 6 pp.
  35. Cortizo, S. 2012. Effect of Poplar Rust on Basic Wood Density. Proceedings of the IUFRO Division 5 Congress 2012. Lisboa. Portugal: 196-197.
  36. Cortizo, S. 2012. Mejoramiento genético del álamo. Informe técnico: 6 pp.
  37. Cortizo, S. 2014. Efecto de la roya del álamo sobre el crecimiento del año y del rebrote de la siguiente temporada en tres clones con distinta susceptibilidad y arquitectura del canopeo. Tesis de Maestría. FA-UBA: 173 pp.
  38. Cortizo, S. y Monteverde, S. 2011. Programa de obtención de clones mejorados de álamo para el Delta del Paraná. Actas V Reunión GEMFO. Actas V Reunión GEMFO. López, J. A.; Pathauer, P. S.; Cappa, E.P. (eds.) 1a ed. CABA. Ediciones INTA. Buenos Aires: 31.
  39. Cortizo, S.; Abbiati, N.; Graciano, C.; Guiamet, J. J. 2010. Poplar rust effects on yield in intensive systems of production. Fifth International Poplar Symposium. Orvieto. Italia.
  40. Cortizo, S.; Abbiati, N.; Graciano, C.; Guiamet, J. J. 2014. Rust effect on light interception depends on canopy structure. International Poplar Symposium VI. Vancouver, Canadá.
  41. Cortizo, S.; Bischoff, N.; Lavignolle, P.; Moyano, J.; Claverie, J.; Sabi, M.; Wietz, M.; Vicario A.; Pagano, E.; Álvarez, R.; Mujica, G. 2014. Estrategia técnico-política en el desarrollo de la cadena de valor de Salicáceas. IV Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina. La Plata: 19 pp.
  42. Cortizo, S.; Bozzi, J.; Graciano, C. y Guiamet, J. J. 2011. Efecto de la roya sobre el desarrollo de raíces en estaqueros de *Populus deltoides*. Tercer Congreso Internacional de las Salicáceas en Argentina. Neuquén. Argentina: 8 pp.
  43. Cortizo, S.; Garau, A. 2012. Certification of poplar nurseries in Argentina. Proceedings of the 24th Sesiones de la Comisión Internacional del Álamo Dehradun, India.
  44. Cortizo, S.; Garay, R. y Garau, A. 2011. Identificación clonal. Una herramienta clave en la certificación de viveros de álamo. Actas V Reunión GEMFO. Juan A. López, J. A.; Pathauer, P. S.; Cappa, E.P. (eds.). 1ª ed. CABA. Ediciones INTA. Buenos Aires. Argentina: 30.
  45. Cortizo, S.; Graciano, C.; Abbiati N.; Guiamet J.J. 2013. Análisis de los factores que conducen a la reducción de crecimiento en álamos afectados por roya utilizando como modelo un clon altamente susceptible. Actas de las Primeras Jornadas Argentinas de Sanidad Forestal. Bariloche. Argentina.
  46. Cortizo, S.; Mema, V. 2013. Identification of rust species present in the Lower Paraná River Delta using urediniospore appearance and SSR markers. III Congreso Latinoamericano de IUFRO. San José, Costa Rica.
  47. Cortizo, S.; Monteverde, S. 2011. Nuevos genotipos para diversificar las plantaciones de álamo del Delta del Paraná. Resultados de un ensayo comparativo clonal. Tercer Congreso Internacional de las Salicáceas en Argentina. Neuquén. Argentina: 8 pp.
  48. Cortizo, S.; Monteverde, S. 2012. Evaluación de productividad de clones destacados en un ensayo comparativo de *Populus L.* en el Delta del Paraná. Actas de las 15as Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. El Dorado. Misiones: 10 pp.
  49. Cortizo, S.; Monteverde, S. 2012. Overview of poplar breeding

- program in Argentina. Proceedings of the 24th Sesiones de la Comisión Internacional del Álamo Dehradun, India.
50. Cortizo, S.; Monteverde, S. 2012. Resultados del ensayo comparativo clonal instalado en la Quinta de José Gómez en 2000. Informe Técnico N° 42: 4 pp.
  51. Cortizo, S.; Monteverde, S. 2012. Resultados preliminares de la red de ensayos de productividad del programa de mejoramiento de álamo del INTA. Actas de las de las XXVI Jornadas Forestales de Entre Ríos: 10 pp.
  52. Cortizo, S.; Monteverde, S. 2013. Panorama actual del Programa de Mejoramiento Genético de *Populus spp.* Informe Técnico N° 43: 4 pp.
  53. Cortizo, S.; Monteverde, S. 2013. Programa de mejoramiento de álamo del INTA. Selección de genotipos en poblaciones obtenidas mediante cruzamientos controlados. AFoA: 13 pp.
  54. Cortizo, S.; Monteverde, S. 2014 Breeding of *Populus deltoides* in Argentina: selection in populations derived controlled crossing. International Poplar Symposium VI. Vancouver, Canada.
  55. Cortizo, S.; Monteverde, S. 2014. Crecimiento y calidad de madera de clones experimentales de álamo en fase avanzada de mejora. En: VI Reunión GEMFO. López, J.A.; Cortizo, S. (ed.) - 1a ed. - CABA. Ediciones INTA, 2014: 36 - 39.
  56. Cortizo, S.; Monteverde, S. 2014. Resultados de la primera medición de la red 2013. Informe Técnico N° 44: 4 pp.
  57. Cortizo, S.; Monteverde, S. 2015. Quinta de la familia Rodríguez. Resultado de las evaluaciones 2015. Informe Técnico Nro 45: 3 pp.
  58. Cortizo, S.; Monteverde, S.; Fernández Tschieder, E. 2011. Productividad de clones experimentales de la serie 82 y Carabelas INTA. Informe Técnico N°40. ISSN 1514 - 3902: 6 pp.
  59. Cortizo, S.; Monteverde, S.; Fernández Tschieder, E. 2012. Resultados preliminares del comportamiento de los clones de la serie 82 y Carabelas INTA correspondientes a parcelas instaladas en 2009 y 2010 en campos de la zona núcleo del Delta del Paraná. Informe Técnico N° 41. ISSN 1514 - 3902: 7 pp.
  60. Cortizo, S.; Monteverde, S.; Fernandez Tschieder, E.; Refort, M.; Taraborelli, C.; Keil, G.; Abbiatti, N. 2014. Características técnicas de un nuevo genotipo de álamo para su inscripción en el Registro Nacional de Variedades. IV Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina. La Plata: 10 pp.
  61. Cortizo, S.; Monteverde, S.; Refort, M.; Keil, G.; Abbiatti, N. 2015. GUAYRACÁ INTA, un nuevo clon de álamo remitido a inscripción en el Registro Nacional de Variedades. XXIX Jornadas Forestales de Entre Ríos: 5 pp.
  62. Facciotto, G.; Cerrillo, T.; Vietto, L.; Bergante, S.; Rosso, L. 2011. Producción de biomasa de diferentes combinaciones de especies de sauces. Primeras evaluaciones en Italia y en Argentina aplicables a Cultivos de Corta Rotación (CCR). Tercer Congreso Internacional de salicáceas en Argentina, Neuquén: 9 pp.
  63. Faustino, L.I.; Doffo, G.; Rodríguez, M.E.; Gortari, F.; Alvarez, J.A.; Cortizo, S.; Graciano, C. 2014. Fertilización con N y P en estaqueros de álamo y sauce en el Bajo Delta del Paraná. XXVI-II Jornadas Forestales de Entre Ríos: 10 pp.
  64. Faustino, L.I.; Rodríguez, M.E.; Gortari, F.; Doffo, G.; Alvarez, J.A.; Cortizo, S.; Graciano, C. 2014. Evaluación de los efectos de la fertilización con N y P en estaqueros de álamo en el Bajo Delta del Paraná. IV Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina: 7 pp.
  65. Garau, A.; Caccia, F.; Guarnaschelli, A. B.; Castro Conde, P.; Cortizo, S. y Mema, V. 2011. Distintos métodos de control de malezas y selección del brote dominante en plantas de sauce: respuestas preliminares de crecimiento. Tercer Congreso Internacional de las Salicáceas en Argentina. Neuquén. Argentina: 5 pp.
  66. Garau, A.; Guarnaschelli, A.; Otero, P.; Campbell, M.; Cortizo, S.; Caccia, F. 2014. Respuesta morfológica de dos clones de álamo a dos condiciones de disponibilidad hídrica e infección con roya. IV Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina. LaPlata: 8 pp.
  67. Garau, A.; Guarnaschelli, A. B.; Murphy, E.; Cortizo, S. 2010. Early effect of water restriction and weeds on *Salix matsudana* x *Salix alba* 'A 13-44' growth. Fifth International Poplar Symposium. Orvieto. Italia.
  68. Gortari, F.; Cortizo, S.; Guamet, J. J.; Graciano, C. 2014. Efecto la disponibilidad de nitrógeno sobre el impacto de la roya en la fisiología y crecimiento del álamo. IV Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina. La Plata: 8 pp.
  69. Gortari, F.; Graciano, C.; Cortizo, S.; Guamet, J.J. 2010. Disminución de la fotosíntesis en álamos infectados por roya. XXVI-II Reunión Argentina de Fisiología Vegetal. La Plata. Argentina.
  70. Grancara, N.; Riu, N.; Cortizo, S. 2011. Respuesta de clones deltoides en vivero en el Valle de Uco provincia de Mendoza, Argentina. Tercer Congreso Internacional de Salicáceas. Neuquén, Argentina: 3 pp.
  71. Guarnaschelli, A. B.; Garau, A. M.; Caccia, F. D.; Cincotta, E.; Gonzalez Otharán, P.; Cortizo, S. 2012 Drought and shade effects on morphology, physiology and growth of *Salix* clones. Proceedings of the 24th Sesiones de la Comisión Internacional del Álamo Dehradun, India.
  72. Guarnaschelli, A. B.; Garau, A. M.; Cortizo, S.; Bergamini, H.; S. Giavino. 2012 Variation in drought responses and growth of four *Populus* clones cultivated in Argentina. Proceedings of the 24th Sesiones de la Comisión Internacional del Álamo Dehradun, India.
  73. Guarnaschelli, A. B.; Garau, A. y Cortizo, S. 2011. Comportamiento de álamos frente a la sequía. Actas V Reunión GEMFO. Buenos Aires. Argentina: 28.
  74. Guarnaschelli, A. B.; Garau, A.; Cortizo, S.; Alvarez, J. y Lemcoff, J. 2011. Respuestas diferenciales a la sequía en clones de *Populus deltoides* cultivados en el Delta del Paraná. Tercer Congreso Internacional de las Salicáceas en Argentina. Neuquén. Argentina: 9 pp.
  75. Guarnaschelli, A. B.; Garau, A.; Cortizo, S.; Lemcoff, J. 2010. Differences in the ability of *Salix* clones to cope with water and light restriction. Fifth International Poplar Symposium. Orvieto.

- to. Italia.
76. Guarnaschelli, A. B.; Garau, A.; Mendoza, M.; Zivec, V.; Cortizo, S. 2010. Influence of drought conditions on morphological and physiological attributes of *Populus deltoides* clones. Fifth International Poplar Symposium. Orvieto. Italia.
  77. Guarnaschelli, A.B.; Garau, A.M.; Lorenzo, J.; Bustillo, F.; Cortizo S. 2013. Evaluación de factores asociados con la supervivencia y el crecimiento temprano de estacas de *Populus deltoides*. AFoA: 10 pp.
  78. Guarnaschelli, A.B.; Garau, A.M.; Rosas, I.; Figallo, T.; Cortizo S. 2013. Comparación del comportamiento frente a la sequía de dos clones de *Populus deltoides*. AFoA: 10 pp.
  79. Luquez, V.; Achinelli, F.; Cortizo, S. 2012. Evaluation of flooding tolerance in cuttings of *Populus* clones used for forestation at the Paraná River Delta, Argentina. Southern Forests 74(1): 61-70.
  80. Luquez, V.; Cortizo, S.; Rodriguez, M.E.; Achinelli, F.; Doffo, G. 2011. Respuestas a la inundación de clones comerciales y experimentales de álamo. Actas V Reunión GEMFO. López, J. A.; Pathauer, P. S.; Cappa, E.P. (eds.). 1a ed. CABA. Ediciones INTA. Buenos Aires. Argentina: 32.
  81. Marcucci Poltri, S.N.; Torales, S., El Mujtar, V.; Acuña, C.; Soliani, C.; Zelener, N.; Schmid, P.; Pomponio, F.; Marchelli, P.; Inza, V.; Sola, G.; Soldati, C.; Villalba, P.; Arana, V.; Bozzi, J.; García, M.N.; Azpilicueta, M.M.; Martínez, M.C.; Rivas, G.; López Lauestein, D.; Cosacov, A.; Vega, C.; Cappa, E.; Ornella, L.; Pastorino, M.; Pathauer, P.; Diez, J.; Cortizo, S.; Cerrillo, T.M.; Gauchat, M.E.; Rodriguez, G.; Fassola, H.; Pahr, N.; Surenciski, M.; Oberschelp, J.; Harrand, L.; López, J.; Fornés, L.; Verga, A.; Marcó, M.; Hopp, E.; Gallo, L. 2013. Desarrollo y aplicación de herramientas de genética molecular para resolver problemas complejos de genética forestal. AFoA: 12 pp.
  82. Mema, V.; Cortizo, S. 2011. Variabilidad genética de poblaciones de *Melampsora spp.* del Delta del Paraná. Actas V Reunión GEMFO. Buenos Aires. Argentina: 27.
  83. Monteoliva, S.; Cerrillo, T. 2013. Densidad y anatomía de la madera en familias mejoradas de sauces en Argentina. Revista Árvore 37 (6) Viçosa:1183-1191.
  84. Montero, E.; Thomas, E. 2014. Evaluación de clones de *Populus deltoides* en forestaciones con riego por goteo en la meseta de Río Negro. IV Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina: 5 pp.
  85. Monteverde, S.; Cortizo, S. 2014. Hibridaciones intra e interespecíficas: avances en la obtención de variabilidad genética del Programa de Mejoramiento de Álamo de INTA. En: VI Reunión GEMFO. López, J.A.; Cortizo, S. (ed.) - 1a ed. - CABA. Ediciones INTA, 2014: 32 - 36.
  86. Nosedá, P.; Garay, R.; De la Calle, V.; Salerno, J.C.; Lewi, D. 2013. Identificación de muestras de troncos de sauce americano mediante polimorfismos de ADN. XLII Congreso Argentino de Genética.
  87. Pagano, N.; Cerrillo, T.; Leicach, S.; Chudil, H. 2014. Estudios preliminares sobre compuestos antioxidantes en materiales clones del Programa de Mejoramiento Genético de Sauce del INTA. IV Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina. La Plata: 6 pp.
  88. Riu, N.; Settepani, V.; Cortizo, S. 2012. Different behavior clones of *Populus deltoides* in Rivadavia, Mendoza, Argentina. Proceedings of the 24th Sesiones de la Comisión Internacional del Álamo Dehradun, India.
  89. Sánchez Acosta, M.; Cerrillo, T.; Casaubón, E. 2014. Proyecto de construcción de viviendas rurales con madera de clones de Salix del INTA Delta, y de *Eucalyptus grandis*. IV Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina. La Plata: 5 pp.
  90. Settepani, V.; Riu, N. y Cortizo, S. 2011. Comportamiento de clones deltoides en vivero en la zona Este de la Provincia de Mendoza, Argentina. Tercer Congreso Internacional de Salicáceas. Neuquén, Argentina: 2 pp.
  91. Thomas, E.; Cerrillo, T. 2014. Evaluación preliminar de nuevos clones de sauce en la región Norpatagónica. IV Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina. Argentina: 6 pp.
  92. Thomas, E.; Cortizo, S. 2014. Evaluación de clones de *Populus deltoides* en el Alto Valle de Río Negro. IV Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina. La Plata, Argentina: 5 pp.
  93. Thomas, E.; Cortizo, S. 2014. Nuevos genotipos de *Populus* permitirán aumentar la disponibilidad de clones para forestar en los valles del norte de la Patagonia. IV Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina. La Plata, Argentina: 6 pp.
  94. Thomas, E.; Garcés, A. 2011. Crecimiento inicial de 13 clones de álamo en el Valle Medio del río Negro. Tercer Congreso Internacional de Salicáceas. Neuquén, Argentina: 5 pp.
  95. Thomas, E.; Garcés, A. 2014. Evaluación del crecimiento inicial de clones de álamo en el norte de la Patagonia. Rev. FCA UNCUYO. 2014. 46(1): 241-246.
  96. Thomas, E.; Garcés, A.; Cortizo, S.; Gallo, L. 2012. Evaluación de nuevos clones de álamo en la Norpatagonia. Resultados de un ensayo comparativo realizado en Valle Medio. Fruticultura & Diversificación. N° 67: 30-35.
  97. 2014. Thomas E.; Rodriguez A. Barreras rompevientos con álamos y sauces. Cartilla. Ediciones INTA Alto Valle.

## Acciones de transferencia

El grupo de trabajo ha prestado especial atención al trabajo en conjunto con el sector productivo a fin de captar sus necesidades y experiencias, mejorar la integración de los aspectos técnicos y empíricos y facilitar la transferencia de los resultados obtenidos. En este sentido se participa activamente junto a extensionistas de reuniones de grupos de Cambio Rural, Proyectos de Desarrollo Territorial y Jornadas y eventos del sector.

Tampoco se ha descuidado la comunicación de los resultados técnicos tanto a nivel nacional como internacional organizando y/o participando en reuniones científico-técnicas a nivel nacional (GEMFO, Jornadas de Salicáceas, Jornada del Sauce, Congresos AFoA, etc.) e internacional (Simposio del Álamo, Comisión Inter-

nacional del Álamo, entre otros).

Se participa activamente como referentes en comisiones tanto a nivel nacional (Comisión Nacional del Álamo, CONASE (INASE), SINAVIMO (SENASA), Consejo Local Asesor de la E.E.A. Delta del Paraná, etc.) e internacional (Grupo de Genética de la Comisión Internacional del Álamo, Grupo de Plagas y Enfermedades de la Comisión Internacional del Álamo, Grupo de trabajo 2.08.04: *Poplar & Willow* FAO, etc.).

A continuación se detallan las acciones más relevantes del período.

### Organización de congresos, jornadas y talleres

- ♦ Jornada Técnica Empleo de madera para usos sólidos y estructurales con valor agregado. Organizador. Campana. 27 de marzo de 2015.
- ♦ VI Reunión GEMFO. Organizador. Campana. 8 al 10 de abril de 2014.
- ♦ IV Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina. Comité Organizador. La Plata, 18 al 21 de marzo de 2014.
- ♦ PRODELTA 2012. Comité de organización. E.E.A. Delta, 10 de Abril de 2012.
- ♦ Jornada Técnica sobre el Sauce en el delta entrerriano. Organizador. Villa Paranacito. 30 de noviembre de 2011.
- ♦ INTA Expone 2011: Organización de stand. Marcos Juárez, Córdoba. 15 al 17 abril de 2011.
- ♦ III Congreso Internacional de Salicáceas en Argentina. Comité de organización. Neuquén. 16 al 18 de Marzo de 2011.

### Participación en el dictado de cursos, seminarios, talleres y capacitaciones

- ♦ Monteverde, S. 1. El Cultivo del álamo: generalidades y avances en Argentina; y Programa de Mejoramiento Genético de Especies Forestales introducidas para usos de alto valor en Argentina. Subprograma Salicáceas - INTA. Primeras Jornadas Internacionales del Cultivo del Álamo y la Thola. Oruro, Bolivia. Julio 2015.
- ♦ Cortizo, S. Estrategias de mejoramiento genético en Salicáceas. Dentro del curso de posgrado “Estrategias de Mejoramiento Genético de Especies Forestales”, dictado por el Dr. Nuno Borralho (Portugal). Montecarlo, Misiones. Mayo de 2015.
- ♦ Cerrillo, T. Charla sobre nuevos clones de sauce para alumnos de Escuela Agrotécnica Nro 2. Islas de Campana. En E.E.A. Delta. Marzo de 2015.
- ♦ Cortizo, S. Encuentro taller del Proyecto Nacional de Mejoramiento Genético Forestal del Programa Nacional Forestal de INTA y el Área de Extensión de la Dirección de Producción Forestal del MinAgri. Concordia. Marzo de 2015.
- ♦ Cortizo, S. Introducción del mejoramiento genético y del cultivo de Salicáceas. INFOR Coyhaique. Chile. Octubre de 2014.
- ♦ Cortizo, S. Plagas y enfermedades de álamos, identificación y descripción. Taller de capacitación profesional sobre el cultivo de Álamo. INFOR Coyhaique. Chile. Octubre de 2014.
- ♦ Cortizo, S. 2014. Identificación de álamos: métodos, normas

UPOV y sistemas de certificación en Argentina. INFOR Coyhaique. Chile.

- ♦ Monteverde, S. Programa de mejoramiento genético de álamo de INTA. Visita de estudiantes de la carrera de “Licenciatura en Ciencias Ambientales” de la Universidad de Buenos Aires. Noviembre 2014.
- ♦ Monteverde, S. Programa de mejoramiento genético de álamo para obtener nuevos clones comerciales con madera para usos sólidos y el estado actual del mismo. Exposición a pasantes de la Dirección de Producción Forestal del MinAgri en la E.E.A. Delta. Agosto 2014.
- ♦ Monteverde, S. Mejoramiento Genético de especies forestales introducidas para usos de alto valor en Argentina - Subprograma Salicáceas. Seminario orientado a profesores, investigadores y estudiantes de posgrado de la Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias de Palencia, Universidad de Valladolid, España. Mayo 2014.
- ♦ Cortizo, S. Mejoramiento genético de Salicáceas para usos de alto valor. Facultad de Agronomía. UBA. Septiembre de 2013
- ♦ Cortizo, S. “Mejoramiento genético Forestal”. Clase dentro del curso de “Mejoramiento genético vegetal avanzado”. Ciclo de Intensificación. Facultad de Agronomía. UBA. Agosto de 2013.
- ♦ Cortizo, S. “Mejoramiento de Salicáceas”. Facultad de Agronomía. UBA. Julio de 2013
- ♦ Cortizo, S. “Certificación de viveros”. Clase dentro del curso de “Implantación de especies forestales: aspectos eco-fisiológicos”. Ciclo de Intensificación. Facultad de Agronomía. UBA. Mayo de 2013.
- ♦ Cerrillo, T. y Monteverde, S. Día a campo y charla: “Consideraciones sobre los Programas de Mejoramiento de Álamo y Sauce”. Visita de docentes y alumnos de la Carrera de Agronomía de la Universidad Nacional de Luján. Noviembre de 2012.
- ♦ Monteverde, S. Programa de mejoramiento genético de álamo de INTA. Visita de estudiantes de la carrera de “Ingeniería Agronómica” de la Universidad de Buenos Aires. Septiembre de 2012.
- ♦ Cortizo, S. “Implantación de especies forestales”, clase dentro del curso de “Implantación de especies forestales”. Ciclo de intensificación para optar al título de Ing. Agr. en la FAUBA. Junio de 2012.
- ♦ Monteverde, S. Protocolo del programa de cruzamientos controlados de álamo, observación de las sucesivas etapas dentro del invernáculo y de los individuos obtenidos de los cruzamientos correspondientes al año 2011. Visita de estudiantes de la carrera de Ingeniería Forestal de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Misiones. Febrero de 2012.
- ♦ Cerrillo, T.; Cortizo, S. y Monteverde, S. Aspectos generales del Programa de Mejoramiento de Salicáceas y jornada a campo durante la visita del Banco Mundial a la E.E.A. Delta del Paraná. Abril de 2012.
- ♦ Cortizo, S. “Implantación de especies forestales”, clase y visita a campo dentro del curso de “Implantación de especies foresta-

les”. Ciclo de intensificación para optar al título de Ing. Agr. en la FAUBA. Noviembre de 2011.

- ◆ Cerrillo, T.; Cortizo, S. Día a campo y charla: “Avances en los Programas de Mejoramiento de Álamo y Sauce”. Visita de docentes y alumnos de la Carrera de Agronomía de la Universidad Nacional de Luján. Noviembre de 2011.
- ◆ Cortizo, S. Se recibió la visita de los alumnos de la cursada de la materia Dasonomía de la Universidad Nacional de La Plata. Noviembre de 2011.
- ◆ Cerrillo, T.; Cortizo, S. Día a campo y charla: “Avances en los Programas de Mejoramiento de Álamo y Sauce”. Visita de docentes y alumnos de la Carrera de Agronomía de la Universidad Nacional de Luján. Noviembre de 2010.

### Reuniones de difusión y transferencia con productores y empresas

- ◆ Monteverde, S. Reunión con jornada a campo del Grupo de Cambio Rural “Grupo Carabelas” en quinta de la Familia Tartaglino. Junio de 2015.
- ◆ Cortizo, S.; Monteverde, S. Reunión con jornada a campo de Grupo de Cambio Rural “Grupo Carabelas” en quinta de la Familia Rodríguez. Abril de 2015.
- ◆ Thomas, E. Jornada “Producción de alfalfa y madera de álamos y sauces”. San Patricio del Chañar. Mayo de 2015.
- ◆ Thomas, E. Jornada “Producción de alfalfa y madera de álamos y sauces”. C.P.I.A., Gral. Roca. Julio de 2015.
- ◆ Cerrillo, T. Reunión con jornada a campo de Grupo de Cambio Rural “Los Arroyos Delta” en quinta del Sr. Santiago Díaz. Diciembre de 2014.
- ◆ Cerrillo, T. Reunión con jornadas a campo de Grupo de Cambio Rural “Los Arroyos Delta” en quinta del Sr. Angel Suetta. Diciembre de 2014.
- ◆ Cerrillo, T. Reunión en Establecimiento forestal “Victoria”, Islas del Ibicuy, Entre Ríos; con técnicos del equipo forestal de APSA regional Delta, sobre aspectos de la selección clonal de sauces y características de los nuevos sauces mejorados. Agosto de 2014.
- ◆ Cerrillo, T. Charla a miembros del Grupo de Cambio Rural “Viveristas del Delta”, sobre características forestales y tecnológicas de clones en etapa avanzada de selección. AER Tigre. Agosto de 2014.
- ◆ Monteverde, S. Reunión con jornada a campo de Grupo de Cambio Rural “Grupo Carabelas” en quinta de la Familia López. Julio de 2014.
- ◆ Cerrillo, T.; Cortizo, S. y Monteverde, S. Jornada de trabajo de profesionales de la E.E.A. Delta del Paraná, integrantes de PEs del Programa Nacional Forestal de INTA, con José Antonio Bonnet Lledós, Profesor Lector de Producción Vegetal y Ciencia Forestal de la Universidad de Lleida, España. Julio de 2014.
- ◆ Cerrillo, T. Reunión con jornada a campo de Grupo de Cambio Rural “Viveristas del Delta” en quinta del Sr. Víctor Baracco, sobre nuevos clones de sauce seleccionados. Junio de 2014.
- ◆ Cerrillo, T. Reunión con jornada a campo de Grupo de Cambio Rural “Los Arroyos Delta” en quinta del Sr. Oscar Leverone.

Mayo de 2014.

- ◆ Thomas, E. Exposición de los avances en las líneas de investigación Evaluación de pasturas en sistemas silvopastoriles y Evaluación de clones de álamos y sauces. Mesa Forestal Regional, E.E.A. Alto Valle, 10 de julio de 2014.
- ◆ Thomas, E. Jornada de campo con alumnos de la asignatura Cultivos especiales, Módulo Cultivo de Salicáceas, de la carrera Ingeniería Agronómica de la Universidad Nacional del Comahue. J.J.Gomez, 01 de agosto de 2014.
- ◆ Thomas, E. Jornada de campo con alumnos de la asignatura Dasonomía, de la carrera Ingeniería Agronómica de la Universidad Nacional del Comahue. J.J.Gomez. Octubre de 2014.
- ◆ Thomas, E. Presentación del folleto “Barreras rompevientos con álamos y sauces” y de la “Evaluación del efecto protector de cortinas rompeviento sobre el rameado en peras Williams” en Moño Azul S.A. Guerrico, 20 de noviembre de 2014.
- ◆ Cortizo, S.; Monteverde, S. Reunión Técnica sobre el cultivo de salicáceas en la Cuenca del Salado junto con los técnicos del MinAgri. Castelli, Buenos Aires. Diciembre de 2013.
- ◆ Cortizo, S.; Monteverde, S. Reunión del Reunión con jornada a campo de Grupo de Cambio Rural “Grupo Carabelas” en el campo de la familia Gomes. Diciembre de 2013.
- ◆ Thomas, E. Exposición de los resultados de la línea de investigación Evaluación de clones de álamos y sauces. Mesa Forestal Regional, E.E.A. Alto Valle. Noviembre de 2013.
- ◆ Cerrillo, T. Reunión con jornada a campo de Grupo de Cambio Rural “Viveristas del Delta” en quinta del Sr. Ricardo Schinca-riol. Octubre de 2013.
- ◆ Monteverde, S. Etapas que involucra el Programa de Mejoramiento Genético de álamo para obtener nuevos clones comerciales con madera para usos sólidos, y visita al invernáculo, con los pasantes de la Dirección de Producción Forestal, pertenecientes a la Universidad Nacional del Comahue. Agosto 2013.
- ◆ Cortizo, S.; Monteverde, S. Reunión del Reunión con jornada a campo de Grupo de Cambio Rural “Grupo Carabelas” en la E.E.A. Delta del Paraná. Junio de 2013.
- ◆ Thomas, E. Jornada de campo con alumnos de la carrera Ingeniería Agronómica de la Universidad Nacional de Lujan. J.J. Gómez. Junio de 2013.
- ◆ Cortizo, S.; Monteverde, S. Jornada con visita al campo experimental con los Grupos de Cambio Rural “Los Arroyos” y “Viveristas del Delta”. Mayo de 2013.
- ◆ Cortizo, S.; Monteverde, S. Reunión con jornada a campo de Grupo de Cambio Rural “Grupo Carabelas” en quinta de la Familia Tartaglino. Diciembre de 2012.
- ◆ Cortizo, S. Reunión con jornada a campo de Grupo de Cambio Rural “Los Arroyos Delta”. Junio de 2012.
- ◆ Cortizo, S.; Monteverde, S. Reunión con jornada a campo de Grupo de Cambio Rural “Grupo Carabelas” en quinta de la Familia Rodríguez. Junio de 2012.
- ◆ Cortizo, S.; Monteverde, S. Reunión con jornada a campo de Grupo de Cambio Rural “Grupo Carabelas” en quinta de la Familia Branvatti. Abril de 2012.

- ◆ Thomas, E. Exposición de las líneas de investigación y extensión. Mesa Forestal Regional. E.E.A. Alto Valle. Marzo de 2012.
- ◆ Thomas, E. Jornada de campo con productores forestales de Río Colorado. Agosto de 2012.
- ◆ Thomas, E. Jornada de campo con ingenieros agrónomos de Río Colorado, interesados en conocer las actividades de esta E.E.A.. J.J. Gómez. Noviembre de 2012.
- ◆ Thomas, E., Romagnoli, S. Exposición en Neuquén Innova 2012: “Ensayo comparativo de especies forestales regado con efluentes urbanos tratados” Neuquén. Noviembre de 2012.
- ◆ Cortizo, S.; Monteverde, S. Reunión con jornada a campo de Grupo de Cambio Rural “Grupo Carabelas” en el Establecimiento CAABY. Septiembre de 2011.
- ◆ Cortizo, S.; Monteverde, S. Reunión en el aserradero de EDERRA S.A., San Fernando, Buenos Aires, con el Grupo de Cambio Rural “Grupo Carabelas”. Diciembre de 2011.

### Charlas y entrevistas en medios de difusión masivos.

- ◆ Cortizo, S. Cerrillo, T. Canal Encuentro. Programa Madera Argentina. Julio de 2015.
- ◆ Thomas, E. Entrevista en Radio ESCUELA, FM 100.3, en el micro radial “Panorama de la Comarca”. Conductora Carina Escuer. Río Colorado. Marzo de 2015.
- ◆ Cerrillo, T. Entrevista sobre resultados de la Jornada técnica “Empleo de madera para usos sólidos y estructurales con valor agregado”, en el Programa de radio “Campo y Usted” - Radio Belgrano abril de 2015.
- ◆ Cerrillo, T. Entrevista sobre nuevos clones seleccionados de sauces y organización de Jornada técnica “Empleo de madera para usos sólidos y estructurales con valor agregado”, en el Programa de radio “Campo y Usted” - Radio El Mundo febrero de 2015.
- ◆ Cerrillo, T. Nota en programa de TV: “Clones mejorados de sauce”. La Precisa, Pampero TV, INTA. 17 de Julio de 2014 <http://inta.gob.ar/videos/clones-mejorados-de-sauce/view>.
- ◆ Cerrillo, T. Entrevista sobre mejoramiento de sauces para producción de madera en el programa de Radio Delta, Tigre. 16 de julio de 2014.
- ◆ Cerrillo, T. Entrevista sobre la inscripción de nuevos clones de sauces- Programa de radio “Campo y Usted” - Radio El Mundo 5 de enero de 2014.
- ◆ Cortizo, S. Entrevista para el Panorama Forestal emitida por Argentinísima Satelital 7/7/2012.
- ◆ Cortizo, S. Mejoramiento genético del álamo y certificación de viveros. Entrevista emitida por cable durante el programa ‘Corazón del Delta’ y por Panorama Forestal de Argentinísima Satelital. Enero de 2011.

### Impactos

Las actividades realizadas durante el desarrollo del proyecto permitieron obtener los siguientes productos que impactaron positivamente en el sector productivo, académico e institucional (Cuadro 1).

## Referencias

- Alcobé, F.; García, D.; Bonomo, I.; Peirano, S.; Norverto, C.; Corinaldesi, L.; Brandan, S.; Von Haeften, C.; Irigoien, N.; Marcovecchio, J.; Di Marco, E.; Benitez, R.; Clemente, N.; Gaute, M.; Yorio M. 2015. Argentina: Plantaciones forestales y gestión sostenible. Proyecto Forestal GEF 090118, UCAR, DPF-MAGyP. 15 pp.
- Alonzo, A. 1987. Estado actual del mejoramiento de Salicáceas en la Argentina. Actas del Simposio sobre Silvicultura y Mejoramiento genético de especies forestales. Buenos Aires. CIEF. Tomo I: 157-171.
- Balatinecz, J.; Mertens, P.; De Boever, L.; Yukun, H.; Jin, J.; van Acker, J. 2014. Properties, processing and utilization. *In: Poplars and Willows: Trees for Society and the Environment*. Isebrands, J.G.; Richardson, J. (Eds.). FAO: 527-561.
- Ball, J; Carle, J and A. Del Lungo. 2005. Contribution of poplars and willows to sustainable forestry and rural development. *Unasylva* 221, Vol. 56: 3-9.
- Barker, J. H. A.; Pahlich, A.; Trybush, S.; Edwards, K. J.; Karp, A. 2003. Microsatellite markers for diverse *Salix* species. *Molecular Ecology Notes*. Volume 3, Issue 1: 4-6.
- Borodowski, E.D.; Suárez, R.O. 2004. El cultivo de álamos y sauces: su historia en el Delta del Paraná. *SAGPyA Forestal* 32: 5-13.
- Bradshaw, H.D.; Strauss, S. 2001. Breeding strategies for the 21<sup>st</sup> Century: domestication of poplar. *In: Poplar culture in North America*. Dickmann, D.I.; Isebrand, J.G.; Eckenwalde, J.E.; Richardson, J. (Eds.). NCR Research Press, National Research Council of Canada, Ottawa. Canada: 383-394.
- Brandán, S.; Corinaldesi, L.; Frisa, C. 2014. Sector Forestal. Año 2013. *MAGyP*: 43 p.
- Cerrillo, T. 1989. Programa de mejoramiento de sauces y álamos para el Delta del Paraná. Primeras Jornadas sobre Silvicultura y Mejoramiento Genético del Género *Salix*. CIEF. Buenos Aires. 20 y 21 de noviembre de 1989.
- Cerrillo, T. 2005. Sauces en el Delta. En: *Mejores Arboles para más forestadores. El Programa de Producción de Material de Propagación Mejorado y el Mejoramiento Genético en el Proyecto Forestal de Desarrollo*. Norverto, C. (Ed). *SAGPy A*: 161-175.
- Cerrillo, T. 2006. Mejoramiento genético de los sauces. Primer Congreso Internacional de las Salicáceas en Argentina. Buenos Aires. Argentina: 89-101.
- Chambers, P.G.S.; Borralho, N.M.G. 1997. Importance of survival in short-rotation tree breeding programs. *Can J For Res* 27: 911-917.
- Coronel, E.O. (1994) Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de la madera. Aspectos teóricos y prácticos para la determinación de las propiedades y sus aplicaciones. 1 Parte: Fundamentos de las propiedades físicas de la madera. Publicación ITM - UNSE. 187 pp.
- Cortizo, S. 2005. Subprograma Álamos para el Delta del Paraná. En: *Mejores Arboles para más forestadores. El Programa de Producción de Material de Propagación Mejorado y el Mejoramiento Genético en el Proyecto Forestal de Desarrollo*. Norverto, C. (Ed).

Actividad	Producto	Impacto
Colección de individuos de <i>S. humboldtiana</i>	Materiales de probada adaptación al medio	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Programas de mejora de sauce enriquecidos con genes de tolerancia y adaptación.</li> </ul>
Cruzamientos intra e interespecíficos de álamo y sauce	Poblaciones base provenientes de combinaciones intra e interespecíficas	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Programas de mejora con disponibilidad de materiales que garantiza su continuidad.</li> <li>✓ Comunidad científica con disponibilidad de materiales adecuados para la realización de estudios genéticos y fisiológicos que permiten incrementar los conocimientos y afianzar relaciones interinstitucionales.</li> </ul>
Ajuste de metodologías para la extracción y amplificación del ADN	Protocolos ajustados Microsatélites seleccionados Polimorfismos definidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Programas en condiciones de proteger sus productos tecnológicos y ampliar los estudios de variabilidad genética.</li> <li>✓ Instituciones en condiciones de certificar los materiales de propagación y garantizar las inversiones realizadas por el estado a través de la Ley 26.432</li> </ul>
Evaluación de materiales en bancos de progenie y clonales, y ensayos genéticos	Individuos y clones experimentales en distintas fases caracterizados en base a criterios de calidad <i>integral</i> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Programas de mejora con materiales caracterizados a fin de avanzar entre etapas y liberar nuevos clones.</li> <li>✓ Comunidad científica con materiales correctamente caracterizados.</li> <li>✓ Clones experimentales en etapa de multiplicación y/o inscripción que favorecerán la productividad y/o sustentabilidad de las plantaciones</li> </ul>
Caracterizar en base a los descriptores aceptados por el INASE los clones de álamos y sauces difundidos en la región y los desarrollados por los programas de mejoramiento del INTA	Materiales caracterizados e inscriptos en el Registro Nacional de Cultivares	<p>Sobre el sector productivo</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Mayor transparencia del mercado de semillas.</li> <li>✓ Viveristas capacitados para el mantenimiento de la pureza de los materiales básicos forestales</li> <li>✓ 15 clones de álamo y 11 de sauce en el RNC.</li> <li>✓ Productores capacitados en el reconocimiento de los materiales de plantación.</li> </ul> <p>Sobre el fortalecimiento institucional.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Herramienta para garantizar la inversión del estado en programas de promoción.</li> <li>✓ Capacitación del personal del INASE y de otras instituciones (INIA, INFOR) en el reconocimiento clonal.</li> <li>✓ Provisión de los materiales de referencia para el programa de certificación de viveros forestales.</li> </ul>
Organización/participación en congresos, jornadas, reuniones con productores. Publicaciones científico-técnicas. Dictados de cursos de capacitación. Generación de Convenios	Jornadas Congresos Publicaciones técnicas Libros Notas periodísticas Convenios Asistencia a otras áreas	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Mayor conocimiento de los productos y actividades del Proyecto.</li> <li>✓ Transferencia tecnológica.</li> <li>✓ Involucramiento de productores y empresas en la definición de objetivos, actividades y en la cofinanciación del proyecto.</li> <li>✓ Instituciones (CNA, CIA, Grupo de Genética y Mejoramiento de IUFRO, FAO, SENASA) fortalecidas con profesionales capacitados</li> </ul>

**Cuadro 1.** Resumen de actividades, productos e impactos generados por el proyecto.

- SAGPyA: 137-160.
- Cortizo, S.; Abiatti, N. y Mema, V. 2009. Nuevas posibilidades para ampliar la diversidad clonal de las plantaciones de álamo del Delta del Paraná. Segundo Congreso Internacional de las Salicáceas en Argentina. Mendoza: 8 pp.
- Dayanandan, S.; Rajora, O.P.; Bawa, K. S. 1998. Isolation and characterization of microsatellites in trembling aspen (*Populus tremuloides*). *Theor. Appl. Genet.* 96: 950-956.
- Dickmann, D.I. 2001. An overview of the genus *Populus*: Dickmann, D.I.; Isebrand, J.G.; Eckenwalde, J.E.; Richardson, J. (Eds.) *In: Poplar culture in North America*. NRC Research Press. National Research Council of Canada. Ottawa. Canada: 1-42.
- Dickmann, D.I. 2006. Silviculture and biology of short-rotation woody crops in temperate regions: Then and now. *Biomass & Bioenergy* 30: 696-705.
- Dickmann, D.I.; Kuzovkina, J. 2014. Poplars and Willows of the World, With Emphasis on Silviculturally Important Species. *In: Poplars and Willows: Trees for Society and the Environment*. J.G. Isebrands, J. Richardson (Eds.). FAO: 8-91.
- Dillen, S.Y.; Rood, S.B.; Ceulemans, R. 2010. Growth and Physiology. Jansson, S. *et al.* (Eds.) *In: Genetics and Genomics of Populus: Plant Genetics and Genomics: Crops and Models* 8. Springer Science: 39-63.
- FAO. 1958. Poplars in Forestry and Land Use.
- Grande, J. 2013. IIº Informe de nuevos clones experimentales de sauces. Laboratorio Central del Papel Prensa S.A. San Pedro. Julio de 2013
- Henry, A. 1914. Note on *P. generosa*. *Gardeners Chronicle*: 257-258.
- Isebrands, J.G.; Karnosky, D.F. 2001. Environmental benefits of poplar culture. *In: Poplar Culture in North America*. Dickmann, D.I.; Isebrands, J.G.; Eckenwalder, J.E.; Richardson, J. (Eds.). NRC Research Press, Ottawa, Canada: 207-218.
- Isebrands, J.G.; Richardson, J. 2014. Introduction. *In: Poplars and Willows: Trees for Society and the Environment*. Isebrands, J.G.; Richardson, J. (Eds.). FAO: 1-7.
- Karp, A.; Hanley, S.J.; Trybush, S.O.; Macalpine, W.; Pei, M.; Shield, I. 2011. Genetic improvement of willow for bioenergy and biofuels. *Journal of Integrative Plant Biology* 53: 151-165.
- Leclercq, A. 1996. Wood quality of white willow. *In: Proceedings 20<sup>th</sup> Session of the Poplar International Commission, Budapest, Hungary*. 1-4 October 1996: 39-50.
- Libby, W.J. 1982. What is a safe number of clones per plantation? *In: Resistance to diseases and pests in forest trees. Proceedings of the Third International Workshop on the Genetics of Host-Parasite Interactions in Forestry*. Heybroek, H.M., Stephan, B.R., von Weissenberg, K. (Eds.). Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen. Netherlands: 342-360.
- Luquez, V. 2013. Evaluación de la tolerancia al estrés por inundación de nuevos clones de sauce (*Salix spp.*) con aptitud para diversos destinos productivos. Reunión de Presentación Informes PIAs, julio de 2013.
- Marcó, M. 2005. Conceptos generales de mejoramiento genético forestal y su aplicación a los bosques cultivados de Argentina. *In: Mejores árboles para más forestadores*. Norverto, C. (Ed.): 1-16.
- Pei, M.H.; Ruiz, C.; Shield, I.; Macalpine, W.; Lindegaard, K.; Bayon, C.; Karp, A. 2010. Mendelian inheritance of rust resistance to *Melampsora larici-epitea* in crosses between *Salix sachalinensis* and *S. viminalis*. *Plant Pathology* Vol. 59 (5): 862-872.
- Pincemin JM, Monlezun SJ, Zunino H, Cornaglia PS, Borodowski E. 2007. Sistemas Silvopastoriles en el Delta del Río Paraná: Producción de materia seca y estructura de gramíneas templadas bajo álamos. APPA ALPA- Cusco, Perú.
- Pilipovic, A.; Orlovic, S.; Nikolic, N.; Galic, Z. 2006. Investigating potential of some poplar (*Populus sp.*) clones for phytoremediation of nitrates through biomass production. *Environmental Applications of Poplar and Willow Working Party*. Northern Ireland. 18-20 May 2006.
- Ragonese, A.; Rial Alberti, F. 1966. Cultivo, utilización y fitotecnia de sauces en la República Argentina. *IDIA- Suplemento Forestal* 1966: 21-37.
- Ragonese, A.E. 1987. Fitotecnia de salicáceas en el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias Castelar (INTA). *Revista de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria* 41(6): 5-30.
- Rahman, M.; Dayanandan, S.; Rajora, O.P. 2000. Microsatellite DNA markers in *Populus tremuloides*. *Genome* 43: 293-297.
- Rivero Moreno, J. (2004) Propiedades Físico-Mecánicas de *Gmelina arborea Roxb.* y *Tectona grandis Linn.* F. Proveniente de Plantaciones Experimentales del Valle del Sacta – Cochabamba. Cochabamba. Bolivia. <http://www.monografias.com>: 73 pp
- Riemenschneider, D.E.; Stanton, B.J.; Vallée, G.; Périnet, P. 2001. Poplar breeding strategies. *In: Poplar culture in North America*. Dickmann, D.I.; Isebrand, J.G.; Eckenwalde, J.E.; Richardson, J. (Eds.). NRC Research Press, Ottawa. Canada: 43-76.
- Schreiner, E.J. 1959. Production of Poplar Timber in Europe and Its Significance and Application in the United States. *Agriculture Handbook* 150. USDA Forest Service, Washington, DC.
- Schultz, R.C.; Colletti, J.P.; Isenhardt, T.M.; Marquez, C.O.; Simpkins, W.W.; Ball, C.J. 2000. Riparian forest buffer practices. *In: North American Agroforestry: an Integrated Science and Practice*. Garrett, H.E.; Rietveld, W.J.; Fisher, R.F. (Eds.). Am. Soc. Agron., Madison, WI: 189-281.
- Smart, L.B.; Cameron, K.D. 2008. Genetic improvement of willow (*Salix spp.*) as a dedicated bioenergy crop. *In: Genetic Improvement of Bioenergy Crops*. Vermerris, W.E. (Ed.) Springer Science, New York: 347-376.
- Stanton, B.J.; Neale, D.B.; Li, S. 2010. *Populus* breeding: from the classical to the genomic approach. *In: Genetics and Genomics of Populus*. Jansson, S.; Bhalerao, R.P.; Groover, A.T. (Eds.) Springer, New York: 309-348.
- Stanton, B.J.; Serapiglia, M.J.; Smart, L.B. 2014. The Domestication and Conservation of *Populus* and *Salix* Genetic. *In: Poplars and Willows: Trees for Society and the Environment*. Isebrands, J.G.; Richardson, J. Ed. FAO: 124-99.
- Stanton, B.J.; Shuren, R. 2001. Controlled breeding procedures: a manual of method and techniques for breeding eastern cottonwood: 1-31.



Stanton, B.J.; Villar, M. 1996 Controlled reproduction of Populus.. *In: Biology of Populus and its implications for management and conservation.* Stettler, Bradshaw Jr., Heilman, Hinckley (Eds.). NRC Research Press, Ottawa, Canada: 113-138.

Stout, A.B.; Schreiner, E.J. 1933. Results of a project in hybridizing poplars. *Journal of Heredity* 24: 216-229.

Van der Schoot, J.; Pospiskova, M.; Vosman, B.; Smulders, M.J.M. 2000. Development and characterization of microsatellite markers in black poplar (*Populus nigra* L.). *Thoe. Appl. Genet.* 101 (1-2):317-322.

Wang, X.; Newman, L.A.; Gordon, M.P.; Strand, S.E. 1999. Biodegradation of carbon tetrachloride by poplar trees: results from cell culture and field experiments. *In: Phytoremediation and Innovative Strategies for Specialized Remedial Applications.* Leeson, A.; Allenman, B.C. (Eds). Battelle Press, Columbus, OH: 133-138.

White, T.; Adams, T.; Neale, D. 2007. Tree improvement. *In: Forest genetics.* CABI Publishing. 682 pp

Zsuffa, L.; Giordano, E.; Pryor, L.D.; Stettler, R.F. 1996. Trends in poplar culture: some global and regional perspectives. *In: Biology of Populus and its implications for management and conservation.* Stettler, Bradshaw Jr., Heilman, Hinckley (Eds.). NRC Research Press, Ottawa, Canada: 515-539.

- ♦ García, Anibal - Dirección de Bosques, Río Negro
- ♦ Battistella, Agustin - Área de Extensión de la DPF
- ♦ Guarnaschelli, Ana Bettina - Cátedra de Dasonomía, FA-UBA, Buenos Aires
- ♦ Ing. Agr. (M. Sc.) Ana María Garau - Cátedra de Dasonomía, FA-UBA, Buenos Aires
- ♦ Lic. en Matemáticas (M. Sc.) Nora Abbiatti - Cátedra de Estadística, FCA-UNLZ, Buenos Aires
- ♦ Dra. Virginia Luquez - Instituto de Fisiología Vegetal, CONICET, La Plata, Buenos Aires
- ♦ Ing. Ftal. (M. Sc.) Fabio Achinelli - FCAYF UNLP, La Plata, Buenos Aires

## Instituciones participantes

- ♦ Cátedra de Dasonomía, FA-UBA
- ♦ Instituto de Fisiología Vegetal, CONICET- FCAYF UNLP
- ♦ Cátedra de Estadística, FCA-UNLZ
- ♦ Área de Extensión de la DPF

## Responsable del Subprograma

Ing. Agr. (M. Sc.) Silvia Cortizo

## Unidad sede

E.E.A. Delta del Paraná. INTA

## Unidades participantes

- ♦ E.E.A. Alto Valle y E.E.A. Bariloche (C. R. Patagonia Norte)♦  
E.E.A. Esquel (C. R. Patagonia Sur)
- ♦ Instituto de Genética Ewald Favret (CICVyA)

## Profesionales participantes

- ♦ Cerrillo, Teresa - INTA EEA Delta del Paraná, Buenos Aires
- ♦ Monteverde, María Silvana - INTA EEA Delta del Paraná, Buenos Aires
- ♦ Thomas, Esteban - INTA EEA Alto Valle, Río Negro
- ♦ Amico, Ivana - INTA EEA Esquel, Chubut
- ♦ Gallo, Leonardo - INTA EEA Bariloche, Río Negro
- ♦ Pagano, Elba - Instituto de Genética Ewald Favret, Castelar, Buenos Aires
- ♦ García, Araceli - Instituto de Genética Ewald Favret, Castelar, Buenos Aires



# Subprograma *Prosopis*

**Autores.** López Lauenstein, D. (a); Vega, Ca. (a); Luna, C. (a); Sagadin, M. (a); Melchiorre, M. (a); Pozzi, E. (a); Salto, C. (b); Oberschelp, J. (b); Torales, S. (c); Pomponio, F. (c); Kees, S. (d); Chávez Díaz, L. (a); Gomez, C. (e); Verga, A. (a).

(a) Instituto de Fisiología y Recursos Genéticos Vegetales (IFRGV) – INTA, (b) Estación Experimental Agropecuaria INTA Concordia, (c) Instituto de Recursos Biológicos (IRB) – INTA, (d) Estación Forestal INTA Plaza. (e) Estación Experimental Agropecuaria INTA Juárez.

**Resumen Ejecutivo.** Este capítulo detalla los avances alcanzados en el marco del PROMEF en torno al mejoramiento y la conservación de especies del género *Prosopis* (algarrobo). En ese sentido se inscribe el aporte del PROMEF en el contexto de la ejecución de proyectos institucionales del INTA. Durante estos últimos cinco años la sinergia INTA-PROMEF ha permitido articular los esfuerzos de universidades, gobiernos provinciales y entes nacionales en un plan común, dirigido al desarrollo de estos recursos genéticos para su uso y conservación en la región chaqueña. Aquí se exponen las actividades realizadas y los logros alcanzados en el desarrollo de materiales de propagación a corto plazo y en la puesta en marcha de un programa de mejoramiento y conservación a mediano y largo plazo.

## Introducción

La domesticación de una especie nativa es un proceso social. No se trata únicamente de un desarrollo tecnológico que emerge de una elite científica. Se puede afirmar, para el caso del algarrobo, que este proceso comenzó ya en tiempos de los pueblos originarios a través de su uso, principalmente como alimento, forraje y combustible.

La plantación del algarrobo iniciada en la región chaqueña hace más de veinte años constituye un segundo pulso en este sentido. El fomento de su cultivo a través de subsidios estatales, la ausencia de una base científico-tecnológica de la actividad y las dificultades de buena parte de las plantaciones logradas por falta de materiales adecuados de propagación, de manejo y seguimiento, caracterizaron esta segunda etapa. Sin embargo existe una creciente valoración cultural y el convencimiento de que el algarrobo representa una alternativa productiva significativa y ambientalmente positiva para la región chaqueña. La necesidad de reemplazar la producción de madera de aserrío proveniente del bosque nativo (cada vez más escasa y costosa, tanto desde el punto de vista ambiental como económico), la posibilidad de aplicación de estas especies en sistemas silvopastoriles y de recuperación ecosistémica, el potencial de sus frutos para la producción de alimento y forraje en áreas marginales para la agricultura, continúan hoy traccionando el proceso de domesticación. Si bien existen numerosos antecedentes, con un Proyecto Nacional del INTA en 2001 se incorpora formalmente a este proceso el Sistema Nacional de Ciencia y Técnica, delineando un programa de mejoramiento genético y de conservación. A partir de esa fecha y hasta el presente se han sucedido diversos proyectos que en forma creciente han ido consolidando el aporte del conocimiento científico y desarrollo tecnológico al proceso de domesticación del algarrobo en Argentina.

Ese proyecto institucional del INTA entre los años 2001 y 2004, que contó también con aportes financieros del Proyecto de Desarrollo Forestal (PDF) ejecutado por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGPyA), sentó las bases iniciales del programa de mejoramiento y conservación del algarrobo. Estaba dirigido sólo a la región del Cha-

co árido en las provincias de Córdoba, San Luis, La Rioja y Catamarca con las especies *Prosopis flexuosa* y *P. chilensis*. En la publicación “Mejores árboles para más forestadores” (SAGPyA, 2004) se pueden consultar los antecedentes, las actividades y los resultados obtenidos de ese proyecto. En 2004, luego de su finalización, el Programa Forestal del INTA, buscando un mayor potencial de crecimiento para la producción de madera de aserrío, toma la decisión de concentrar los esfuerzos en una única especie: *Prosopis alba*. Se establece entonces como ámbito geográfico de trabajo su área de distribución, el Chaco semiárido y subhúmedo y el Espinal norte, integrados por las provincias de Santiago del Estero, Chaco, Formosa, este de Salta y Entre Ríos. A través de la ejecución de un Proyecto de Investigación Aplicada (PIA), con financiamiento del PDF, el INTA, con la colaboración de un PICTO a cargo de la Facultad de Ciencias Forestales (FCF) de la Universidad Nacional de Santiago del Estero y de instituciones provinciales y otras universidades, inicia en la temporada 2004/2005 la toma de muestras para ir conformando el material base del programa de mejoramiento y conservación de *Prosopis alba* en esa región.

Con el inicio de una nueva cartera de proyectos institucionales del INTA, que se suceden a partir de 2006 y que continúan hasta el presente, se completa en 2009 la conformación del material base original del Programa de Mejoramiento de algarrobo. Una selección de ese material da origen a tres ensayos de progenies de *Prosopis alba* en ambientes contrastantes de su área de distribución.

En el año 2010 se inicia el PROMEF, contribuyendo significativamente a potenciar las actividades de los proyectos mencionados del INTA. Al PROMEF se llega entonces con unas 1000 accesiones del género colectadas en el Parque Chaqueño, árido, semiárido y subhúmedo y Espinal Norte, correspondientes a las especies de algarrobo *Prosopis chilensis*, *P. flexuosa*, *P. alba*, *P. nigra* y *P. hassleri*. También se contaba con la identificación taxonómica y geográfica de distintos ecotipos de *P. alba* (Verga *et al.*, 2009) y con los ensayos de progenies (EP) instalados, en proceso de evaluación.

Al momento del inicio del PROMEF en el 2010,

la estrategia original del programa de mejoramiento se encontraba en revisión. A la luz de la identificación de distintos ecotipos de *P. alba* se pudieron establecer “áreas productoras de semilla” (APS) para esta especie. También se pudo observar la generalización de la existencia de enjambres híbridos en toda la extensión del área de distribución de *P. alba* y, por lo tanto, la dificultad de encontrar poblaciones genéticamente estables aptas para avanzar en el programa de mejoramiento genético. Se pudo comprobar que los individuos que integran los EP, a pesar de haber sido seleccionados mediante análisis taxonómicos por pureza específica, conforman mezclas de esos ecotipos, apareciendo incluso en algunos casos segregación de caracteres de otras especies afines. En el contexto de este replanteo de estrategias aparece la necesidad de identificar *rodales semilleros* puros de *P. alba*, destinados a la producción de semilla más estable genéticamente. Estos rodales semilleros tienen por objeto conformar un segundo material base para el programa de mejoramiento genético de la especie y responder a la demanda inmediata de semilla para forestación.

Por otro lado se decidió iniciar la producción del material necesario para la futura instalación de *huertos clonales* conformados por ramets obtenidos mediante propagación agámica a partir de estacas de individuos juveniles, recaptados, selectos de los EP.

Atendiendo a la falta de homogeneidad genética se abandonó la estrategia original de raleo selectivo de los EP para su transformación en rodales semilleros. Esta última decisión se encuentra a la fecha en revisión.

A partir de 2010 se inició la instalación de una *red de ensayos de orígenes y ensayos de progenies*, esta vez de familias de los mejores orígenes. Con el avance en la ejecución de los proyectos fue ajustando el criterio de “conservación dinámica”. Este concepto, que se presenta brevemente en el apartado *estudios genéticos*, fue marcando la orientación de varias líneas de trabajo. Éstas están dirigidas no sólo a sentar las bases para la sustentabilidad a largo plazo del programa de mejoramiento, sino también en respuesta a la necesidad de conservación de los recursos genéticos de estas especies. La conservación aparece como una actividad de carácter estratégico a mediano y largo plazo frente al contexto del cambio climático y el impacto antrópico sobre los ecosistemas clave del Par-

que Chaqueño, donde los algarrobos juegan un papel significativo.

Por otro lado, los estudios *ecofisiológicos* sobre los algarrobos fueron abordados en su carácter de puente entre el genotipo y el fenotipo, como herramienta para atender las necesidades del mejoramiento genético para la producción (caracteres de valor productivo) y para la conservación (caracteres adaptativos).

Como otras especies, los algarrobos han co-evolucionado con microorganismos asociados que cumplen un importante papel en su adaptación al estrés y como parte fundamental de los ecosistemas que ocupan. Tanto el mejoramiento genético como la conservación dinámica, se basan en la intervención sobre los procesos evolutivos en poblaciones (sean estas de mejoramiento o nativas). Se ha tomado el criterio de acompañar estos procesos con la caracterización, selección y propagación de *rizobios y micorrizas*.

Finalmente mencionamos que los proyectos INTA de Domesticación de Especies Forestales Nativas (2006-2013) incluían un módulo específico de silvicultura integrado al mejoramiento genético. En el contexto de estos proyectos, el PROMEF también colaboró financieramente para la ejecución de este módulo. Las principales actividades en ese ámbito fueron el desarrollo de técnicas de vivero adecuadas para la producción a gran escala de plantines de algarrobo. Se evaluaron distintos tipos de sustratos y envases a través de un ensayo regional con la participación de los viveros de la Estación Experimental Fernández (Santiago del Estero), Estación Forestal INTA Plaza (Chaco) y Universidad Nacional de Formosa (Formosa). En este módulo también se realizó un estudio sobre densidad de plantación a partir de la instalación de ensayos diseñados especialmente para esos fines. Por otro lado, se iniciaron trabajos para la determinación de calidad de sitio para *Prosopis alba* en el Parque Chaqueño a través de modelos expertos de simulación, donde se confrontan variables edáficas asociadas al desarrollo de los árboles y distintos grupos de series de suelos con características similares. Para este trabajo colaboró el grupo de Suelos de la EEA INTA Sáenz Peña (Chaco) y la Estación Forestal INTA Plaza. Desde esta unidad del INTA también se comenzaron a desarrollar modelos de crecimiento para *Prosopis alba* a partir de plantaciones de más de diez años en diferen-

tes condiciones de suelo y clima (Kees *et al.*, 2012<sup>8</sup>). Actualmente todos los estudios y desarrollos tecnológicos en el ámbito de la silvicultura, si bien en coordinación con los proyectos de mejoramiento, se realizan en el ámbito de un proyecto propio.

## Objetivo

Generar información y material de propagación para la introducción del algarrobo al cultivo para la producción de madera de alto valor comercial y recuperación ecosistémica.

## Actividades y resultados

### Rodales Semilleros

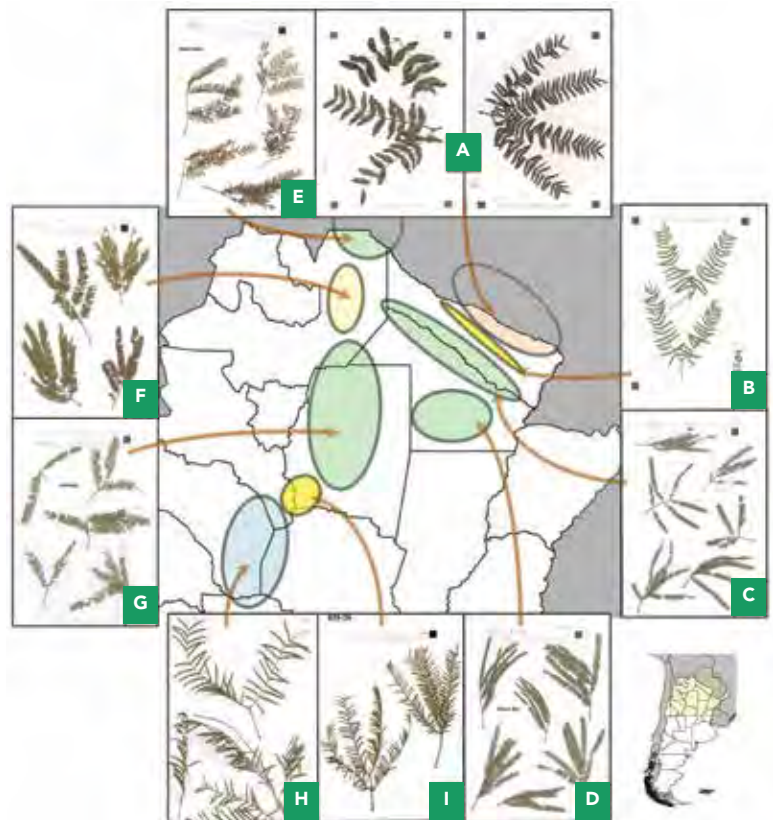
Uno de los principales problemas del cultivo del algarrobo es la calidad genética de la semilla utilizada para la producción de plantines destinados a plantación. A pesar de existir algarrobales en el bosque nativo de excepcionales características silvícolas, constituidos por individuos de excelente forma, buena sanidad y crecimiento, el material de propagación que se obtiene de ellos muestra ser sumamente variable. Esta alta segregación impide fijar en la descendencia las buenas características de los árboles semilleros seleccionados, disminuyendo significativamente o haciendo totalmente nula la ganancia genética esperada de la selección realizada.

Este problema responde a las características genéticas propias observadas entre las distintas especies de algarrobo. Desde hace tiempo se considera a los algarrobos como parte de un complejo de especies (singameon) (Saidman, 1986; Verga, 1995). Sin embargo, recién a partir del muestreo sistemático y análisis taxonómico realizado sobre prácticamente la totalidad de la distribución de las principales especies de algarrobo en territorio argentino, podemos ordenar geográficamente este complejo (Verga, *et al.*, 2009). En la Figura 1 se muestra la distribución de los principales morfotipos y especies de algarrobos blancos para la Región Chaqueña argentina. Se pudo comprobar a través del estudio de algunas de las unidades atribuidas por la taxonomía clásica sobre la especie *P. alba* que existen entre ellas diferencias genéticas y am-

bientales equivalentes a subespecies (datos aún no publicados). Por esto es que se considera que este ordenamiento está representando distintas áreas productoras de semillas y también unidades de conservación para esta especie.

La diversidad genética es una de las bases de la adaptación a largo plazo. Constituye la “materia prima” de la selección natural y su generación es vital para mantener la viabilidad de las especies frente a la diversidad de ambientes que se presentan en el espacio y en el tiempo. Por el contrario, el cultivo representa una simplificación y un control del ambiente tales que posibilitan colectivos mucho más uniformes, adaptados a las características particulares del sistema productivo y de la cadena de valor.

En el territorio argentino resulta prácticamente



**Figura 1.** Distribución esquemática de los principales morfotipos y especies de algarrobos blancos en la región Chaqueña Argentina. **A.** Algarrobos «blancos» o «paraguayos» asociados al río Pilcomayo en su último tramo. *Prosopis fiebrigii* (izquierda) y *P. hassleri* (derecha). **B.** Zona de hibridación entre los algarrobos «paraguayo» y «chaqueño» más al sur. **C.** Algarrobo «chaqueño», asociado al Río Bermejo. Hojas con numerosos pares de foliólulos y muy cercanos entre sí. **D.** Algarrobo «chaqueño sur». Parecido al «chaqueño» pero de foliólulos más anchos y un poco más separados. **E.** Algarrobo «salteño norte». Se extiende hacia Bolivia. Foliólulos mucho más grandes que el «chaqueño» y el «chaqueño sur». **F.** Zona de convergencia de tres morfotipos de algarrobos blancos *P. alba* («salteño», «santiagueño» y «chaqueño»). La nombramos como “Salta centro”. **G.** Algarrobo «santiagueño». Posee hojas con foliólulos apenas un poco menores pero más anchos que el «salteño norte». **H.** Algarrobo blanco del Chaco árido, *Prosopis chilensis*. Foliólulos angostos y largos, muy separados entre sí. **I.** Zona de hibridación entre *P. chilensis* y *P. alba* «santiagueño»

imposible encontrar poblaciones naturales “puras” de una especie determinada. Además de las áreas de contacto entre especies de algarrobos blancos indicadas en la Figura 1, en toda el área de distribución de *P. alba* existe simpatria con las especies afines *P. nigra* y, en algunos sitios, también con *P. ruscifolia*. Existe la hipótesis bastante aceptada de que la perturbación antrópica y también natural ha generalizado este proceso en nuestro territorio (ver el apartado “Estudios Genéticos”).

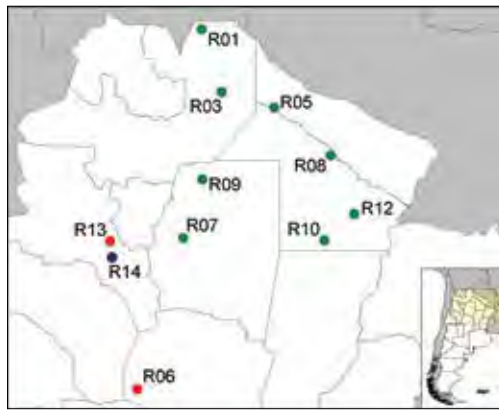
De este contexto surgió la necesidad de establecer fuentes de semilla genéticamente uniforme a nivel de especie para la plantación con destino forestal. Para el caso particular de *Prosopis alba*, las fuentes de semilla también deberían representar el abanico de variantes de los distintos morfotipos que conforman esta especie. Al mismo tiempo, esta actividad constituye una práctica de conservación *in situ* de los recursos genéticos de esta especie. Se trata del rescate de los morfotipos puros. Estos se han diferenciado probablemente como producto de procesos evolutivos previos, de muy larga duración. Actualmente podrían encontrarse en desaparición como consecuencia de los procesos de hibridación e introgresión mencionados, potenciados por la perturbación antrópica.

Con el objetivo de establecer rodales semilleros con las características descriptas se iniciaron viajes exploratorios a las distintas APS de *P. alba*. Como resultado de ese trabajo se han identificado a la fecha ocho sitios adecuados para estos fines (Figura 2).

En la mayoría de los casos se pudo comprobar que a pesar de encontrarse algarrobales de *P. alba* de excelentes características fenotípicas, existían otras especies afines de *Prosopis* acompañantes y en algunos sitios inclusive individuos de morfología híbrida. Quedó así en evidencia la necesidad de establecer una metodología de selección y raleo genético para transformar algarrobales nativos en rodales semilleros.

Al mismo tiempo se consideró la necesidad de que se establezca un sistema de trazabilidad de los materiales de propagación y plantaciones a fin de que éstas puedan ser utilizadas a mediano plazo, también como material base de segunda generación para el programa de mejoramiento genético de esta especie. Ambos objetivos podrían cumplirse a través de la certificación de semilla de algarrobo para forestación.

En este sentido se gestionó desde el INTA ante



**Figura 2.** Distribución geográfica de los sitios donde se están estableciendo rodales semilleros de *Prosopis*. Verde: *P. alba*; Rojo: *P. flexuosa*; Azul: *P. chilensis*. **R01.** Campo Durán, **R03.** La Unión, **R05.** Isla Cuba, **R06.** San Miguel, **R07.** Santiago del Estero, **R08.** Bermejito, **R09.** Chañar Bajada, **R10.** Villa Ángela, **R12.** Plaza, **R13.** Pipanaco, **R14.** Palampa.

el INASE un convenio de cooperación técnica que fue aprobado en 2012, por el cual el INTA desarrolló un protocolo para la adecuación de algarrobales nativos para su transformación en rodales semilleros para las especies: *Prosopis alba*, *P. nigra*, *P. chilensis*, *P. flexuosa* y *P. hassleri* (Verga, 2014<sup>43</sup>). Este protocolo forma parte de un anexo de la Resolución INASE 374/14 que establece las normas para la certificación de algarrobo de categoría *seleccionada*. En la actualidad el INTA opera como laboratorio certificador, hasta tanto queden puestos a punto y probados adecuadamente los detalles técnicos y operativos de la metodología. Una vez logrado esto, pasará a responsabilidad exclusiva del INASE esta certificación.

A fin de promover la utilización de semilla certificada de categoría *seleccionada* el MAGyP por Resolución 33/2013 beneficia a los usuarios de estos materiales con un aumento del 10% del subsidio establecido por la Ley de Promoción Forestal.

El protocolo desarrollado establece el muestreo de la totalidad de los individuos que constituirán el rodal semillero, más todos los algarrobos circundantes hasta una distancia de 50 metros. El muestreo consiste en la toma de hojas para su estudio morfológico. De comparaciones morfológicas de cada individuo del rodal con una serie de “árboles tipo”, se identifican aquellos individuos que no se ajustan a las características propias de las especies puras. Si el porcentaje de individuos a eliminar excede el 25% del total, se lo considera no apto para establecer

el rodal semillero. Por otro lado, a partir de una muestra de semilla del rodal se realiza un análisis de la isoenzima ADH, a fin de estimar el porcentaje de polen “extraño” a la especie en cuestión. Para la toma de decisión sobre la viabilidad del algarrobal para su transformación en rodal semillero, se establecieron umbrales de tolerancia para la frecuencia de los alelos correspondientes. También se utiliza este marcador bioquímico para hacer un seguimiento del efecto genético del raleo realizado según el análisis morfológico. Además de este raleo genético, se establece la aplicación del raleo y manejo silvicultural clásico utilizado en rodales semilleros para mejorar la producción y calidad de frutos y facilitar su cosecha.

A instancias del INTA se realizaron gestiones a través del Proyecto de Domesticación de Especies Forestales Nativas de Alto Valor ante la Dirección de Producción Forestal del MAGyP. Como resultado de esta iniciativa, la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca promulgó la Resolución 244/13 creando el Programa Nacional del Algarrobo. Entre otras actividades este Programa está apoyando la creación de cuatro centros de producción, acondicionamiento y distribución de semilla certificada de algarrobo. Estos centros están localizados en Córdoba (Banco Nacional de Germoplasma de *Prosopis* de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, UNC), Santiago del Estero (Estación Experimental Fernández de la Universidad Católica de Santiago del Estero), Chaco (Instituto de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, IIFA) y Formosa (Banco de Germoplasma Forestal del Ministerio de la Producción y Ambiente). Con financiamiento de la UCAR a través del Proyecto GEF 090118 y la colaboración técnica del INTA-PROME, estos cuatro centros han comenzado los trabajos para el acondicionamiento de rodales semilleros a partir de algarrobales nativos. Santiago del Estero, Chaco, y Formosa se han abocado a materiales de *Prosopis alba* en la región chaqueña semiárida y subhúmeda, mientras que Córdoba está trabajando con rodales de *Prosopis flexuosa* y *P. chilensis* en el Chaco árido, ha iniciado trabajos en un rodal de *P. alba* en el sudeste de la provincia (Espinal), colabora en actividades sobre un rodal de *P. alba* en la provincia de Salta y Córdoba, en colaboración con la Dirección de Bosques de La Pampa, ha iniciado estudios sobre rodales de caldén (*P. caldenia*). También con financia-

miento de la UCAR a través del Componente Plantaciones Forestales Sustentables BIRF 7520 AR, los futuros centros de semillas de algarrobo de Santiago del Estero, Chaco y Formosa recibieron sendas máquinas trilladoras especialmente diseñadas por la Cátedra de Maquinaria Agrícola de la FCA-UNC para el procesamiento de frutos de algarrobo.

## Huertos Clonales

La propagación por estacas constituye una técnica fundamental a desarrollar para *Prosopis alba*, ya que permitiría la eventual instalación de huertos clonales. Uno de los principales factores que afectan el desarrollo de esta técnica es la calidad del material vegetal empleado para confeccionar las estacas, especialmente en el rescate de material a campo, exigiendo grandes cuidados en el momento del acondicionamiento y transporte de los brotes.

En el género *Prosopis* existen especies que exhiben buena capacidad de enraizamiento de estacas, como *P. juliflora* que alcanza tasas entre 80-90% y *P. glandulosa* con 100%, así como especies de muy baja capacidad de enraizamiento como *P. cineraria* (9%) y *P. tamarugo* (4%) (De Souza Nascimento, 1993; Dick *et al.*, 1991; Harris, 1992). Para *P. alba* los antecedentes indican que posee buena capacidad rizogénica con porcentajes de enraizamiento entre 44% y 83% (Klass *et al.*, 1985,1987; De Souza and Felker, 1986; Oberschelp y Marcó, 2010).

En función de estos antecedentes, en un ensayo de progenies instalado en la localidad de Laguna Yema (Formosa), se seleccionaron 50 genotipos de algarrobo blanco. Esta selección se realizó en función de crecimiento y forma en base a un índice de selección multicriterio utilizando los valores de mejora de los individuos a los 3 años de edad y en tres sitios de ensayo (Salto, 2011<sup>19</sup>). Con el fin de rescatar estos materiales selectos se utilizó la técnica de enraizamiento de estacas ajustada para esta especie (Salto *et al.*, 2012<sup>20</sup>). Los 50 genotipos seleccionados fueron recepados a fines del invierno (agosto) a una altura de 20-25 cm utilizando motosierra. Las cepas se sellaron con un cicatrizante para poda. El control de malezas se efectuó en forma manual y se protegieron las cepas con tela (tipo “friselina”) fijada a estacas para evitar el ataque a los brotes por animales. Las campañas de cosecha



de brotes se realizaron en tres momentos (41, 61 y 110 días posteriores al recepado). La longitud y el diámetro de los brotes estuvieron comprendidos entre los 15-70 cm y los 2-6 mm respectivamente. En invernáculo se acondicionaron estacas de unos 8-10 cm de largo con un par de hojas reducidas al 50% en su superficie foliar. Luego, la base de las estacas se trataron con ácido 3-indolbutírico (AIB) a una concentración de 0,45 g/kg como inductor de enraizamiento, utilizando como vehículo talco microbiológico. Se emplearon tubetes plásticos troncocónicos de 100 cc usándose como sustrato una mezcla de corteza de pino compostada con perlita y vermiculita. El porcentaje de enraizamiento de las estacas traídas del campo presentaron valores entre el 12,5% y 100% entre genotipos. Siguiendo estos procedimientos, de los 50 individuos selectos, 49 pudieron rescatarse con un número variable de rametos que fueron acondicionados a plantas madres (Figura 3).

La metodología descrita ha resultado satisfactoria para su utilización en el rescate de germoplasma de *P. alba* a partir del recepado de árboles jóvenes. Sin embargo, obtener estacas enraizadas provenientes de guías de plantas madres del minijardin clonal no ha resultado tan fructífero. En este caso, el porcentaje de enraizamiento no supera el 20%. Es necesario continuar investigando en este sentido, buscando un ajuste adecuado de técnicas de fertilización y manejo de las plantas madres, que mejore la tasa de enraizamiento y pueda ser utilizada esta herramienta de multiplicación como una alternativa de uso masivo.

### Red de ensayos de orígenes y ensayos de progenies

Los *ensayos de orígenes* permiten estudiar el comportamiento de diferentes poblaciones en diferentes ambientes, facilitando la decisión en la elección del origen de semilla más adecuado para cada sitio de plantación. Además se pueden realizar estudios de adaptación y plasticidad fenotípica de las poblaciones y especies.

Por otro lado, los *ensayos de progenies* permiten conocer distintos parámetros genéticos correspondientes a los caracteres objeto de mejora (ej. heredabilidad, correlaciones genéticas, etc.) con el objeto de establecer estrategias con una mejor predicción de ganancias futuras en los



**Figura 3.** Secuencia de propagación vegetativa de algarrobo blanco. **A.** Árboles recepados con brotes de dos meses, en el ensayo de campo. **B.** y **C.** Acondicionamiento de las estacas de algarrobo en invernáculo. **D.** Diferentes tipos de estacas obtenidas a partir de las guías. **E.** detalle de formación de primeras raíces adventicias. **F.** Estacas de los diferentes clones en etapa de enraizamiento dentro del invernáculo. **G.** Plantas madres logradas a partir de las primeras estacas enraizadas dispuestas en el minijardin clonal. **H.** Diferentes tamaños de las guías cosechadas en campo.

programas de mejoramiento (Zobel y Talbert, 1988). Es frecuente la transformación de los ensayos de progenies en rodales semilleros a partir de raleos realizados con criterios genéticos, convirtiéndose estos en fuentes de semilla con cierto grado de mejora y en material base para el inicio de un nuevo ciclo en el programa.

Para el caso particular de las especies forestales nativas, estos ensayos también pueden constituirse en material de conservación *ex situ*, *in vivo*, ya que pueden representar en buena parte la variación genética de la especie. En este sentido son a su vez material ideal para avanzar en estudios sobre las características biológicas generales de estas especies (biología floral, fenología, arquitectura, etc.) y para realizar cruzamientos dirigidos.

A partir de los ensayos de progenies instalados en el año 2008 (mencionados en la introducción a este capítulo, Figura 4, izquierda) donde se evaluaron las familias por su crecimiento inicial y forma forestal (Salto 2012<sup>22</sup>), en la actualidad se está iniciando una línea de mejoramiento en plantas productoras de vainas como forraje y para consumo humano. Mediante dos tesis doctorales en marcha se están evaluando las familias mediante marcadores moleculares y caracteres de crecimiento, floración y fructificación. En el marco del PROMEF se instaló una red de ensayos de orígenes de algarrobo blanco abar-

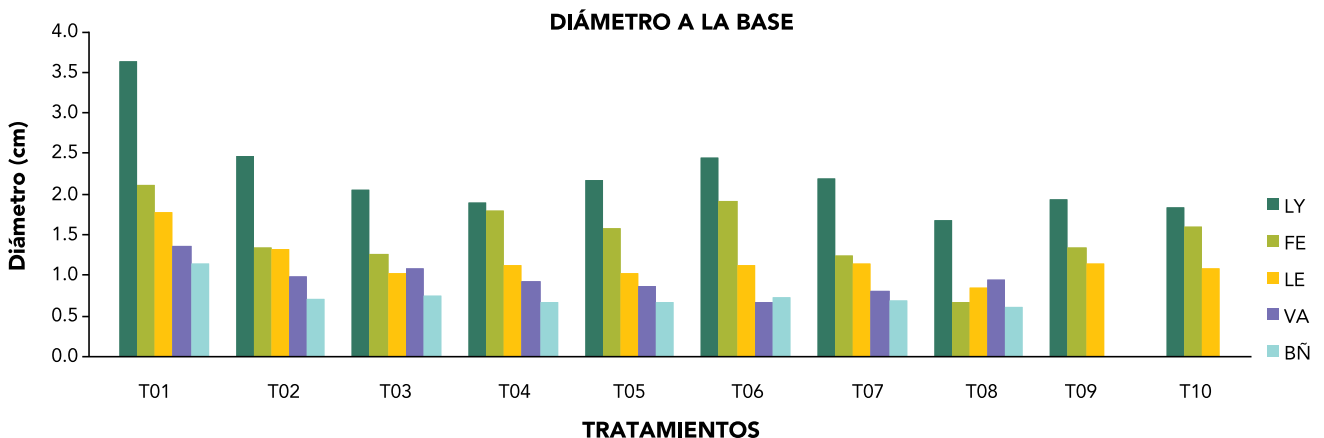


**Figura 4.** Izquierda: ubicación de los ensayos de progenies instalados en 2008. Derecha: sitios de la red de ensayos de orígenes.

cando toda el área de distribución de *Prosopis alba* en el Parque Chaqueño. En el año 2011 se plantaron cinco ensayos donde se evaluaron diez tratamientos. Los sitios de ensayos fueron los siguientes: Leales (Tucumán), Villa Ángela (Chaco), Fernández (Santiago del Estero), Laguna Yema y Bañaderos (Formosa) (Figura 4, derecha).

Los ensayos están constituidos por diez tratamientos, siete de los cuales corresponden a la especie *Prosopis alba* de las diferentes áreas productoras de semillas identificadas de acuerdo a los morfotipos del Parque Chaqueño (probables ecotipos o subespecies, Verga 2009, ver Figuras 1 y 2): T1 Campo Durán (*P. alba* “Salta Norte”), T2 La Unión, (*P. alba* “Salta centro”), T3 Bolsa Palomo, Formosa, T4 Isla Cuba, Formosa, T5 Bermejito, Chaco y T10 Plaza, Chaco (*P. alba* “Chaqueño”), T9 Chañar Bajada, Santiago del Estero (*P. alba* “Santiaguense”). Por otro lado se incluyeron dos tratamientos de selecciones de *Prosopis alba* realizadas sobre la base de la eva-

luación de ensayos de progenies (Salto, 2012<sup>22</sup>): T6 selección por crecimiento en biomasa y T7 selección por crecimiento y forma. Finalmente se incluyó un tratamiento T8 constituido por una selección de *Prosopis chilensis*, realizada según la evaluación de dos ensayos de progenies instalados en 2003 y 2004 en el Chaco árido (Proyecto Nacional INTA 520403, 2001-2004). De acuerdo al crecimiento de los primeros años, el T1 origen Campo Durán se destaca del resto de los tratamientos en los cinco sitios de plantación tanto en diámetro como en altura. También se destaca el sitio Laguna Yema que presentó el mayor crecimiento de las plantas de todos los tratamientos. En cuanto al diámetro, Bañaderos es el sitio que mostró el menor crecimiento, mientras que en altura, no hay diferencias entre Bañaderos y Leales (Figuras 5 y 6). El porcentaje de supervivencia de las plantas en Bañaderos es sensiblemente menor que en Leales y Laguna Yema. Por otro lado, el tratamiento 8 “selección de *P. chilensis*” fue el de menor cre-



**Figura 5.** Diámetro a la base del tallo (cm) por tratamientos y sitio de ensayo. LY: Laguna Yema; LE: Leales; FE: Fernández; VA: Villa Ángela y BÑ: Bañaderos.

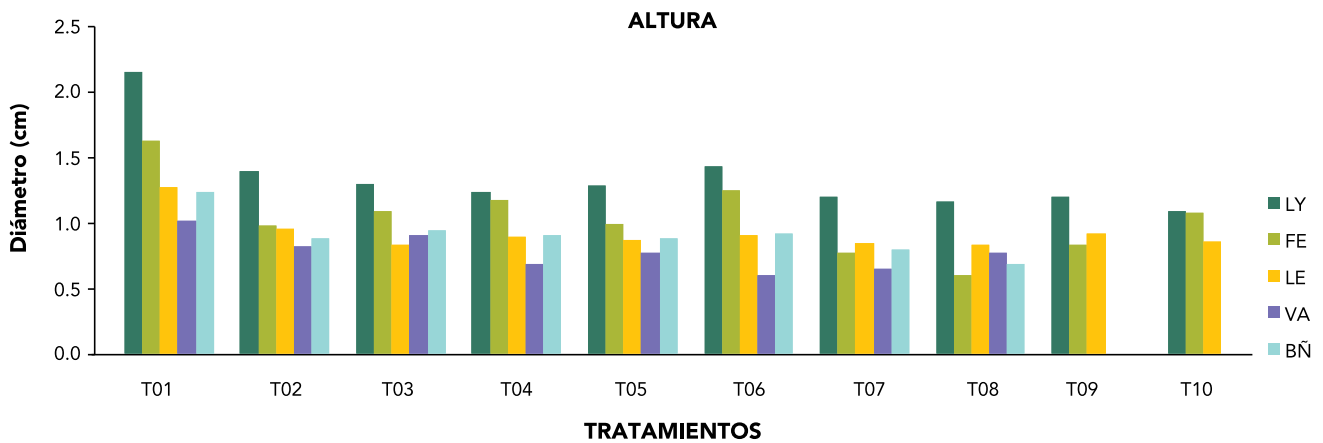


Figura 6. Altura total (cm) por tratamientos y sitio de ensayo. LY: Laguna Yema; LE: Leales; FE: Fernández; VA: Villa Ángela y BÑ: Bañaderos.

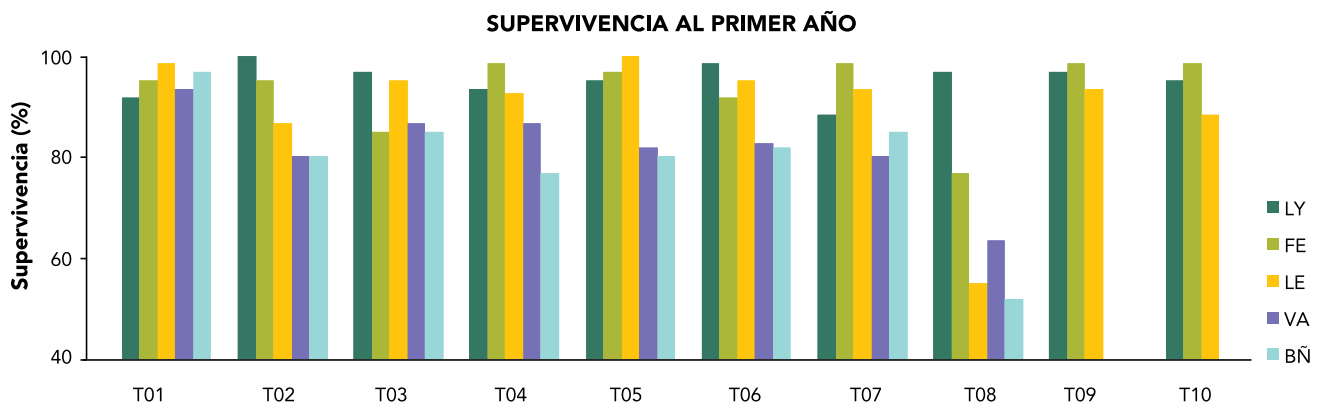


Figura 7. Supervivencia al primer año (%) por tratamientos y sitio de ensayo. LY: Laguna Yema; LE: Leales; FE: Fernández; VA: Villa Ángela y BÑ: Bañaderos.

cimiento en diámetro en los cinco sitios de ensayo y la supervivencia fue significativamente menor en Leales y Bañaderos (Figura 7). Estos resultados evidencian una falta de adaptación de *P. chilensis* (especie que crece en la región del Chaco árido) a la región del Chaco semiárido y subhúmedo.

En el ensayo de Laguna Yema se realizaron tratamientos de poda a la mitad de las plantas de cada parcela. Allí se llevan a cabo talleres y capacitaciones para difundir prácticas de manejo y la importancia del origen de la semilla para forestación con algarrobo (Figura 8).

A partir de estos resultados y los que se obtuvieron de la red de ensayos de progenies, se eligió el origen Campo Durán como prioritario en el proceso de mejoramiento por su alto desempeño en una gran variedad de ambientes. En año 2012 se instaló en el CEDEVA de Laguna Yema (Formosa), un ensayo de progenies con 46 familias de ese origen. Durante ese verano, posterior a la plantación, hubo una sequía ex-



Figura 8. Ensayo de Orígenes de Algarrobo en el CEDEVA de la Localidad de Laguna Yema, Formosa. Visita de técnicos y productores en ocasión de la 5ta Jornada de Producción del Algarrobo.

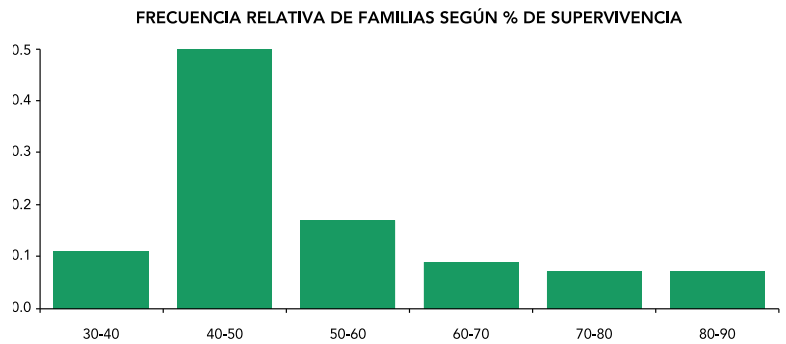
cepcional por su duración, por lo cual el ensayo se vio muy afectada en la supervivencia de las plantas. Sin embargo no todas las familias mostraron un mismo comportamiento. De esta forma se tomó el ensayo como una oportuni-

dad para seleccionar familias por su tolerancia al estrés hídrico en la etapa de plantación. En la Figura 9 se muestra un histograma de frecuencias del porcentaje de supervivencia por familia en donde se observa que el 60 % de las familias tienen una supervivencia menor al 50%; sin embargo hay un 14% de familias que superan una supervivencia del 70%.

## Estudios genéticos

Las especies del género *Prosopis* en simpatria originan enjambres híbridos creando áreas altamente diversas. La presencia de híbridos se produce con mayor frecuencia en áreas perturbadas (tanto de origen antrópico, como natural), por lo que se presume presentarán características adaptativas diferenciales respecto de las especies parentales. Esto se debería a que los nuevos genotipos podrían poseer vigor híbrido o presentar nuevas características adaptativas inexistentes en las especies parentales, tal como lo demuestran estudios de enjambres híbridos en otras especies (Lewontin y Birch, 1966; Grant, 1981; Donoso, 1993; Zobel y Talbert, 1994). Estas áreas son a menudo sitios activos de cambios evolutivos en los cuales la hibridación y la introgresión pueden incrementar la diversidad genética intraespecífica, causar la transferencia de adaptaciones genéticas e incluso llevar a la aparición de nuevos ecotipos o especies (Petit *et al.*, 1999). Es por esto que el estudio y manejo de estas zonas de contacto, pueden ser utilizados luego para diseñar programas de conservación dinámica, esto es, la intervención dirigida a potenciar los mecanismos evolutivos del complejo a fin de aumentar la adaptación potencial para hacer frente al cambio climático y a las perturbaciones antrópicas en general. Los estudios realizados en el complejo algarrobo en este ámbito buscan confirmar estas hipótesis y develar en detalle sus mecanismos evolutivos, con el objeto de poder ser aplicados en el futuro en la implementación de estrategias de conservación dinámica de estos recursos genéticos.

Teniendo en cuenta estas características del complejo algarrobo, no bastan los métodos taxonómicos clásicos, basados en la observación subjetiva de descriptores, para comenzar el proceso de ordenamiento. Estudios previos sobre especies afines del género (Verga, 1995; Joseau



**Figura 9.** Frecuencia relativa de familias según porcentaje de supervivencia observada en el Ensayo de Progenies de *Prosopis alba*, origen Campo Durán, instalado en la localidad de Laguna Yema (CEDEVA), Formosa, luego de una sequía extrema de larga duración ocurrida inmediatamente luego de la plantación.

*et al.*, 2005; Verga y Gregorius, 2007) han demostrado que la caracterización morfológica, mediante taxonomía numérica, basada en rasgos de hoja y fruto, permite conformar grupos de individuos con características genéticas comunes en un grado de detalle mucho mayor que el alcanzado mediante la sistemática clásica. De esta forma se han podido identificar numerosas áreas de intercambio genético entre distintas especies de este complejo. A continuación se describen seis casos.

En el Chaco Árido, estudios realizados sobre *Prosopis flexuosa* y *P. chilensis* (Córdoba y Verga, 2006; Verga y Gregorius, 2007,) han comprobado que, en zonas de contacto entre ambas especies se forman individuos fértiles de características morfológicas intermedias. Estos híbridos interespecíficos están asociados a áreas con perturbaciones antropogénicas. También se pudo demostrar que los híbridos interespecíficos a través de la combinación de caracteres de ambas especies parentales presentan una tolerancia al estrés hídrico equivalente a *P. flexuosa* (la más tolerante) y al mismo tiempo, tasas de crecimiento cercanas a *P. chilensis* (la de mayor crecimiento) bajo condiciones hídricas normales (sin estrés) (Lopez Lauenstein *et al.* 2013<sup>38</sup>). Estos resultados, junto a las conclusiones alcanzadas en estudios del sistema de apareamiento en este enjambre (Mottura, 2006; Córdoba y Verga, 2006) están en consonancia con la hipótesis de que a partir de los enjambres híbridos de este complejo pueden evolucionar grupos de individuos con mayor capacidad adaptativa que las especies parentales (vigor híbrido). Al mismo tiempo estos grupos híbridos, a través de procesos de introgresión podrían modificar la capacidad adaptativa de las mismas especies

que le dieron origen.

En cercanías de la localidad de Sumampa, al sur de la provincia de Santiago del Estero, se realizó un muestreo sobre una transecta que atraviesa un área caracterizada por un gradiente ambiental que va desde el pedemonte de las sierras de Sumampa, tierras altas de quebrachal (quebracho colorado santiagueño) con *P. alba* como especie secundaria, hasta un bajo salino (cuenca de la laguna de Mar Chiquita) con presencia de especies halófitas y vinal (*P. ruscifolia*) como especie dominante. La evidencia de hibridación entre estas dos especies se deriva de la combinación de análisis morfológicos y moleculares a través de RAPD. Ambos análisis permiten el reconocimiento y la diferenciación significativa de 3 grupos, uno correspondiente a *P. alba*, otro a *P. ruscifolia* y un tercer grupo a híbridos interespecíficos. Estos resultados indican que la morfología foliar también entre estas dos especies constituye una herramienta para la identificación de híbridos interespecíficos. Los tres grupos estudiados mostraron alta variabilidad genética. Sin embargo los híbridos presentaron valores significativamente mayores que los morfotipos determinados como *P. alba* y *P. ruscifolia* (Ferreyra, et al. 2013<sup>35</sup>).

También se encontró que en el corredor que une las llanuras del Chaco árido con el Chaco semiárido, formado entre las Salinas Grandes al sudoeste de Santiago del Estero y las últimas estribaciones de las sierras al noroeste de Córdoba confluyen cuatro especies de algarrobo: *P. chilensis*, *P. flexuosa*, *P. alba* y *P. nigra*. Aquí también se pudo comprobar la existencia de morfotipos intermedios entre estas especies y correlaciones significativas entre su diferenciación morfológica y genética, estimadas mediante taxonomía numérica e isoenzimas (Joseau et al. 2013<sup>36</sup>). También aquí los morfotipos intermedios presentan mayor diversidad genética que los putativos parentales y su presencia siempre asociada a áreas perturbadas (poblados, rutas, sucesiones secundarias en general).

Al oeste de la localidad de Ojo de Agua, al sur de la provincia de Santiago del Estero, ya en la llanura del Chaco semiárido, pero cercana al corredor mencionado, se extiende un enjambre híbrido entre las especies de algarrobos blancos *P. alba* y *P. chilensis*. Esto se pudo comprobar mediante estudios morfológicos no publicados en ocasión de la realización de trabajos de exploración de sitios adecuados para la instala-

ción de rodales semilleros de *P. alba* puros.

En cercanías de la localidad de Santa Victoria, en el extremo noreste de la provincia de Salta, se encuentra en estudio (Vega et al., 2013<sup>31</sup>) un enjambre híbrido entre las especies *Prosopis alba* y *P. nigra*. Este enjambre se encuentra sobre el área de derrame del río Pilcomayo que actúa como fuente de perturbación natural. A través de la caracterización morfológica de hojas y frutos se pudo observar que en los individuos con morfología intermedia existe un desacople entre los caracteres de hoja y de fruto, no observado en ningún enjambre de los estudiados. Normalmente los individuos intermedios se caracterizan por su morfología intermedia de hojas y frutos. En este caso aparecen individuos con hojas del tipo de *P. alba* y con fruto propio de *P. nigra*, y viceversa. Esta característica le da un valor especial a esta zona tanto para el mejoramiento como para conservación, ya que probablemente se encuentren arreglos genéticos poco frecuentes entre ambas especies.

En la provincia de Formosa la distribución de *Prosopis alba* y de *P. hassleri* están claramente separadas. *Prosopis hassleri* ocupa una franja de unos 50 km de ancho a lo largo del río Pilcomayo desde el extremo este de la provincia y hasta el centro, coincidiendo al oeste con el límite entre el Chaco subhúmedo y semiárido (Kees et al., 2011<sup>7</sup>) (Figura 1). Para *P. hassleri* se trata del extremo sur de su distribución natural, cuya mayor parte se encuentra más al norte, en Paraguay. *Prosopis alba* rodea esta área por el sur y al oeste. Entre ambas especies existe entonces una extensa franja de contacto en territorio argentino. A lo largo de esa franja se ha observado la presencia de un posible híbrido con características morfológicas intermedias entre ambas especies (Vega et al., 2012<sup>30</sup> y datos no publicados). En algunos casos se pueden encontrar individuos con este fenotipo intermedio formando poblaciones puras sin la presencia de las especies parentales putativas, principalmente en áreas perturbadas. Por otro lado, en zonas especialmente perturbadas asociadas a la acción antrópica, como las inmediaciones de poblados y en los “puestos” (chacras, pequeños desmontes, etc.) se identificaron desde el punto de vista morfológico enjambres híbridos, donde se encuentran presentes, además de *P. alba* y *P. hassleri*, este morfotipo intermedio antes mencionado. Acompañan también en estos sitios otras especies del género (*P. nigra* y *P.*

*ruscifolia*) y otros probables híbridos interespecíficos (Vega *et al.*, 2012<sup>30</sup>, 2013<sup>31</sup>), constituyendo zonas de altísima diversidad morfológica y muy probablemente genética. Estos enjambres híbridos, de distribución espacial restringida, ofrecen una situación óptima para analizar en un pequeño espacio los procesos microevolutivos que estarían implicados en este complejo de especies.

## Estudios ecofisiológicos

Los estudios ecofisiológicos constituyen una fuente de información clave en los programas de mejoramiento y conservación de especies forestales nativas. En base a estos estudios se pueden determinar caracteres de selección temprana tanto para la adaptación a ambientes estresantes como para la producción. Por otro lado, las nuevas herramientas biotecnológicas basadas en marcadores moleculares desarrollados a partir de secuencias de transcriptos, pueden mejorar significativamente la estimación de los fenotipos, aumentar las ganancias genéticas y disminuir los tiempos en cada ciclo de mejora para caracteres adaptativos. Por lo tanto, los procesos de adaptación a ambientes estresantes actuales y que se sucederán en el futuro a partir del cambio climático se pueden abordar mediante dos disciplinas (ecofisiología y genética) en forma separada o se puede trabajar con enfoque multidisciplinario aumentando el grado de conocimiento de los procesos evolutivos.

Para el género *Prosopis* se contaba únicamente con marcadores moleculares neutrales (Mottura, 2005) que se utilizaron y se siguen utilizando para estudios de la variabilidad genética neutral y para caracterizar las distintas unidades genéticas (ej. morfotipos) en el programa de mejoramiento y conservación. Sin embargo no se contaba con marcadores moleculares de áreas codificantes del genoma, que podrían estar asociados a caracteres adaptativos.

El INTA a través de sus proyectos institucionales y con el apoyo del PROMEF ha puesto mucho esfuerzo en la generación de un catálogo de genes y posteriormente el desarrollo de marcadores moleculares mediante la secuenciación del transcriptoma de *P. alba* (Torales *et al.*, 2013<sup>41</sup>). Para este desarrollo se utilizó RNA extraído de hojas de genotipos provenientes de 3 poblaciones: Campo Durán (Salta), Isla Cuba

(Formosa) y Chañar Bajada (Santiago del Estero). Como resultado de esta secuenciación se obtuvieron 1.103.231 secuencias, correspondientes a 54.814 genes, de los cuales 37.563 tienen función conocida y 700 están relacionados a estrés. También se identificaron 5.956 marcadores microsatélites (SSRs) y 6.158 marcadores de polimorfismo de un solo nucleótido (SNPs) (Torales *et al.*, 2013<sup>41</sup>). De todo este universo se seleccionó un grupo de 87 microsatélites de genes relacionadas a la tolerancia del estrés abiótico, para su validación. Se obtuvieron como resultado 11 marcadores polimórficos, los cuales fueron caracterizados en 52 individuos de *P. alba*. Con el fin de obtener marcadores funcionales SSRs en otras especies del género, se realizó la transferencia a las especies *P. denudans*, *P. hassleri*, *P. flexuosa*, *P. chilensis* e híbridos interespecíficos entre estas dos últimas especies (Pomponio *et al.*, 2015<sup>40</sup>, en prensa).

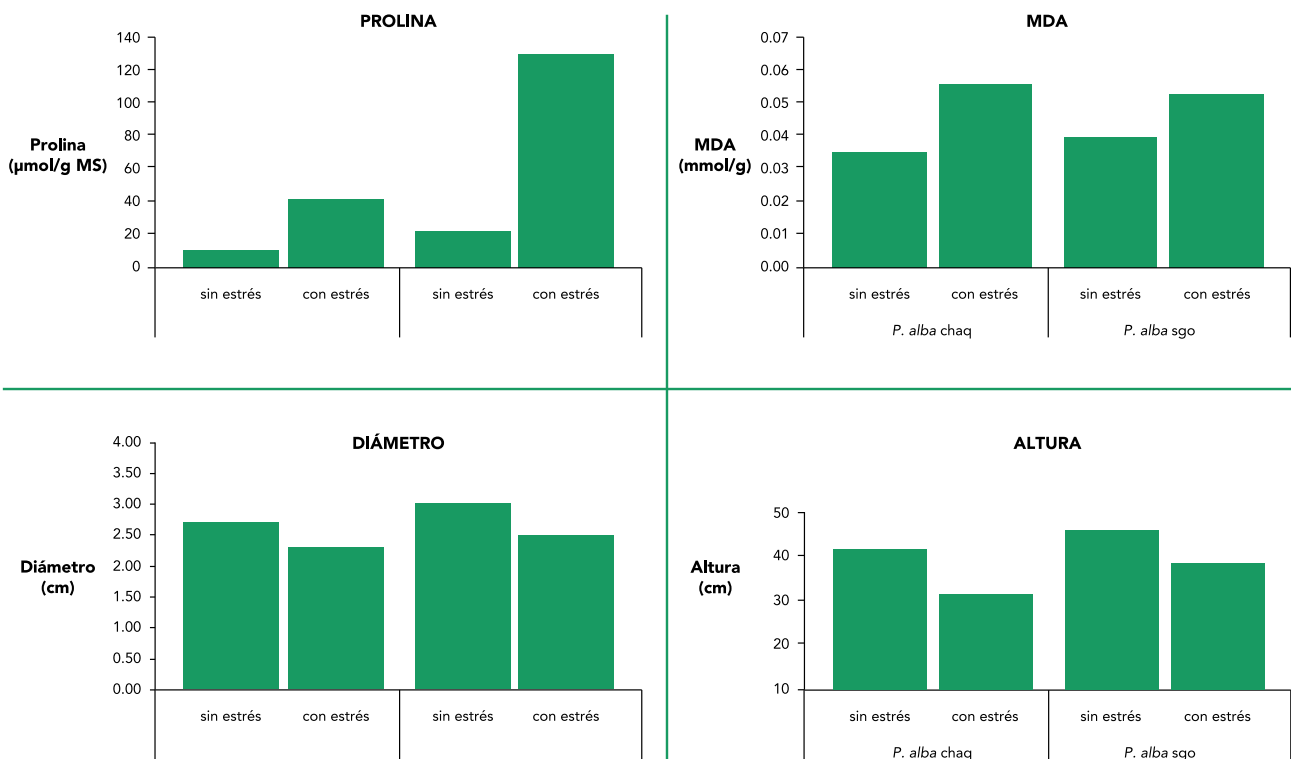
Por otro lado se buscaron secuencias de genes disponibles en base de datos públicas provenientes de organismos modelos como *Arabidopsis* y de especies relacionadas como *Prosopis juliflora*. Esta estrategia se utilizó para analizar la variabilidad en secuencias de seis genes candidatos relacionados a tolerancia a estrés hídrico y salino en las especies de *Prosopis chilensis*, *P. flexuosa* y sus híbridos interespecíficos (Pomponio *et al.* 2014<sup>39</sup>). Se realizó una búsqueda e identificación de polimorfismos de un solo nucleótido (SNPs según sus siglas en inglés). Los resultados mostraron una diversidad nucleotídica ( $\pi$ ) promedio más alta en *P. flexuosa* (0.0062) y en los híbridos (0.0073) que en *P. chilensis* (0.0046). En cuanto al coeficiente de diferenciación genética  $F_{st}$ , mostró una mayor similitud de los híbridos con *P. chilensis* y un gran nivel de diferenciación entre ambas especies, coincidiendo con un estudio previo de Mottura (2006) utilizando marcadores microsatélites neutrales.

También se ha ido avanzando en la caracterización de los mecanismos de tolerancia al estrés hídrico comparando dos morfotipos de *Prosopis alba*: *P. alba* “chaqueño” y *P. alba* “santiagueño”. En un ensayo de invernadero bajo condiciones controladas de disponibilidad de agua, plantines de un mes y medio de edad se sometieron a tratamientos de estrés hídrico y condiciones de riego normal. Se evaluó la concentración de malondialdehído (MDA) como indicador de daño oxidativo de membrana

(Pastori y Trippi, 1992) y se pudo observar que a los 10 días de tratamientos de estrés, el contenido de MDA aumentó en mayor proporción en *P. alba* “chaqueño” que en el “santiagueño”. Además se midió el contenido de prolina como indicador de ajuste osmótico (Sen y Metha, 1998) y se observó que las dos presuntas subespecies aumentaron la concentración bajo tratamientos de estrés, pero este efecto fue mayor en el *P. alba* “santiagueño” (6 veces más) que en *P. alba* “chaqueño” (4 veces más) respecto de cada uno de los controles sin estrés, mostrando una mayor capacidad para realizar ajuste osmótico del santiagueño. Como indicador de crecimiento se midió la altura total de la planta. Al finalizar el ensayo, la media de la altura de las plantas bajo estrés hídrico fue en *P. alba* “chaqueño” un 25% menor que la del tratamiento control, mientras que en el “santiagueño” la diferencia fue sólo un 15% respecto de su control sin estrés (Figura 10). En este trabajo se pudo comprobar que estos morfotipos que provienen de áreas ecológicas distintas se diferencian también en cuanto a las respuestas frente al estrés

hídrico. *P. alba* “santiagueño”, que se distribuye en áreas ecológicas más xéricas, tiene la capacidad de realizar un ajuste osmótico más fuerte y de disminuir el daño oxidativo, mostrando una mejor tolerancia al estrés hídrico (López Lauenstein *et al.* 2010<sup>9</sup>).

A partir de estas diferencias encontradas entre morfotipos de *Prosopis alba* se están intensificando los estudios de los mecanismos de tolerancia al estrés hídrico, puntualizando el análisis sobre tres rodales semilleros que se corresponden a tres morfotipos distintos: Campo Durán (norte de Salta), Isla Cuba (oeste de Formosa) y Santiago del Estero (Figura 2). Se están fenotipando de acuerdo a su grado de tolerancia a la sequía aproximadamente 30 familias por rodal (Figura 11). Con este fenotipado se busca realizar un mapeo asociativo utilizando los marcadores desarrollados por genes candidatos relacionados con la tolerancia al estrés hídrico mencionados al comienzo de este apartado. El objetivo es encontrar marcadores moleculares de regiones codificantes del genoma (Torales *et al.*, 2013<sup>41</sup>) que estén relacionados con la tole-



**Figura 10.** Contenido de prolina (µmol/g MS), malondialdehído MDA (mmol/g), diámetro a la base del tallo (cm) y altura total (cm) de los morfotipos *P. alba* chaqueño y *P. alba* santiagueño sin estrés hídrico y con estrés hídrico.



**Figura 11.** Ensayo bajo condiciones controladas para la fenotipificación de familias de medio hermanos de los rodales semilleros de Campo Durán, Isla Cuba y Santiago del Estero.

rancia al estrés hídrico para su uso tanto en selección temprana para el mejoramiento, como en estudios de diversidad adaptativa de poblaciones naturales.

## Rizobios

El algarrobo blanco (*Prosopis alba* Griseb.) es una de las especies nativas de mayor importancia económica y un recurso natural estructurador de ecosistemas clave del Parque Chaqueño argentino. Esta amplia y vasta región, cuyas precipitaciones decrecen de este a oeste y varían entre 500 y 1200 mm anuales, está frecuentemente sometida a limitantes ambientales como sequía, altas temperaturas y escasa disponibilidad de nutrientes. Estos estreses abióticos, que en general aparecen combinados, inciden fuertemente en la diversidad de las especies vegetales con capacidad de establecerse, condicionan su sobrevivencia y modifican la biodiversidad de microorganismos del suelo y los tipos de relaciones mutuas que entre ellos se establecen. El nitrógeno es un elemento esencial, debido

a las cantidades requeridas por las plantas y a la frecuencia con que se observan deficiencias en suelos, por lo que el crecimiento y desarrollo de los vegetales depende en gran medida de su abastecimiento en tiempo y forma. *Prosopis alba*, al igual que otras leguminosas, es capaz de incorporar  $N_2$  del aire, a través de un proceso llamado fijación biológica de nitrógeno (FBN). La FBN ocurre mediante el establecimiento de una estrecha relación -llamada simbiosis- con un tipo de bacterias del suelo, colectivamente conocidas como rizobios. La simbiosis es la resultante de un proceso finamente regulado entre los socios “planta y microorganismos” e implica el reconocimiento mutuo y específico que se orquesta a través del intercambio de moléculas señales para la identificación de la compatibilidad. El diálogo molecular comienza cuando la planta libera desde las raíces al suelo compuestos orgánicos que atraen a los rizobios y luego produce (iso) flavonoides que inducen, por parte de las rizobacterias, la síntesis de otras moléculas llamadas factores Nod (FN). Este reconocimiento desencadena un programa de desarrollo que concluye con la formación de



nódulos en la raíz y permite la colonización o infección por parte de los rizobios, que una vez alojados en el interior de las células del nódulo, se diferencian en bacteroides, fijan el  $N_2$  del aire y lo transforman en amonio, que es la forma en que las plantas asimilan el nitrógeno como nutriente. Además de la fijación biológica, beneficiosa en términos de incorporación de nitrógeno, la percepción de los rizobios induce en las leguminosas un conjunto de efectos sistémicos que contribuyen a que las plantas elaboren respuestas adaptativas más eficientes, sobre todo en condiciones ambientales limitantes, por lo cual la presencia de las rizobacterias específicas contribuye favorablemente a la supervivencia de las plantas durante su establecimiento.

Esta línea de trabajo tiene por objetivos caracterizar la diversidad de rizobios nativos presentes en suelos del Parque Chaqueño capaces de nodular *Prosopis alba*, verificar si los sitios de procedencia de los aislamientos de rizobacterias podían asociarse a tolerancia diferencial a condiciones de estrés hídrico y evaluar la factibilidad de seleccionar aislamientos de rizobios para su empleo en la inoculación de *P. alba* a fin de que contribuyan a la implantación y crecimiento de plantines de algarrobo.

Para aislar las rizobacterias, se colectaron muestras de suelo de las localidades Isla Cuba, Bolsa Palomo y Padre Lozano del Chaco Semiárido, San Miguel del Chaco Árido y Colonia Benítez del Chaco húmedo (Figura 12, izquierda). Las muestras de suelo se utilizaron como inó-

culo mezclándolo con sustrato estéril para la producción de plantines de *P. alba*. A los 120 días de crecimiento bajo riego normal, se extrajeron los nódulos que se habían desarrollado en la raíces de estos plantines (Figura 12, centro y derecha). Los nódulos colectados fueron machacados con una varilla de vidrio en condiciones de esterilidad. El producto del machacado fue cultivado en un medio específico para que desarrollen las rizobacterias.

A fin de identificar distintas cepas aisladas se emplearon algunas técnicas moleculares como PCR BOX-A1R, cuya resultante es un patrón de bandas a partir de las que puede obtenerse información para evaluar similitudes e inferir diversidad entre los aislamientos de rizobacterias obtenidas. Por estos procedimientos se pudo reducir de cien a treinta y tres el número de aislamientos, descartando aquellos que podrían interpretarse como muy similares. El mayor grado de variabilidad se observó en los aislamientos provenientes del Chaco semiárido. Se evaluó la capacidad de estos rizobios de tolerar estrés hídrico moderado y severo. Los aislamientos provenientes de San Miguel (Chaco árido) y de Padre Lozano (Chaco semiárido), ambas localidades con las mayores restricciones hídricas, presentaron las tasas de sobrevivencia más altas en estrés hídrico severo.

Por otro lado, cada uno de los 33 aislamientos fue evaluado mediante la inoculación de plántulas de *P. alba*. Luego de 50 días de crecimiento en condiciones óptimas de riego, se cosecharon



**Figura 12.** Izquierda: Sitios de muestreo de suelos. Centro: Nódulos en raíces de una plántula de algarrobo blanco producida en tubete en condiciones de vivero (Estación Experimental Fernández - UCSE). Derecha: Nódulos de rizobios en algarrobo blanco utilizados para obtener los aislamientos de bacterias.

las plantas y se midieron nodulación y parámetros de crecimiento como longitud aérea y de raíz y peso seco aéreo y radicular. Estos datos permitieron seleccionar nueve aislamientos de rizobacterias en función de su mayor contribución al crecimiento de las plántulas analizadas. Mediante el análisis de la secuencia del gen ribosomal 16S (16S rDNA) estas nueve cepas seleccionadas fueron clasificadas taxonómicamente. Se pudo establecer que de los cinco aislamientos provenientes de Bolsa Palomo, tres pertenecían al género *Mesorhizobium* y dos al género *Sinorhizobium*. De los dos aislamientos seleccionados de Padre Lozano, uno pertenecía al género *Bradyrhizobium* y el otro a *Sinorhizobium*. Los aislamientos obtenidos de Colonia Benítez e Isla Cuba fueron especies de los géneros *Mesorhizobium* y *Rhizobium* respectivamente. Este es el primer reporte del establecimiento de simbiosis de *Prosopis alba* con géneros de rizobios distintos de *Mesorhizobium*, el único que había sido descrito en la región de Chancaní en Córdoba (Chavéz *et al.*, 2013<sup>34</sup>). Actualmente algunos de estos aislamientos están siendo ensayados como inoculantes en condiciones de vivero en la EEA INTA Concordia (Salto *et al.*, 2015<sup>326</sup>). También se están realizando ensayos bajo condiciones controladas con estos materiales en el IFRGV. En ambos casos se evalúa el efecto sobre las condiciones de las plántulas (crecimiento, sanidad, vigor). Bajo condiciones controladas se observa además el aumento en la tolerancia a situaciones de estrés hídrico, inducido por la asociación simbiótica. La presencia de estos organismos benéficos puede jugar un papel significativo modulando la capacidad adaptativa de los plantines a través de la incorporación del nitrógeno atmosférico y del mantenimiento del contenido hídrico, mejorando por tanto los sistemas naturales y productivos que integran.

## Micorrizas

La utilización de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) constituye una estrategia promisoriosa para mejorar el crecimiento de los plantines en viveros forestales, como así también su supervivencia cuando son trasplantados a condiciones de campo (Bashan *et al.*, 2000; Kapoor *et al.*, 2008).

Numerosas investigaciones muestran que la

simbiosis con HMA puede mitigar tanto el estrés abiótico como el biótico en las plantas. Dicha capacidad se ha relacionado con una mayor provisión de nutrientes y absorción de agua (Smith y Read, 2008). Además, se ha reportado que los hongos aislados de zonas áridas y semiáridas resultaron ser más efectivos frente al estrés por sequía que las especies exóticas. Asimismo, la presencia de HMA nativos adaptados a condiciones de sequía mejoró la capacidad fisiológica de las plantas para resistir la baja disponibilidad de agua en el suelo (Marulanda *et al.*, 2006).

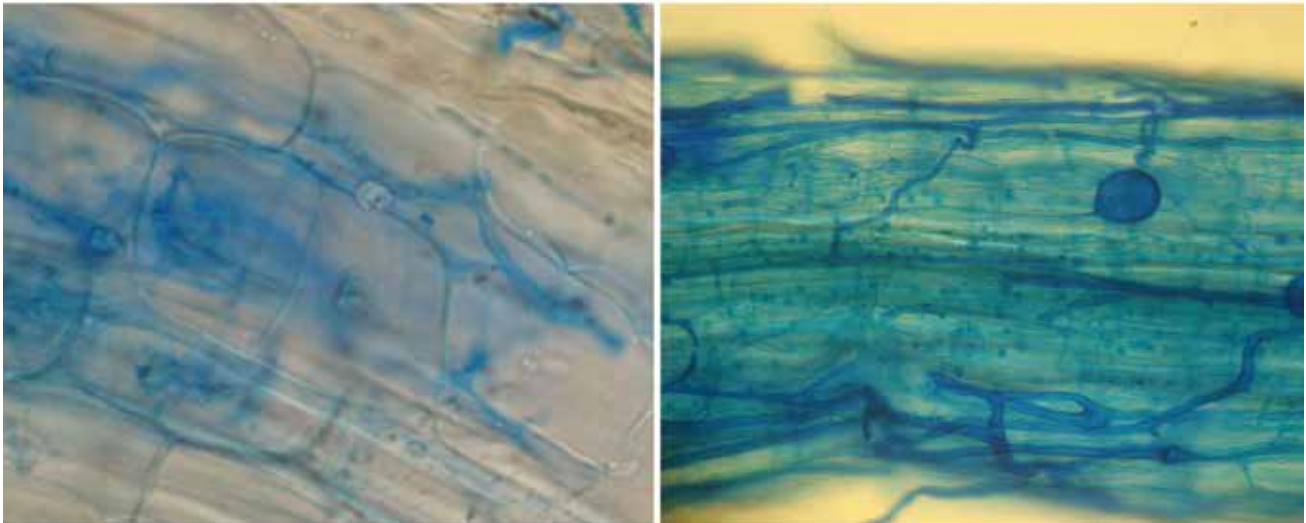
En Argentina existen pocos estudios sobre los HMA en zonas de algarrobales (Piatti e Iglesias, 2004). No hay información de la composición de morfo-taxas de esporas de HMA nativos de algarrobo y faltan análisis fisiológicos/bioquímicos acerca del comportamiento de inóculos micorrícicos en algarrobo bajo condiciones de sequía.

Esta línea de trabajo busca caracterizar y seleccionar inóculos mixtos de HMA nativos que confieran mayor tolerancia a la sequía en plantines de *P. alba*. También se están generando conocimientos sobre las bases fisiológicas y bioquímicas de este proceso, con especial énfasis en el estrés oxidativo y la defensa antioxidante, con el objetivo de contribuir al programa de mejoramiento genético y de conservación dinámica de la especie.

Para ello se tomaron muestras de suelos de dos sitios de algarrobales de *Prosopis alba* Griseb. de condiciones pluviométricas contrastantes, un sitio semiárido y un sitio húmedo, ambos pertenecientes al Parque Chaqueño argentino.

En las muestras de suelo traídas de los rodales seleccionados se realizó el aislamiento de las esporas de HMA y se utilizaron plantas de alfalfa, sorgo y *Prosopis alba* como plantas trampa mezclado con un sustrato estéril conformado con una mezcla de tierra y arena. Las macetas estuvieron durante un año en condiciones controladas de invernáculo y regadas con agua filtrada. Al finalizar el año se comprobó la presencia de estructuras características de las micorrizas mediante la técnica de tinción de las raíces siguiendo el método de Philips y Hayman (1970) (Figura 13).

Para multiplicar y obtener el inóculo de cada uno de los sitios para ser utilizado posteriormente en los experimentos se cortaron las raíces de las plantas trampa en fragmentos de un



**Figura 13.** Raíces teñidas de plantas trampa micorrizadas: Izquierda: Arbusculos, estructura responsable del intercambio entre micorriza y planta. Derecha: Hifas y vesículas, órganos de reserva

cm aproximadamente y fueron mezcladas con sustrato estéril. Se sembró alfalfa, sorgo y algarrobo blanco. A los ocho meses se les realizó la evaluación del potencial de infectividad de cada uno de estos inóculos.

El comportamiento de la simbiosis de *Prosopis alba* - inóculos de HMA-, fue estudiado mediante un ensayo bajo condiciones de riego y sequía.

El ensayo se realizó con un diseño tri-factorial en bloques completamente al azar. Los factores fueron: factor sitio (origen de los inóculos mixtos): semiárido y húmedo; factor micorrización con dos niveles: plantines micorrizado y no micorrizado y factor riego con dos niveles: riego (control) y sequía al 10% del contenido hídrico del suelo.

Para este ensayo, en el tratamiento M, las plántulas se inocularon al momento del transplante con 20 g del inóculo micorrízico mixto y a los plantines del lote NM, se les agregó el producto de la filtración del inóculo-suelo con todos los microorganismos propios del inóculo mixto, pero sin los hongos micorrízicos presentes en el inóculo original. Para ello, 20 g de inóculo fueron filtrados y se retuvieron los fragmentos de raíces y esporas de hongos micorrízicos (Mortimer *et al.*, 2008). De este modo, las diferencias observadas en los distintos tratamientos corresponderán a la presencia o ausencia de HMA.

A los 60 días de iniciado el ensayo, cuando se comprobó un 30 % de micorrización, se inició el tratamiento de sequía, suspendiendo el riego

a la mitad de las plantas, tanto de los testigos sin micorrizas como de las inoculadas. A los 80 días siguientes se alcanzó aproximadamente al 10% del contenido hídrico del suelo (CHS) en la totalidad de las plantas del ensayo. En ese momento se midieron porcentaje de micorrización y variables de crecimiento expresadas como “dependencia micorrízica” (DM) =  $(M - NM) / M \times 100$ . M = micorrizadas; NM = no micorrizadas, según Plenchette *et al.*, (1983).

El porcentaje de micorrización no se afectó en sequía. En general la DM fue positiva en todos los tratamientos de sequía, mostrando que ambos inóculos beneficiaron el crecimiento de las plántulas bajo estrés. La DM en el diámetro aumentó con ambos inóculos en las plantas bajo estrés por sequía. Se concluye que el agregado de ambos inóculos micorrízicos, mejoró de manera similar y significativa el comportamiento de la plántula de algarrobo frente a los efectos negativos de la sequía. También se ha iniciado la evaluación de estos inóculos bajo condiciones de vivero (Salto, 2015, <sup>b27</sup>).

## Bibliografía

### Publicaciones realizadas en el marco del PROMEF

#### Congresos, jornadas y talleres

1. Chávez Díaz L, López Lauenstein, González P, Lascano R., Verga A, Melchiorre M. 2011. Caracterización de rizobios que nodulan *Prosopis alba* en la región del Chaco Argentino. V Reunión GEMFO (Grupo de Genética Mejoramiento de Forestales) ISBN 978-987-679-082-6 Balcarce, Buenos Aires, 15-17 de noviembre de 2011.
2. Chávez Díaz L, Lopez Lauenstein D, González P, Lascano R, Verga A Melchiorre M. 2011. Rizobios que nodulan *Prosopis alba* en el Chaco árido argentino. XXV Reunión Latinoamericana de Rizobiología I Congreso Nacional de MO promotores de crecimiento vegetal. Piriapolis Uruguay, 4-9 de setiembre de 2011.
3. Chávez Díaz L, López Lauenstein, González P, Lascano R., Verga A, Melchiorre M. 2012 Caracterización de rizobios que nodulan *Prosopis alba* en la región de Chaco argentino Primer Simposio del Algarrobo 2012. El Algarrobo un tesoro de la naturaleza en el oasis de Calama. Calama Chile 7-9 de marzo de 2012. (Presentacion oral.)
4. Chávez Díaz L, López Lauenstein, González P, Lascano R., Verga A, Melchiorre M. 2012. Rizobios que nodulan *Prosopis alba* en la Región Chaqueña argentina: variabilidad molecular y selección para su uso como inoculantes II Jornadas de difusión de Investigación y Extensión en Ingeniería Química Córdoba 1-2 Agosto 2012 ISBN 978-987-27468-3-4.
5. Chávez Díaz L, González P Rubio E, Melchiorre M. 2013. Diversity and stress tolerance in rhizobia from Parque Chaqueño region of Argentina nodulating *Prosopis alba* II Conferencia Iberoamericana de Interacciones Beneficiosas Microorganismo-Planta-Ambiente (IBEMPA) XIV Reunión Nacional de la Soc. Española de Fijación de Nitrogeno (SEFIN). XXVI Reunión Latinoamericana de Rizobiología (ALAR). III congreso Hispano-Portugués de Fijación de Nitrógeno. Sevilla, 2-6 Septiembre 2013.
6. Cosacov A., Venier P., Verga A. y López Lauenstein D. 2012. Impacto del cambio climático sobre la distribución de *Prosopis hassleri* y *P. alba* en la región Chaqueña. Reunión Nacional del Algarrobo. Córdoba, 15 y 16 de Noviembre de 2012.
7. Kees S., Gómez C., Verga A., Vera M., Cardozo F, López D., Muttoni F y Gon V. 2011. Predicción del área potencial de dispersión de *Prosopis hassleri* en la provincia de Formosa, Argentina. I Congreso Forestal del Chaco Sudamericano – Abril de 2011. Filadelfia – Paraguay.
8. Kees S., Gómez C., Verga A. y Muttoni F. 2012. Funciones de volumen de fuste para arboles individuales de forestaciones con *Prosopis alba* Griseb. en la provincia del Chaco. Reunión Nacional del Algarrobo. Córdoba, 15 y 16 de Noviembre de 2012.
9. López Lauenstein D., Luna C., y Verga A. 2010. Respuesta al estrés hídrico en dos grupos morfológicos de *Prosopis alba*. XXVIII Reunión Argentina de Fisiología Vegetal. Septiembre de 2010.
10. López Lauenstein D., Vega C., Ritter R., Venier P., Gómez C. y Verga A. 2012. Ensayos de orígenes de *Prosopis alba*. Reunión Nacional del Algarrobo. Córdoba, 15 y 16 de Noviembre de 2012.
11. López Lauenstein, D; Vega, C; Venier, P; Verga, A. 2013. Ensayos de orígenes de Algarrobo blanco. “4to Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano Iguazú”. 23 al 27 de Septiembre de 2013. Iguazú, Misiones. ISSN 1669-6786.
12. Pomponio, M.F., Acuña, C., Pentreath, V., López Lauenstein, D., Marcucci Poltri, S., Torales, S. 2014. Transferencia de microsátélites funcionales en especies del género *Prosopis*. Trabajos Técnicos. Grupo de Genética y Mejoramiento Vegetal. VI Reunión GEMFO, Campana (Bs.As). ISBN: 978-987-521-484-2 pag.99-102.
13. Pomponio, M.F., Acuña, C., Pentreath, V., Verga, A., Marcucci, S., Torales, S. 2013. Variabilidad de SSRs funcionales en especies del género *Prosopis*. Journal of Basic & Applied Genetics | 2013 | Volumen 24 | Issue 1 | Supp.pp12
14. Pomponio, M.F., Torales, S., Verga, A., Marcucci Poltri, S. 2011. Genes Candidatos Involucrados en la Respuesta a Estrés Hídrico y Salino en el Género *Prosopis* utilizando Marcadores SNPs. V Reunión GEMFO, 15-17 de noviembre. ISBN: 978-987-679-082-6.
15. Pomponio, M.F., Torales, S., Verga, A., Marcucci Poltri, S. 2011. Estudios de características adaptativas en el género *Prosopis* utilizando marcadores SNPs. Congreso Argentino de Genética, 2011. XL Congreso Argentino de Genética, III Simposio Latinoamericano de Citogenética y Evolución I Jornadas Regionales SAG-NEA. Corrientes, 18 al 21 de Septiembre de 2011
16. Sagadín, M., Cabello, M., Verga, A., López Lauenstein, D. y Luna C. 2012. Caracterización del comportamiento bajo condiciones de riego de inóculos mixtos de hongos micorrícicos arbusculares en simbiosis con *Prosopis alba*. Reunión Nacional del Algarrobo. Córdoba, 15 y 16 de Noviembre de 2012.
17. Sagadín, M., Cabello, M., Verga, A., Gómez D., López Lauenstein, D. y Luna C. 2014. La simbiosis con inóculos mixtos de hongos micorrícicos arbusculares: una estrategia para el crecimiento de plantines de *Prosopis alba* en zonas marginales. XV Congreso Latinoamericano XXX Reunión Argentina de Fisiología Vegetal del 21 al 24 de Septiembre del 2014, Mar del Plata, Argentina.
18. Sagadín, M., Cabello, M., Verga, A., López Lauenstein, D. y Luna C. 2015. Desarrollo de estrategias experimentales para la evaluación de la simbiosis hongos micorrícicos arbusculares nativos *Prosopis alba* en condiciones controladas. IV Congreso Nacional de Ecología y Biología de Suelos. CONEBIOS, 28,29 y 30 de Abril de 2015. Ciudad de Esquel. Chubut, Argentina.
19. Salto, C. S.; López, C. R. 2011. Variación genética en progenies de polinización abierta de *Prosopis alba* Griseb. de la Región Chaqueña. V Reunión GEMFO. Región Pampeana, Buenos

- Aires. Argentina.
20. Salto, C. S.; Oberschelp, G. P. J.; Harrand, L. 2012. Recolección, acondicionamiento y transporte de material vegetal de *Prosopis alba* Griseb. para propagación vía estacas. Reunión Nacional del Algarrobo. Córdoba, Argentina. 15 y 16 de Nov de 2012.
  21. Salto, C. S.; García, M. A.; Harrand, L. 2012. Influencia de diferentes sustratos y envases sobre variables morfológicas de dos especies de *Prosopis* en vivero. Reunión Nacional del Algarrobo. Córdoba, Argentina. 15 y 16 de Nov de 2012.
  22. Salto, C.S.; López, C.R. 2012. Variación genética en progenies de polinización abierta de *Prosopis alba* Griseb. de la Región Chaqueña. Reunión Nacional del Algarrobo. Córdoba, Argentina. 15 y 16 de Nov de 2012.
  23. Salto, C. S.; Oberschelp, G. P. J.; Harrand, L. 2012. Rescate de árboles selectos de *Prosopis alba* Griseb. mediante enraizamiento de estacas. IV Jornada de algarrobo. Laguna Yema, Formosa. Argentina. 22 de agosto de 2012.
  24. Salto, C.S.; Harrand, L. 2013. Forestación con algarrobo. Líneas de Investigación en algarrobo blanco. 56 Reunión del COFRU. Concordia, Entre Ríos. Argentina.
  25. Salto, C.S.; Harrand, L. 2014. Los Recursos Genéticos de algarrobo blanco y negro en la provincia de Entre Ríos. Capacitación para extensionistas. EEA Paraná. Entre Ríos. Argentina. 30 de Junio de 2014.
  26. Salto, C.; Oberschelp, J.; Melchiorre, M.; Pozzi, E.; Harrand, L. 2015a. Efecto de la fertilización e inoculación con rizobios sobre el crecimiento de plantines de algarrobo blanco en condiciones de vivero. XXIX Jornadas Forestales de Entre Ríos. 24 y 25 de septiembre de 2015.
  27. Salto, C.; Sagadín, M.; Luna, C.; Oberschelp, J.; Harrand, L. 2015b. Efecto de la fertilización y de hongos micorrícicos arbusculares nativos en el crecimiento de plantines de algarrobo blanco. XXIX Jornadas Forestales de Entre Ríos. 24 y 25 de septiembre de 2015.
  28. Torales, S., Rivarola, M., Pomponio, M.F., González, S., Acuña, C.V., Fernández, P., L Lauenstein, D., R Verga, A., Hopp, E., Marcucci Poltri, S. 2013. Secuenciación y caracterización del transcriptoma de hoja de la especie *Prosopis alba* y desarrollo de marcadores moleculares funcionales, VIII Encuentro Latino Americano y del Caribe de Biotecnología – RedBio. Mar del Plata, 18 al 22 de noviembre.
  29. Torales, L., Rivarola, M., Pomponio, M.F., González, S., Acuña, C., Fernández, P., L Lauenstein, D., verga, A., Hopp, E., N. Marcucci Poltri. S., 2014. Secuenciación y caracterización del transcriptoma de hoja de *Prosopis Alba* Griseb y desarrollo de marcadores moleculares funcionales. Trabajos Técnicos. Grupo de Genética y Mejoramiento Vegetal. VI Reunión, Campaña (Bs.As) GEMFO. ISBN: 978-987-521-484-2 pag.103-106
  30. Vega C, López Lauenstein D, Verga A. 2012. Caracterización morfológica del complejo *Prosopis alba- P.hassleri* en la Provincia de Formosa. Reunión Nacional del Algarrobo. Universidad Nacional de Córdoba. IFRGV-CIAP-INTA. 15 y 16 de Noviembre de 2012. Córdoba, Argentina.
  31. Vega, C; Cosacov, A; Teich,I; López Lauenstein D; Verga, A. 2013. Caracterización de la variación morfológica en un enjambre híbrido de *Prosopis alba- Prosopis nigra*. 4to Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano Iguazú. 23 al 27 de Septiembre de 2013. En carácter de EXPOSITOR. Iguazú, Misiones. ISSN 1669-6786.
  32. Vega, C; Cosacov, A; Acosta, MC; Verga, A. 2015. Caracterización del complejo *Prosopis alba-P. hassleri* por medio de caracteres morfológicos. I Reunión Argentina de Biología Evolutiva (RABE). 6 al 8 de Julio de 2015. Sesión de Poster. Córdoba.
  33. Venier P, Funes G, Verga A. 2013. Germinación de semillas de cuatro procedencias de *Prosopis alba* (Griseb) a distintos rangos de temperatura. 2013. II Taller Regional sobre Rehabilitación y Restauración en la Diagonal Árida de la Argentina. 23, 24 y 25 de Octubre de 2013. Mendoza, Argentina
- Revistas con referato**
34. Chávez Díaz L, González P, Rubio E, Melchiorre M. 2013 Diversity and stress tolerance in *rhizobia* from Parque Chaqueño region of Argentina nodulating *Prosopis alba*. Biol Fert Soil 49:1153-1165 (doi:10.1007/s00374-013-0814-6.
  35. Ferreyra L. I., Vilardi J., Verga A., López V. and Saidman B. 201. Genetic and morphometric markers are able to differentiate three morphotypes belonging to Section Algarobia of genus *Prosopis* (Leguminosae, Mimosoideae). Plant Syst Evol. 299:1157-1173
  36. Joseau M. J., Verga A. R., Díaz M. P and Julio N. 2013. Morphological Diversity of Populations of the Genus *Prosopis* in the Semiarid Chaco of Northern Cordoba and Southern Santiago Del Estero. American Journal of Plant Sciences. 4, 2092-2111.
  37. López Lauenstein D, Fernández ME y Verga A. 2012. Respuesta diferenciada a la sequía de plantas jóvenes de *Prosopis chilensis*, *P. flexuosa* y sus híbridos interespecíficos: implicancias para la reforestación en zonas áridas. Ecología Austral. 22(1):43-52.
  38. López Lauenstein D, Fernández M and Verga A. 2013. Drought stress tolerance of *Prosopis chilensis* and *Prosopis flexuosa* species and their hybrids. Trees-Structure and Function. 27:285-296.
  39. Pomponio, M.F., Marcucci Poltri, S., López Lauenstein, D., Torales, S. 2014. Identification of single nucleotide polymorphisms (SNPs) at candidate genes involved in abiotic stress in two *Prosopis* species and hybrids. Forest Systems 23(3):490-493. <http://dx.doi.org/10.5424/fs/2014233-05437>
  40. Pomponio, M.F., Acuña, C., Petreath, V., L. Lauenstein, D., Marcucci Poltri, S., Torales, S. 2015. Characterization of functional SSR markers in *Prosopis alba* and their transferability across *Prosopis* species. Forest Systems (en prensa) ISSN: 2171-5068 eI SSN: 2171-9845.
  41. Torales, S.L., Rivarola, M., Pomponio, M.F., Gonzalez, S., Acuña, C.V., Fernández, P., L. Lauestein, D., Verga, A., Hopp, E.,

Paniego, N.B., Marcucci Poltri, S.N. 2013. De novo assembly and characterization of leaf transcriptome for the development of functional molecular markers of the extremophile multipurpose tree species *Prosopis alba*. BMC Genomics.2013, 14:705. DOI: 10.1186/1471-2164-14-705 URL: <http://www.biomedcentral.com/1471-2164/14/705>

42. Salto, C. S; García, M. A; Harrand, L. 2013. Influencia de diferentes sustratos y contenedores sobre variables morfológicas de plantines de dos especies de *Prosopis*. Quebracho 21 (1,2): 90-102.
43. Verga, A. 2014. Rodales semilleros de *Prosopis* a partir del bosque nativo. Quebracho Vol.19(1,2):125-138.

### Tesis finalizadas

44. Salto, C. S. 2011. Variación Genética en Progenies de Polinización Abierta de *Prosopis alba* Griseb. de la Región Chaqueña. Tesis para obtener el título de Magister en genética vegetal. Zavalla, Sante Fe. Argentina. Director: Dr. Carlos López.
45. López Lauenstein, D. 2010. Tesis de Maestría. Estrategias eco-fisiológicas de adaptación a la sequía en plantas jóvenes de dos especies de *Prosopis* L y sus híbridos interespecíficos. Escuela para Graduados. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba. Director: Dra. María Elena Fernández. 2010.
46. Svriz, I. Tesis de Maestría. Análisis de recursos genéticos y propagación agámica como herramientas para la domesticación del Algarrobo (*Prosopis alba* Griseb.). Universidad Internacional de Andalucía. 2012. Director Dr. Anibal Verga.
47. Kees, S. 2013. Tesina de grado de Ingeniería Forestal. Modelado de nicho ecológico para estimación del área de dispersión de *Prosopis hassleri* Harms en la provincia de Formosa – Argentina. Facultad de Recursos Naturales. Universidad Nacional de Formosa. Director: Ing. Ricardo Irribarren.
48. Chavez Díaz, L. 2012. Tesina de grado de Ciencias Biológicas. Caracterización taxonómica y respuesta a la sequía de cepas de rizobios nativos, que nodulan *Prosopis alba*, provenientes de distintas áreas del parque chaqueño. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. Director: Dra. Mariana Melchiorre.

## Acciones de transferencia

El principal objetivo del subprograma se centra en la calidad genética del material de propagación de algarrobo para forestación. La recolección, procesamiento y distribución de semilla de algarrobo en el Parque Chaqueño se encuentra fuertemente concentrada en sólo cuatro instituciones públicas: el Banco de Germoplasma Forestal dependiente del Ministerio de la Producción de Formosa, el Instituto de Investigaciones Forestales y Agropecuarias de Chaco (IIFA), la Estación Experimental Fernández de la Universidad Católica de Santiago del Estero y el Banco Nacional de Germoplasma de *Prosopis* de la Universidad Nacional de Córdoba. A excepción

de esta última institución, el resto representa además la principal fuente de plantines para forestación con algarrobo del país. Por otro lado el Instituto Nacional de Semilla (INASE) es la autoridad de aplicación nacional sobre la calidad de semilla y la Dirección de Producción Forestal del MAGyP es la responsable de la aplicación de la ley de Promoción de las Inversiones Forestales, con incentivos para el uso de semilla de categoría seleccionada, según normas del INASE.

Esta situación ha determinado que los esfuerzos de transferencia del proyecto se hayan concentrada hacia estas instituciones. En tal sentido, se organizaron numerosas reuniones y talleres con referentes de estas instituciones a fin de divulgar los alcances del proyecto, los principales resultados obtenidos y las posibilidades de que éstos sean aplicados al dictado de normas para la producción de semilla. También se hizo hincapié en la necesidad de organizar un sistema regional de cosecha, procesamiento y distribución de semilla coordinado que se ajuste a normas de calidad y con posibilidad de trazabilidad a fin de avanzar en la domesticación a mediano y largo plazo.

Como resultado de estas gestiones y de la buena predisposición de las instituciones públicas mencionadas, se cuenta actualmente con instrumentos clave para el desarrollo de materiales de propagación adecuados y con un programa regional sobre semilla de algarrobo en marcha (ver apartado *Rodales semilleros* en Actividades y Resultados en este mismo capítulo).

## Impactos

Si bien aún es prematuro, la aplicación de las normas desarrolladas en el marco de este proyecto para la producción de semilla de algarrobo y formalizadas a través de la Resolución INASE 374/14, como así también la puesta en marcha de un sistema coordinado de producción, acondicionamiento y distribución de semilla, tendrá un fuerte impacto sobre la calidad de las forestaciones con algarrobo en el Parque Chaqueño a corto plazo. Puede afirmarse que éste ha sido un punto de inflexión en el proceso de domesticación de esta especie. Hasta el momento no existían antecedentes de la aplicación de conocimientos científicos en la producción de materiales de propagación de estas especies.

## Referencias

### Bibliografía citada

(no se incluye aquella propia publicada en el marco del PROMEF)

- Bashan Y., Davis E. A., Carrillo-García A. and Linderman R.G. 2000. Assessment of mycorrhizal inoculum potential in relation to the establishment of cactus seedlings under mesquite nurse-trees in the Sonora Desert. Applied Soil Ecology 14 (2) 165-175.
- Córdoba, A y Verga, A. 2006. Método de análisis fenológico de un

- rodal: Su aplicación en un enjambre híbrido de *Prosopis* spp. Ciencia e Investigación Forestal – Instituto Forestal / Chile. Volumen 14 N° 1: 92-109
- De Souza, S. M. y P. Felker. 1986. The influence of stock plant fertilization on tissue concentrations of N, P, and carbohydrates and the rooting *Prosopis alba* cuttings. Forest Ecology and Management 16:181-190.
- De Souza Nascimento, C. E. 1993. Propagação vegetativa da algarobeira por estaquia em casa de vegetação e em condições de telado. EMBRAPA (CEPATSA) N°77, fev./93, p.1-10.
- Dick, J. M.; K. East and R. R. B. Leakey. 1991. "Influence of propagation environment and cutting length on the rooting of *Prosopis juliflora* (Swartz) DC. Nitrogen Fixing. Tree Research Reports 9: 114-116.
- Donoso, C, J.; Atiena, J.1983. Bosques 5 (1): 21-34.
- Grant V. 1981. Plant speciation. Columbia Univ.Press. New York
- Harris, P. J. C. 1992. Vegetative Propagation of *Prosopis*. pp 175-191. En: Dutton, R.W. (Ed) *Prosopis* species: Aspects of their value, research and development. CORD, University of Durham, Durham, UK.
- Joseau, J. Verga, A. Díaz, M. 2005. Los Recursos Genéticos de *Prosopis*. IDIA XXI, Año V, n° 8, Julio de 2005. 207-211.
- Kapoor R., Sharma D. and Bhatnagar A.K. 2008. Arbuscular mycorrhizae in micropropagation systems and their potential applications. Scientia Horticulturae 116 (3, 1): 227-239.
- Klass, S.; R. Bingham; L. Finker y P. Felker. 1985. Optimization of environment for rooting cuttings of highly productive clones of *Prosopis alba* (mesquite/algarrobo). J. Hort. Sci. 60:275- 284.
- Klass, S.; J. Wright; P. Felker. 1987. Influence of Auxins Thiamin and Fungal Drenches on the Rooting of *Prosopis alba* Clone B-2v-50 Cuttings. J. Hort. Sci. 62: 97-100.
- Lewontin, R.C., Birch, L.C. (1966). Hybridization as a source of variation for adaptation to new environments. Evolution 20(3): 315--336.
- Marulanda, A., J. M. Barea, and R. Azcón. 2006. An indigenous drought-tolerant strain of *Glomus intraradices* associated with a native bacterium improves water transport and root development in *Remata sphaerocarpa*. Microbial Ecol. 52: 670-678.
- Mortimer P.E., Pérez-Fernández M.A. and Valentine A.J. 2008. The role of arbuscular mycorrhizal colonization in the carbon and nutrient economy of the tripartite symbiosis with nodulated *Phaseolus vulgaris*. Soil Biology & Biochemistry 40: 1019-1027.
- Mottura Martín C, Gailing Oliver, Verga Aníbal R, Finkeldey Reiner. 2005. Development and characterization of microsatellite markers for *Prosopis chilensis* and *P. flexuosa* and cross-species amplification. Molecular Ecology Notes 5: 487-489.
- Mottura, M. Development of microsatellites in *Prosopis* spp. and their application to study the reproduction system. Faculty of Forest Sciences and Forest Ecology Georg-August. University of Göttingen-Germany. Director Prof. Dr. Reiner Finkeldey. 2006
- Oberschelp, G. P. J. y Marcó, M. A. 2010. Efecto del ácido 3-indolbutírico sobre el enraizamiento adventicio y la altura de plantines clonales de *Prosopis alba* Grisebach. Quebracho 18 (1,2):112-119.
- Pastori, G. M. and Trippi, V. S. 1992. Oxidative stress induce high rate of glutathione reductase synthesis in a drought resistant maize strain. Plant Cell Physiol. 33: 957-961
- Petit R. J., Aguinalgalde I., de Beaulieu J.L., Bittkau C., Brewer S., Cheddadi R., Ennos R., Fineschi S., Grivet D., Lascoux M., Mohanty A., Müller-Starck G., Demesure-Musch B., Palme A., Martin J. P., Rendell S. y Vendramin G. G. 2003. Glacial refugia: hotspots but not melting pots of genetic diversity. Science, 300: 1563-1565.
- Plenchette C., Fortin J. A. and Furlan V. 1983. Growth responses of several plant species to mycorrhizae in a soil of moderate P - fertility. I Mycorrhizal dependency under field conditions. Plant and Soil 70: 199-209.
- Phillips J, Hayman D (1970) Improved procedures for clearing roots and staining
- Piatti C. L. e Iglesias M. C. 2004. Registro y cuantificación de la presencia de micorrizas vesículo-arbusculares en suelos de algarrobales. Universidad Nacional del Nordeste. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Resumen: A-058
- Saidman B (1986) Isoenzymatic studies of alcohol dehydrogenase and glutamate oxalacetate transaminase in four South American species of *Prosopis* and their natural hybrids. Silvae Genetica 35: 3-10.
- Sen D and Mehta M (1998) Seasonal variations of metabolic status of *Prosopis juliflora*. pp 35-37. In: *Prosopis* Species in the Arid and Semi-Arid Zones of India (Eds.) Tewari J., Pasiecznik N., Harsh L. and Henry Doubleday Research Association, Coventry, U.K.
- Smith S.E. & Read D.J. 2008. Mycorrhizal Symbiosis. 3 editions. Academic Press, San Diego. 787 pp.
- Verga A. 1995. Genetic study of *Prosopis chilensis* y *Prosopis flexuosa* (Mimosaceae) in the dry Chaco of Argentina. Tesis Doctoral. Göttingen Research Notes in Forest Genetics. Abteilung für Forstgenetik und Forstpflanzensüchtung der Universität Göttingen. Göttingen, Alemania, 96 pp.
- Verga, A. 2005, "Recursos Genéticos, Mejoramiento y Conservación de Especies del Género *Prosopis*" en Mejores árboles para más forestadores: El Programa de Producción de Material de Propagación Mejorado y el Mejoramiento Genético en el Proyecto Forestal de Desarrollo Edición: Carlos A. Norberto. SAGPyA-BIRF. 2005.
- Verga, A. and Gregorius H.R. 2007. "Comparing morphological with genetic distances between populations: A new method and its application to the *Prosopis chilensis* - *P. flexuosa* complex". Silvae Genetica, 2007, 56(2), 45-51
- Verga A.; D. López Lauenstein; C. López; M. Navall; J. Joseau; C. Gómez; O. Royo; W. Degano y M. Marcó. 2009. Caracterización morfológica de los algarrobos (*Prosopis* sp.) en las regiones fitogeográficas Chaqueña y Espinal norte de Argentina. Quebracho 17(1,2) 31-40.
- Zobel, B.; J. Talbert. 1994. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Ed. UTEHA, México. 546 p.

## Responsable del Subprograma

Diego López Lauenstein

## Unidad sede

Instituto de Fisiología y Recursos Genéticos Vegetales (IFRGV).  
Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP)

## Unidades participantes

- ♦ Instituto de Fisiología y Recursos Genéticos Vegetales.
- ♦ Instituto de Recursos Biológicos.
- ♦ Estación Forestal Plaza.
- ♦ EEA Sáenz Peña.
- ♦ EEA Concordia.
- ♦ EEA Juárez.
- ♦ AER Tartagal.
- ♦ AER Andalgalá.

## Profesionales participantes

- ♦ López Lauenstein, Diego - Instituto de Fisiología y Recursos Genéticos Vegetales, Córdoba.
- ♦ Vega, Carmen - Instituto de Fisiología y Recursos Genéticos Vegetales, Córdoba.
- ♦ Verga, Aníbal - Instituto de Fisiología y Recursos Genéticos Vegetales, Córdoba.
- ♦ Venier, Paula - Instituto de Fisiología y Recursos Genéticos Vegetales, Córdoba.
- ♦ Muttoni, Fernando - Instituto de Fisiología y Recursos Genéticos Vegetales, Córdoba.
- ♦ Luna, Celina - Instituto de Fisiología y Recursos Genéticos Vegetales, Córdoba.
- ♦ Sagadín, Mónica - Instituto de Fisiología y Recursos Genéticos Vegetales, Córdoba.
- ♦ Melchiorre, Mariana - Instituto de Fisiología y Recursos Genéticos Vegetales, Córdoba.
- ♦ Gómez, Daniela - Instituto de Fisiología y Recursos Genéticos Vegetales, Córdoba.
- ♦ Chávez Días, Lucía - Instituto de Fisiología y Recursos Genéticos Vegetales, Córdoba.
- ♦ Pozzi, Ezequiel - Instituto de Fisiología y Recursos Genéticos Vegetales, Córdoba.
- ♦ Gonzalez, Pablo - Instituto de Fisiología y Recursos Genéticos Vegetales, Córdoba.
- ♦ Cosacov, Andrea - Instituto de Fisiología y Recursos Genéticos Vegetales, Córdoba.
- ♦ Torales, Susana - Instituto de Recursos Biológicos, Buenos Aires.

- ♦ Pomponio, Florencia - Instituto de Recursos Biológicos, Buenos Aires.
- ♦ Cappa, Eduardo - Instituto de Recursos Biológicos, Buenos Aires.
- ♦ Kees, Sebastián - Estación Forestal Plaza, Chaco.
- ♦ Zurita, Juan José - EEA Sáenz Peña, Chaco.
- ♦ Salto, Carla - EEA Concordia, Entre Ríos.
- ♦ Oberschelp, Javier - EEA Concordia, Entre Ríos.
- ♦ Gómez, Carlos - EEA Juárez, Formosa.
- ♦ Cólica, Juan José - AER Andalgalá, Catamarca.
- ♦ Hernández, Hernán - AER Tartagal, Salta.
- ♦ Verzino, Graciela - Universidad Nacional de Córdoba.
- ♦ Joseau, Jacqueline - Universidad Nacional de Córdoba.
- ♦ Castillo, Nidia - Universidad Nacional de Córdoba.
- ♦ Frassoni, Javier - Universidad Nacional de Córdoba.
- ♦ López, Carlos - Universidad Nacional de Santiago del Estero.
- ♦ Ewens, Mauricio - Universidad Católica de Santiago del Estero.
- ♦ Gon, Valerio - Universidad Nacional de Formosa.
- ♦ Ritter, Raúl - Centro de Validación Agropecuaria, Formosa.
- ♦ Vailati, Ricardo - Centro de Validación Agropecuaria, Formosa.
- ♦ Capello, Elba - Ministerio de la Producción, Formosa.
- ♦ Gómez, Clelia - Ministerio de la Producción, Formosa.
- ♦ Arce, Leandro - Dirección de Producción Forestal, MAGyP.
- ♦ Giacobbi, Andrea - Dirección de Producción Forestal, MAGyP.

## Instituciones participantes

- ♦ Universidad Nacional de Córdoba
- ♦ Universidad Nacional de Santiago del Estero
- ♦ Universidad Católica de Santiago del Estero
- ♦ Universidad Nacional de Formosa
- ♦ Centro de Validación Agropecuaria (Formosa)
- ♦ Ministerio de la Producción (Formosa)
- ♦ Dirección de Producción Forestal MAGyP. Instituto Nacional de Semillas (INASE)







# Subprograma *Cedrela*

**Autores.** Fornes, Luis (a) ; Zelener, Noga (c); Gauchat, M. Elena (b); Inza, M. Virginia (c); Soldati, M. Cristina (c); Ruíz, Verónica (f); Meloni, Diego (e); Grignola, Josefina (a); Barth, Sara (b); Ledesma, Tilda (d); Tapia, Silvia (d); Tarnowski, Christian (d); Eskiviski, Edgar (b); Figueredo, Iris (b); González, Paola (b); Leiva, Nidia (a); Rodríguez, Gustavo (b); Alarcon, Pamela\*; Cuello, Roberto\*; Gatto Miguel\*; Rotundo, Cristian\*; Giannoni, Florencia\*; Alonso, Fernando M.\*; Saravia, Pablo\*; Trápani, Adrián\*

(a) INTA EEA Famaillá, Tucumán. (b) INTA EEA Montecarlo, Misiones. (c) INTA Castelar-Instituto de Recursos Biológicos, Buenos Aires. (d) INTA EECT Yuto, Jujuy. (e) Universidad Nacional de Santiago del Estero-Fac. de Cs. Forestales. (f) CONICET \*Consultores PROMEF.

**Resumen Ejecutivo.** El Subprograma Cedrela del PROMEF se inició en el año 2010, con el fin de consolidar y dar continuidad al proyecto nacional de “Domesticación de especies nativas de alto valor de las Selvas Subtropicales” que conducía el INTA desde el año 2006, dirigido a llevar a cultivo especies forestales de alto valor socioeconómico de las Selvas, para incrementar la producción de maderas nobles y recuperar áreas degradadas a fin de mantener la función productiva del bosque y de sus servicios ambientales.

El objetivo general del Subprograma Cedrela fue el de proveer a las regiones NOA y NEA de materiales de propagación mejorados de especies nativas emblemáticas, adaptados a diferentes condiciones ecológicas y finalidades.

Las especies más estudiadas hasta el presente son *Cedrela angustifolia*, *C. balansae* y *C. fissilis*. Sin embargo, la existencia de más de 40 especies maderables/ha promovió la realización de encuestas de opinión para que el sector foresto-industrial definiera las que ingresarían al proceso de domesticación, ya que se requiere de un lapso extendido de tiempo y de un presupuesto considerable para desarrollar los estudios necesarios. En consecuencia, se generaron alianzas estratégicas con Universidades, la Administración de Parques Nacionales (APN), organismos provinciales y empresas. Posteriormente, se fueron incluyendo actividades para *Cordia trichotoma* y *Araucaria angustifolia*.

El punto de partida fue la caracterización del material genético desde un enfoque poblacional para definir las estrategias de mejora genética y de conservación, dado que se trata mayormente de especies amenazadas. A partir de esta información y con la asistencia de herramientas moleculares se conformaron las poblaciones de mejora, incluyendo materiales con potencial productivo, plasticidad ante el estrés hídrico y térmico y diversidad genética suficiente. Esto permitió la instalación de huertos semilleros clonales y la ubicación de rodales semilleros para afrontar la demanda actual de semillas para los planes de producción sustentable y conservación (ley nacional 26.432 y ley nacional 26.331), así como el establecimiento de ensayos de orígenes y progenies para dar continuidad al programa de mejora, realizar observaciones fenológicas y asegurar la conservación *ex situ-in vivo* de numerosos genotipos que ya no existen en la naturaleza. Por otro lado, se evaluaron diferentes alternativas de conducción de plantaciones y manejo de vivero para mejorar la sobrevivencia a campo, incluyendo el control de la plaga *Hypsipyla grandella*.

Por último, se realizaron actividades de transferencia de los resultados por diferentes vías de comunicación, poniendo énfasis en el sector productivo ya que reúne a los beneficiarios directos de esta propuesta. Asimismo, se capacitaron recursos humanos para fortalecer los grupos relacionados al uso y conservación de especies forestales nativas.

## Introducción

Las selvas subtropicales argentinas incluyen dos formaciones de gran importancia por su magnitud, biodiversidad y alto grado de degradación ambiental. Estas son la Selva Tucumano-Oranense o Yungas en el Noroeste Argentino (NOA) y la Selva Paranaense en el Noreste Argentino (NEA).

La principal fuente de suministro de maderas de calidad en el NOA continúa siendo el bosque nativo. Tradicionalmente el NOA fue proveedor del mercado interno y externo de maderas nobles, sin embargo la extracción no planificada de madera pone en riesgo la oferta sostenida. El principal problema es la informalidad del negocio: se estima que el 40% de lo declarado es madera ilegal, por lo que en la zona de Yungas se extraerían anualmente 120.000 m<sup>3</sup>/año, lo que se traduce en la explotación de aproximadamente 30.000 ha/año. Factores tales como la reducción de las existencias naturales ante la intensa extracción selectiva y el notable incremento de la tala ilegal han agudizado el problema.

De manera general, se observa una tendencia declinante de la actividad productiva en cuanto a superficies de aprovechamiento forestal, al igual que un cambio en el volumen cosechado por especie, en especial de especies tradicionales como el cedro, lapacho y quina colorada, y un aumento de los volúmenes de cebil moro (Eliano *et al.* 2009).

Actualmente muchas de las especies que hace unos años atrás eran de menor importancia para el mercado forestal interno pasaron a ocupar los primeros lugares en la extracción por su mayor abundancia, en detrimento de la calidad requerida para la elaboración de determinados productos con gran agregado de valor y mano de obra especializada. El cedro continúa siendo una de las especies de mayor valor en el mercado de productos forestales y se lo utiliza para muebles y aberturas, construcciones y carpintería en general.

En cuanto al marco legal, la ley nacional N° 26.331 de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos, en vigencia a partir del año 2007, condiciona la extracción de madera nativa y el avance de la frontera agropecuaria. Aun así, la implementación de la esta ley genera una gran oportunidad para la

conservación de estas especies, al reservar espacios donde no está permitido el desmonte ni el cambio de uso de la tierra. De esta manera fomenta la recuperación y puesta en valor de bosques degradados manteniendo así la oferta de estas maderas nobles al mercado a partir de la producción sustentable (zonas amarillas) y consecuentemente de los servicios ecosistémicos de esos bosques. Según los mapas de ordenamiento de bosques realizados en las regiones de selvas por las respectivas provincias, actualmente entre el NOA (Salta, Jujuy y Tucumán) y Misiones, existen alrededor de un millón y medio de hectáreas con buena aptitud para el enriquecimiento con especies de maderas nobles en zonas amarillas (Fornes 2012).

En articulación con acciones desarrolladas a través del Programa Nacional Forestal del INTA y la articulación con la APN y empresas privadas con certificación de manejo forestal, se efectuaron muestreos en sentido altitudinal y latitudinal de las diferentes poblaciones seleccionadas *a priori* por su importancia comercial y localización en los extremos de su distribución. En consecuencia, mediante el apoyo del PROMEF se pudo profundizar y dar continuidad a actividades de gran impacto utilizando marcadores moleculares, a los fines de: a) la identificación de sets de marcadores capaces de generar patrones de identificación genética inequívocos en *C. angustifolia* (= *lilloi*), *C. balansae*, *C. saltensis* y *C. fissilis* (Soldati *et al.* 2014), b) la identificación de entidades híbridas (Zelemer *et al.* 2011) c) la descripción de los patrones geográficos de distribución de la variabilidad genética de *C. angustifolia* y la cuantificación de la incidencia de diferentes niveles de disturbio antrópico sobre la diversidad (Inza *et al.* 2012), d) la evaluación de los efectos de la fragmentación sobre el flujo génico y la identificación de poblaciones prioritarias de conservación en *C. balansae* y *C. fissilis* (Soldati *et al.* 2013; 2014) y e) la caracterización de los materiales genéticos a utilizar en programas de mejora genética.

Los ensayos de orígenes y progenies de las diferentes especies de *Cedrela* mostraron que los aspectos relacionados a la adaptabilidad y al sistema silvicultural utilizado, son tan importantes como la productividad en el caso de especies nativas al momento de recomendar especies y orí-

genes para diferentes sitios (Grignola *et al.* 2014). Las predicciones sobre el cambio climático enfatizan la compleja interacción existente entre la capacidad adaptativa de las especies y el estrés provocado por otros fenómenos de perturbación relacionados con el clima, tales como heladas a destiempo o sequía periódicas (Allen 2007). La diversidad genética es lo que asegura hasta cierto punto que esa adaptación a las nuevas condiciones sea posible (Alberto *et al.* 2013). Las especies se pueden adaptar al cambio climático mediante la plasticidad fenotípica, la adaptación o la migración a lugares idóneos (Locatelli *et al.* 2009). Estos aspectos dieron lugar a trabajos sobre ecofisiología relacionados a la plasticidad y/o adaptabilidad de los materiales genéticos al estrés hídrico (Ruiz *et al.* 2013) y térmico (Grignola *et al.* 2014), de manera de aportar información sobre la potencialidad de cultivo. Sin embargo, la información estaría incompleta si no consideráramos el sistema de cultivo adecuado a cada especie y situación, partiendo desde el manejo en vivero y plantación, incorporando normas de control de plagas (Tapia 2012) por tratarse de especies nativas en ecosistemas locales.

A modo de transferencia y en colaboración con los proyectos de alcance territorial del INTA (PRETs), se realizaron diversas actividades de extensión y transferencia en campo de productores de especies nativas con rodales que se encuentran en la mitad del turno comercial y otros con edad de corta final para mostrar que es factible su cultivo.

Además, el PROMEF aportó en la formación de recursos humanos (2 postgrados, 2 tesinas de grado y 3 pasantías) en líneas de trabajo relacionadas al uso y conservación de especies forestales nativas.

Por otro lado, utilizando las herramientas disponibles del Programa PROFEDER-Cambio Rural, se establecieron parcelas demostrativas en campos de productores, en especial pequeños y medianos que puedan acceder a los beneficios de la ley nacional 26.432 ampliado a la agricultura familiar, en que el cultivo forestal de especies nativas de alto valor se asocia a otros cultivos ornamentales o frutales con una visión ecosistémica.

Por último, se destaca la integración de las actividades del Subprograma a las acciones de la Red Latinoamericana para la Conservación de los Recursos Genéticos Forestales “LAFOR-

GEN” conducida por Bioversity International, en la cual se discuten estrategias coordinadas a ser desarrolladas a nivel Regional y acordes con el Plan Mundial de la FAO.

## Objetivos

### Objetivos generales

Proveer a las regiones NOA y NEA de materiales de propagación, adaptados a diferentes condiciones ecológicas y finalidades, provenientes de una primera etapa de selección en especies nativas del género *Cedrela* y otras especies emblemáticas de reconocido valor maderero, generando los conocimientos necesarios que aporten al proceso de domesticación.

### Objetivos específicos

1. Incrementar el tamaño de las Poblaciones Base, a fin de contar con una proporción aceptable de materiales genéticos con potencial productivo, plasticidad a factores abióticos, resistencia ante factores bióticos y diversidad genética suficiente.
2. Caracterizar las diferentes Poblaciones del ciclo de mejoramiento, mediante el uso de marcadores moleculares.
3. Establecer bancos clonales de conservación ex situ-in vivo y para el seguimiento fenológico de los individuos clonados.
4. Evaluar la primera serie de selecciones realizadas a partir del año 2006 e instalar una segunda serie complementaria de la red de ensayos de orígenes y progenies en alternativas silvícolas que ayuden a mitigar el ataque de *Hypsipyla grandella*.
5. Conformar y establecer las Poblaciones de Producción de primera generación, según un diseño basado en la información disponible de caracterización del material genético y de manejo silvícolas alternativos para disminuir la incidencia de la plaga.
6. Caracterizar las poblaciones y familias de medios hermanos por su comportamiento ante diferentes factores abióticos, como indicadores de plasticidad al cambio climático, y ante factores bióticos.
7. Promover la difusión y transferencia de los resultados obtenidos, así como facilitar la

capacitación en temas claves para el Sub-programa, a fin de consolidar Grupos de profesionales relacionados al uso y conservación de especies forestales nativas.

## Actividades y resultados

### Diversidad genética de *Cedrela angustifolia* C.DC. (*Meliaceae*) en el NOA

El estudio molecular de 14 poblaciones de cedro coya sobre su extensa distribución natural relacionó la variabilidad genética con la ubicación latitudinal e historia de uso de sus poblaciones, permitiendo identificar áreas prioritarias para su domesticación y conservación.

La especie, característica del piso superior de la Selva Montana y el Bosque Montano de las Yungas, tiene una larga historia de uso extractivo y selectivo debido a su alto precio en el mercado de productos forestales tanto en el ámbito local como internacional. Actualmente se la encuentra categorizada como “en peligro” según la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, 2015).

Con el objeto de identificar “unidades de conservación” que sean fuentes de variabilidad adecuadas para programas de conservación, domesticación, mejora y uso sustentable, se realizó el análisis genómico utilizando 293 marcadores moleculares AFLP (Amplified fragment length polymorphism) de 14 poblaciones con distintas historias de uso (disturbio), localizadas sobre el gradiente latitudinal de su distribución natural en las Yungas (~600 km). La diversidad genética total de la especie fue baja ( $H_t=0,135$ ) lo que podría deberse a procesos de pérdida de diversidad genética durante la migración hacia su extremo sur en Argentina (Pennington and Muellner 2010) así como a características propias como su baja densidad y la distribución aislada de sus poblaciones (Hall *et al.* 1994) y/o a la inclusión en el análisis de poblaciones altamente intervenidas (Young *et al.* 1996). Se observó una tendencia general de disminución de la diversidad genética de las poblaciones con el incremento de la latitud y con el aumento en los niveles de intervención antrópica (Tabla 1).

La diversidad genética de las poblaciones del norte de Salta ( $H_e=0,181$ ) fue mayor que en Jujuy ( $H_e=0,104$ ) y el doble que en el sur de Salta

Población		Latitud (°)	N	He	PLP <sub>p</sub> (%)	BE	Nivel Disturbio
Los Pizarros, Tuc.	Sur	27,76	10	0,049	14,3	0	PBD
Res. Prov. La Florida, Tuc.		27,12	9	0,157	41,3	16	PND
El Siambón, Tuc.		26,70	15	0,057	18,1	0	PBD
Sunchal, Tuc.		26,52	9	0,063	19,5	1	PBD
Choromoro, Tuc.		26,37	12	0,056	17,1	2	PBD
Metán, Salta		25,39	10	0,043	12,3	0	PD
El Arenal, Jujuy	Centro	24,34	9	0,059	17,1	0	PBD
La Ramada, Jujuy		23,97	12	0,071	21,2	2	PBD
Parque Nac. Calilegua, Jujuy		23,68	9	0,062	17,8	1	PD
San Andrés, Salta	Norte	23,08	15	0,088	30,7	5	PBD
Empresa 3R, Salta		22,54	11	0,107	33,5	5	PD
Parque Nac. Baritú, Salta		22,50	15	0,168	65,5	36	PND
Argencampo, Salta		22,34	9	0,113	32,4	7	PD
Res. Nac. El Nogalar, Salta		22,28	15	0,119	41,0	9	PD

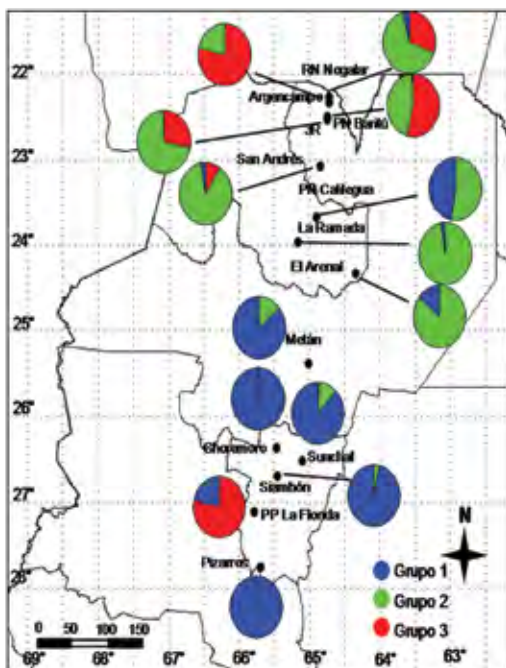
**Tabla 1.** Diversidad genética de 14 poblaciones de *C. angustifolia*, según regiones (Sur, Centro y Norte). PD= población disturbada; PBD= población con bajo disturbio; PND= población no disturbada. N: N° de individuos; He: heterocigosidad esperada; PLP<sub>p</sub>: porcentaje de loci polimórfico por población y BE: bandas exclusivas.

y Tucumán ( $H_e=0,093$ ). Asimismo, la relación negativa de la diversidad genética y la latitud ( $R^2=0,69$ ) fue consistente con la identificación de tres *clusters* asociados a los sectores norte, centro y sur de las Yungas a partir de métodos de agrupación UPGMA y bayesianos (Figura 1). El análisis de la varianza molecular (AMOVA) mostró que el 5% de la misma fue explicado por la latitud aumentando al 7 y 10% al considerar sólo poblaciones con algún nivel de disturbio o sin disturbio, respectivamente. Una excepción fue la población de la Reserva Provincial La Florida, ubicada sobre el sector suroeste en Tucumán, ya que no se ajustó a este patrón y mostró niveles de diversidad genética altos y comparables a los del extremo norte de las Yungas. Al ser *C. angustifolia* una especie de climas cálidos y húmedos (Villalba *et al.* 1992), si consideramos la variación climática en el largo plazo, el sector norte de las Yungas podría haber actuado como un refugio histórico de la especie durante las glaciaciones ocurridas en el Pleistoceno (12.000 a 25.000 AP). Lo mismo ocurriría con La Florida (Tucumán), ya que junto con las poblaciones del extremo norte de Salta (Alta Cuenca del Río Bermejo), es donde ocurren las mayores precipitaciones en el NOA (Bianchi *et al.* 2005) y podrían haber funciona-

do como refugios glaciarios durante períodos secos (Pennington *et al.* 2000), lo que explicaría los mayores niveles de diversidad genética y grupos genéticos compartidos entre ambos sectores.

Del mismo modo, Brown *et al.* (2006) menciona estas dos áreas como refugios potenciales de biodiversidad de las Yungas en relación a su alta concentración de endemismos explicada por una mayor estabilidad ecosistémica.

Por otro lado, se observó una clara pérdida de diversidad genética de las poblaciones asociada a su historia de uso e intensidad de explotación. Asimismo, al comparar poblaciones con distinto uso ubicadas a la misma latitud, de modo de eliminar esta última variable, la mayor diversidad genética correspondió siempre al menor nivel de explotación, con una diferenciación genética del 3 al 10%, para todos los pares comparados sobre los tres sectores latitudinales. Estos resultados sugieren que la tala selectiva de cedro estaría modificando la estructura demográfica de sus poblaciones (menos individuos y más aislados), restringiendo el flujo génico y modificando el éxito reproductivo con pérdidas asociadas de variación genética, tanto por remoción directa de árboles como a través de procesos de deriva actuando sobre las poblaciones intervenidas (Degen *et al.* 2006).



**Figura 1.** Porcentaje de participación de las 14 poblaciones de *C. angustifolia* de las Yungas argentinas en los tres (3) grupos genéticos K detectados (Structure 2.2.3).

### Diversidad genética de *Cedrela balansae* (Meliaceae) en el NOA

El cedro orán es una de las especies nativas de las Yungas cuya madera tiene el mayor valor económico actual en el mercado. Su hábitat está limitado a la Selva Pedemontana, estrato altitudinal sujeto a un intenso aprovechamiento forestal, a la explotación de hidrocarburos y a la transformación del 70-80% de la superficie boscosa para actividades agropecuarias y urbanizaciones. Este contexto ha generado severos procesos de fragmentación con impacto en sus niveles de diversidad genética (Kageyama 1998). Con el objeto de complementar estrategias de conservación y domesticación en la especie, se realizaron los análisis genómicos de 8 poblaciones naturales (localizadas en el rango de distribución geográfica de la especie, en las provincias de Salta y Jujuy) mediante marcadores SSRs y AFLPs, a fines de cuantificar los niveles actuales y la distribución de la variabilidad genética.

A partir de los marcadores SSRs (Soldati *et al.* 2013; 2014) fueron detectados un total de 62 alelos para las 8 poblaciones, con un número promedio de 8,8 alelos. El número de alelos por *locus* varió en un rango de 5 a 16 alelos para los *loci* Ced 61 y Ced 44 respectivamente. Fueron identificados 13 alelos exclusivos (Ae) en siete de las ocho poblaciones analizadas. Los niveles de diversidad genética medios fueron moderados, con un valor de 0,643. Los valores de heterocigosidad esperada insesgada (UHe) por población se encontraron en un rango de 0.575 a 0.683 para las poblaciones AS y PNC, respectivamente, tal como se indica en la Tabla 2.

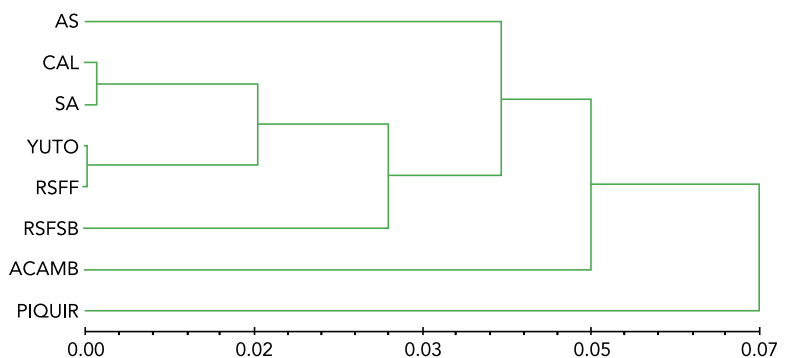
El análisis de marcadores AFLPs permitió detectar un total de 382 *loci* polimórficos en los individuos analizados. Entre los parámetros descriptivos de la diversidad genética, el número de *loci* polimórficos por población (NLPP) presentó un rango de variación de 220-327 para las poblaciones AS y ACAMB, respectivamente. Del mismo modo el porcentaje de *loci* polimórficos por población (PLPP) fue variable, entre 40 y 80% para las mismas poblaciones. Fueron observados marcadores exclusivos (ME) en todas las poblaciones muestreadas, observándose en mayor número en la población de ACAMB (13 ME). Al mismo tiempo, los valores de diversidad genética fueron moderados, en un rango que varió entre 0,180 y 0,259 para AS y ACAMB, respectivamente, con un valor promedio de 0,222.

La estructura genética poblacional fue estimada mediante un AMOVA, considerando dos componentes de la varianza (entre y dentro de poblaciones). El AMOVA para los marcadores AFLPs evidenció una diferenciación genética poblacional baja a moderada, con un valor de PhiPT de 0,072 (p 0,001). La mayor parte de la varianza (93%) estuvo explicada dentro de las poblaciones. En el caso de los marcadores SSRs, el AMOVA evidenció una diferenciación genética poblacional moderada y altamente significativa, con un valor de PhiPT de 0.094 (p 0,001). La mayor parte de la varianza (91%), al igual que para los marcadores AFLPs, estuvo explicada dentro de las poblaciones. Este patrón de distribución de la diversidad genética intra e interpoblacional se encuentra dentro de los parámetros esperados para especies longevas, preponderantemente alógamas, perennes y leñosas (Tang *et al.* 2008). Por otro lado, el análisis de la estructura poblacional por medio de métodos bayesianos de agrupamiento, nos permitió

Población	Código	Ae	Ho	UHe
Gral. Pizarro, Salta	AS	1	0,619	0,575
PN Calilegua, Jujuy	PNC	2	0,726	0,683
Yuto, Jujuy	YUTO	2	0,602	0,645
San Andrés, Salta	SA	1	0,618	0,663
Río Seco (FSB), Salta	RSFSB	0	0,647	0,645
Río Seco (FF), Salta	RSFF	3	0,643	0,622
Piquierenda, Salta	PIQUIR	1	0,703	0,620
Acambuco, Salta	ACAMB	3	0,723	0,664
Promedio	-	-	0,660	0,643

**Tabla 2.** Diversidad genética observada en 8 poblaciones naturales de *C. balansae* con distribución en las Yungas, sobre la base de marcadores SSRs. Se indica para cada población: Ae (Alelos exclusivos), Ho (Heterocigosidad observada), UHe (Heterocigosidad esperada insesgada).

distinguir cuatro grupos genéticos (k=4). No se observó ningún grupo genético asignado exclusivamente a una determinada población y tampoco se observaron patrones de agrupamiento. Finalmente, fueron estimadas las relaciones genéticas entre los individuos utilizando el Coeficiente de Similitud de Jaccard. Los dendrogramas (UPGMA) presentaron niveles moderadamente altos de ajuste (SSRs  $r=0,65$ /AFLPs  $r=0,88$ ) mediante las correspondientes pruebas de Mantel e indicaron ausencia de grupos definidos por población o localización geográfica. Adicionalmente fueron evaluadas las relaciones genéticas entre las 8 poblaciones de *C. balansae* analizadas en el estudio, en base a los pares de distancias genéticas, utilizando el método UPGMA (Distancia: Nei 1978). En el dendrograma correspondiente no se observaron agrupamientos poblacionales en relación a las localizaciones geográficas (Figura 2).



**Figura 2.** Representación gráfica de las relaciones genéticas existentes entre las 8 poblaciones de *C. balansae* analizadas ( $r=0,701$ ).



Para concluir, ambos marcadores moleculares revelaron tendencias comparables, por lo que ambas herramientas pueden recomendarse para este tipo de estudios en especies forestales. Los niveles de diversidad genética observados en *C. balansae* podrían estar asociados con su restringida área de distribución y la intensa tala a la que han sido sometidas así como también al patrón de distribución espacial de esta especie. La débil estructura genética detectada, sumada a los factores antes mencionados, sugiere que las poblaciones estudiadas de *C. balansae* se comportan prácticamente como una unidad genética homogénea en el Pedemonte de las Yungas. Las poblaciones de Acambuco, San Andrés y el PN. Calilegua, debido a sus mayores niveles de diversidad genética, y la población General Pizarro, destacada por su ubicación geográfica en el extremo sudeste de la distribución de la especie, tienen un alto valor de conservación. Dado que el mayor riesgo de pérdida de hábitat por la gran accesibilidad y el avance de la urbanización lo constituyen las zonas planas del pedemonte, es urgente asegurar su conservación *in situ* ya que las únicas poblaciones remanentes se hallan en predios privados. En cuanto a la conservación *ex situ*, el INTA ha iniciado recientemente acciones de conservación de poblaciones en ensayos de orígenes y progenies y huertos semilleros clonales, lo que garantiza el mantenimiento de la base genética actualmente existente, con el fin de combinar objetivos de producción y conservación.

### **Identificación de zonas híbridas y monitoreo/depuración del HSC de *C. balansae***

La correcta delimitación específica de las poblaciones del género *Cedrela* es fundamental dado que es frecuente la coexistencia de distintas especies del género en hábitats compartidos. Esto permite asegurar material de propagación adecuado para la demanda del mercado maderero y explicar los procesos evolutivos de las especies. En las Yungas argentinas ocurren tres especies del género cuya distribución geográfica acompaña a un gradiente altitudinal de dispersión. *C. angustifolia* ocurre en el nivel superior de la Selva Montana y el Bosque Montano (900 a 2500 msnm), *C. balansae* típicamente ocurre en la Selva Pedemontana (300 a 700

msnm) mientras que *C. saltensis* se distribuye en la Selva Montana (700 a 1100 msnm) dentro de áreas de simpatria entre las otras dos especies (Brown *et al.* 2001).

La identificación de las especies del género es compleja debido a la ausencia de caracteres morfológicos únicos que permitan distinguirlas inequívocamente (Pennington y Muellner 2010). El empleo de metodologías moleculares constituye por lo tanto un complemento valioso para su identificación y la detección de híbridos interespecíficos. En este sentido, se realizó un estudio genómico de 20 poblaciones del Noroeste argentino (Zelener *et al.* 2011), las que previamente fueron caracterizadas morfológicamente dentro de las tres especies mencionadas. Se emplearon marcadores polimórficos de AFLPs y el análisis de secuencias de genes ribosomales ITS (Internal Transcribed Spacers) a los fines de establecer la estructura genética y filogeográfica de los ejemplares muestreados. Ambas herramientas moleculares fueron altamente consistentes y brindaron evidencias robustas no sólo sobre la identidad genética de cada ejemplar sino también en la identificación de zonas híbridas entre *C. balansae* y *C. saltensis*, las que se distribuyen en un rango altitudinal de 820 a 1100 msnm, donde ambas especies cohabitan.

Los resultados obtenidos representan una información valiosa y complementaria tanto para los programas de conservación como de mejora genética de estas especies. La producción local de semilla genéticamente mejorada a través de Huertos Semilleros Clonales (HSC), constituye un claro ejemplo de la utilidad que las herramientas moleculares tienen para la toma de decisiones sobre su composición y diseño.

En *C. balansae*, el HSC se diseñó inicialmente en base a la población de árboles fundadores provenientes de zonas, en su mayoría, bajo explotación forestal para garantizar la continuidad de fenotipos superiores proveedores de madera de calidad. Sin embargo, el avance en el conocimiento de las especies y sus poblaciones advirtieron que muchos de estos genotipos provienen de zonas híbridas. Actualmente, el HSC se encuentra en proceso de rediseño por la depuración de aquellos clones que presentaron una posible condición híbrida y la inclusión de nuevos individuos provenientes de los ensayos de progenies como población de infusión. El empleo de marcadores moleculares permitió la

exclusión del 27% de los clones originalmente propuestos. Las siguientes etapas incluyeron la caracterización de los niveles de diversidad genética, la estimación de las tasas de endogamia (Fis) y la determinación de las relaciones de similitud genética de los clones remanentes y su comparación con los mismos parámetros determinados en el conjunto de poblaciones nativas previamente estudiadas (Soldati *et al.* 2013).

Se utilizaron 7 marcadores microsatélites transferidos desde especies filogenéticamente cercanas (Soldati *et al.* 2013; 2014) para caracterizar 51 genotipos. El conjunto de marcadores permitió la discriminación de la totalidad del material evaluado. El nivel de diversidad encontrado en la población de producción ( $He=0,716$ ) es superior a la media de las poblaciones originales ( $He=0,618$ ), lo cual es promisorio. Esto permitiría indicar que los genotipos que conformarán el HSC componen una muestra representativa de lo observado en el área de distribución de la especie, en Argentina. Al mismo tiempo, fueron observados alelos exclusivos en 8 genotipos, los cuales deberían ser incorporados en el HSC para mantener y/o incrementar los niveles de diversidad genética, ya que el éxito de un programa de mejoramiento a largo plazo radica en la disponibilidad de una suficiente variabilidad genética. Los estudios de relaciones genéticas entre genotipos permitieron detectar la ausencia de agrupamientos importantes entre los mismos ya sea por familia de procedencia u origen geográfico, resultados también comparables con los obtenidos para las poblaciones naturales de *C. balansae*, las cuales se comportan como una unidad genética homogénea (Soldati *et al.* 2013).

El Índice de Similitud medio entre los genotipos analizados fue bajo (0,229), indicando que la incorporación conjunta de los 51 genotipos es adecuada para el diseño del HSC y permitiendo así disminuir los riesgos de depresión por endogamia. Asimismo, la estimación del coeficiente de endogamia (0,12) se encontró dentro de los parámetros normales esperados (Keller y Waller 2002). Los resultados precedentes sugieren que el conjunto de genotipos remanentes analizados son adecuados para constituir el nuevo HSC con la certificación de pureza requerida.

## **Diversidad genética de *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae) en la Selva Paranaense**

El cedro misionero es una especie emblemática entre las maderas nobles. Actualmente está categorizada como “en peligro” (IUCN 2015) debido principalmente a la severa presión antrópica, la cual ha causado un drástico decrecimiento del tamaño, conectividad, sanidad y valor económico de sus poblaciones naturales, comprometiendo su potencialidad de uso y la adaptación del recurso a nuevos escenarios ecológicos y sociales. A fin de conservar las poblaciones remanentes e identificar futuras fuentes de selección para programas de mejoramiento y planes de restauración ecosistémica, se realizó un análisis genómico mediante el uso de marcadores SSRs para conocer los actuales niveles de diversidad genética y su estructuración.

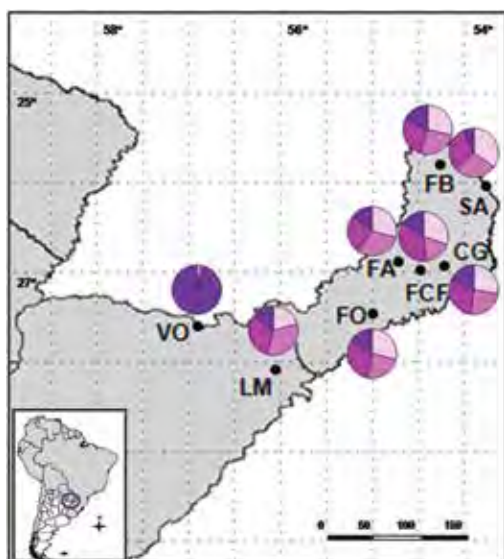
Se extrajo ADN de 8 poblaciones naturales localizadas en el NEA, las que fueron evaluadas con 10 marcadores SSRs validados: 7 transferidos desde *C. odorata*, 1 desde *S. macrophylla* y 2 desarrollados para *C. fissilis* (Gándara 2009; Soldati *et al.* 2014). A nivel global fueron detectados un total de 196 alelos, con un número de alelos promedio de 24,5 para las ocho poblaciones estudiadas y fueron encontrados 49 alelos exclusivos (Ae) distribuidos a través de las mismas (Tabla 1). El número efectivo de alelos ( $Ne$ ) fue variable, con un valor promedio de 5,774 y los niveles de Heterocigosidad esperada ( $He$  - Diversidad Genética de Nei) fueron altos, con un valor promedio de 0,822 (Tabla 3). Estos valores son indicativos de altos niveles de variabilidad para la especie en las poblaciones muestreadas.

La estructura genética poblacional fue estimada mediante un AMOVA, considerando dos componentes de la varianza (entre y dentro de poblaciones). El AMOVA evidenció una diferenciación genética poblacional baja (4%), observándose la mayor parte de la varianza dentro de las poblaciones (dentro de los individuos = 90%; entre los individuos dentro de las poblaciones = 6%).

Por otro lado, un análisis bayesiano permitió identificar 4 grupos genéticos (Figura 3) distribuidos de forma heterogénea entre las poblaciones, uno de ellos presente de forma predominante (93%) en la población Villa Olivari, localizada al suroeste de la distribución de la

Población	Código	Ho	He	Ae
Pto. Bossetti (Reserva San Jorge), Misiones.	FB	0,828	0,841	9
INTA-Campo San Antonio, Misiones.	SA	0,833	0,818	4
El Alcázar, Misiones.	FA	0,834	0,830	11
Reserva Guaraní (FCF UNaM), Misiones.	CG	0,842	0,824	4
Eldorado, Misiones.	FCF	0,867	0,871	7
Oberá, Misiones.	FO	0,831	0,834	6
Villa Olivari, Corrientes.	VO	0,781	0,745	4
Las Marías, Corrientes.	LM	0,744	0,818	4
Promedio	-	0,820	0,822	6,125

**Tabla 3.** Parámetros estadísticos descriptivos de la diversidad genética. **Ho**: heterocigosidad observada, **He**: heterocigosidad esperada, **Ae**: alelos exclusivos y **ds**: desvío estándar.



**Figura 3.** Distribución genética de grupos genéticos (K=4) en ocho poblaciones naturales de *C. fissilis*.

especie (provincia de Corrientes).

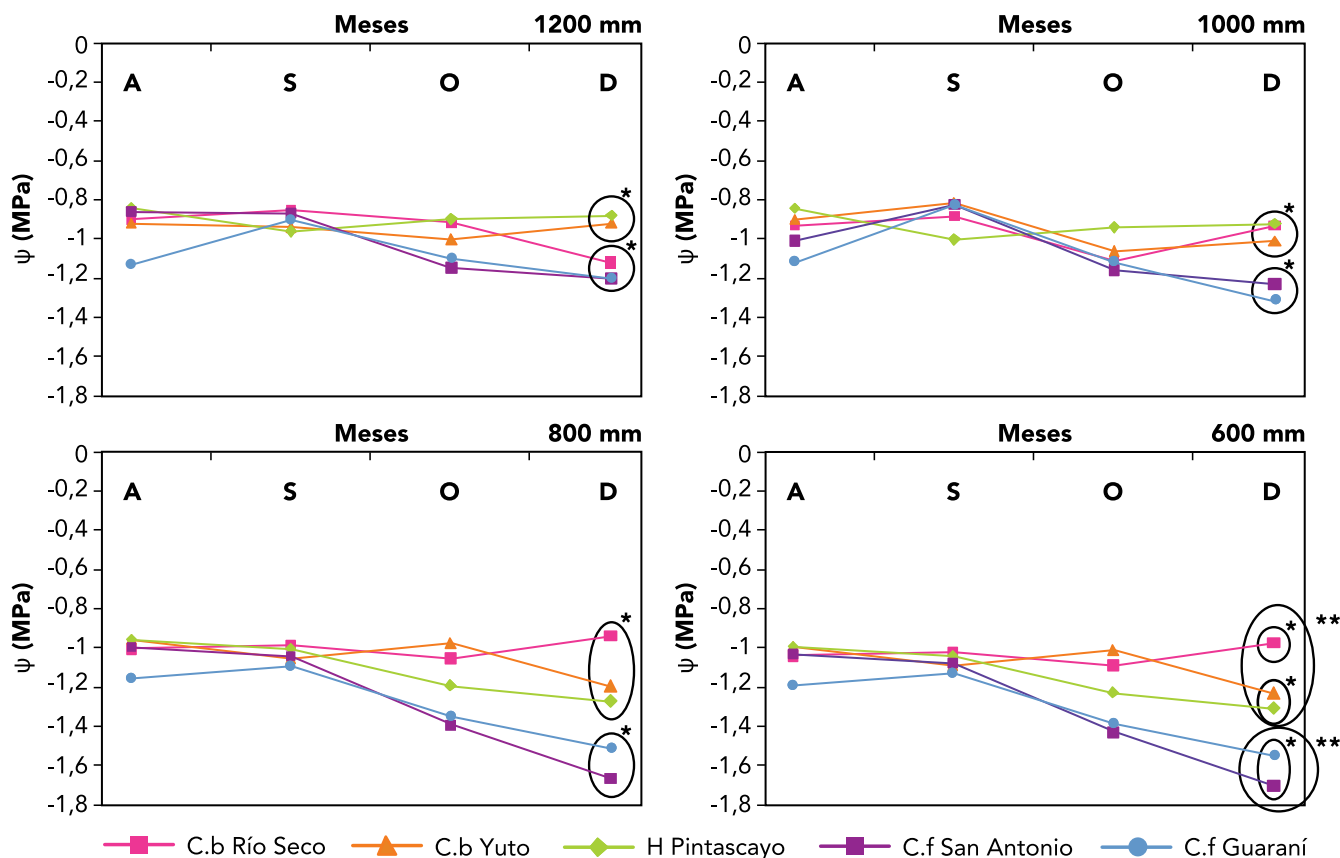
Estos resultados fueron consistentes con las distancias genéticas observadas entre las poblaciones a través del método UPGMA (Distancia: Nei 1978), donde se observó una clara separación de la población Villa Olivari. Se evidencia así la existencia de altos niveles de diversidad genética para las poblaciones remanentes de *C. fissilis* en el NEA. Una clara variación fue observada entre las poblaciones provenientes de suelos rojos (poblaciones localizadas en la provincia de Misiones y la población Las Marías, localizada en Corrientes) y la única población proveniente de suelo arenoso, ripario (Corrientes), sugiriendo una asociación entre la diversidad genética presente en las pobla-

ciones y las zonas agroecológicas dentro de la Selva Paranaense en las que se encuentran localizadas (Distrito de Selvas Mixtas y Distrito de Campos, Cabrera 1976). Los niveles de diversidad genética observados en las poblaciones del NEA expresan la capacidad de adaptación ante nuevos escenarios ambientales y bióticos. Sin embargo, en general se observó una baja la calidad de los individuos desde el punto de vista económico. Los mejores ejemplares se los encuentra en predios de productores a modo de “reservas de ahorro” en medio de otros cultivos actuando como puentes entre las poblaciones nativas (conservación *circa situm*).

### Respuesta al estrés hídrico en diferentes especies y poblaciones de *Cedrela*

Este trabajo tuvo como objetivo estudiar la respuesta fisiológica en condiciones de vivero de plantas jóvenes de *Cedrela balansae*, el híbrido natural de *C. balansae* x *C. saltensis* y *C. fissilis*, sometidas a diferentes regímenes hídricos.

Para ello, se evaluaron los efectos de los tratamientos simulando diferentes regímenes hídricos sobre las relaciones hídricas, el crecimiento, la producción y distribución de biomasa de plantines de dos poblaciones de *C. balansae* (Río Seco, Salta y Yuto, Jujuy): una población proveniente de una “zona híbrida” (Pintascayo, Salta) y dos de *C. fissilis* (San Antonio y Guaraní, Misiones). Los plantines crecieron en invernáculo bajo condiciones controladas. Los



**Figura 4.** Potencial Hídrico ( $\psi_w$ ) (MPa) de plantines de poblaciones de *Cedrela balansae* (C.b), el híbrido *C. balansae* x *C. saltensis* (H) y *C. fissilis* (C.f) bajo diferentes regímenes hídricos, de agosto a diciembre. Los valores corresponden a medias de 7 repeticiones diferentes. \* indica diferencias significativas entre las poblaciones ( $p < 0,01$ ) en el mismo tratamiento; \*\* indica diferencias significativas entre especies ( $p < 0,01$ ) en el mismo tratamiento. Cuando no se indica no hay diferencias significativas.

regímenes hídricos simulados fueron: 600 mm/año (déficit hídrico severo), 800 mm/año (déficit hídrico medio), 1000 mm/año (levemente húmedo) y 1200 mm/año (húmedo) como control. Estos se aplicaron en plantines de dos meses de edad de marzo a diciembre. Se hicieron mediciones de crecimiento (longitud de raíz, tallo y hojas, diámetro a la altura del cuello) a lo largo de todo el ensayo. A partir del mes agosto se midieron potencial hídrico ( $\psi_w$ ) y contenido relativo de agua (CRA). Al final del ensayo se midieron producción de biomasa (peso seco de raíz, tallo y hoja) y distribución de biomasa (re-

lación raíz: tallo).

A través de un análisis multivariado, se pudieron determinar respuestas diferenciadas entre especies bajo los distintos tratamientos y variables analizadas. Principalmente se pudieron detectar diferencias significativas en el  $\psi_w$ , (Figura 4) donde el mejor comportamiento ante situación de estrés severo (600 mm) lo manifestó la población de Río Seco (*C. balansae*).

En relación al CRA de los folíolos, no hay una clara diferenciación. La relación de biomasa raíz:tallo se observa en la Tabla 4.

A través de tales parámetros se pudo observar

Precipitación anual (mm)	<i>C. balansae</i> (RS)	<i>C. balansae</i> (Y)	Híbrido (P)	<i>C. fissilis</i> (SA)	<i>C. fissilis</i> (G)
1200	0.78 ± 0.07a	0.98 ± 0.08a	2.23 ± 0.14a	1.14 ± 0.10a	0.87 ± 0.11a
1000	0.98 ± 0.11b	0.82 ± 0.09a	1.20 ± 0.11b	0.91 ± 0.11b	0.92 ± 0.13a
800	1.06 ± 0.09b	0.85 ± 0.06a	1.42 ± 0.10b	1.16 ± 0.09a	1.17 ± 0.08b
600	0.93 ± 0.09b	0.92 ± 0.09a	1.00 ± 0.10c	0.59 ± 0.06c	0.84 ± 0.08a

**Tabla 4.** Acumulación de biomasa. Relación raíz:tallo de plantines de *Cedrela spp* al final del experimento bajo 4 regímenes hídricos simulados. RS: Río Seco; Y: Yuto; P: Pintascayo, SA: San Antonio; G: Guaraní

que las procedencias de *C. balansae* (provenientes del NOA) se mostraron menos susceptibles al déficit hídrico severo que aquellas de *C. fissilis* (provenientes del NEA). Si bien se pudieron establecer diferencias interespecíficas en las respuestas, no fue posible separar los comportamientos según sus poblaciones, indicando una estabilidad intraespecífica.

A pesar de que este estudio fue realizado bajo condiciones controladas en invernáculos, estos resultados representan un primer paso para determinar variaciones que podrían deberse a sus distintos grados de adaptabilidad según la región fitogeográfica de procedencia. Esto permite un primer enfoque en la discriminación de potenciales áreas de cultivo para las especies de *Cedrela* estudiadas según sus regímenes de precipitaciones medias anuales.

### Potencialidad de especies y poblaciones de *Cedrela* para la producción sustentable en diferentes ambientes del NOA. Respuesta a las bajas temperaturas.

La evaluación del comportamiento en términos de crecimiento y supervivencia de distintas poblaciones de *Cedrela balansae*, *C. saltensis*, el híbrido entre estas dos, *C. fissilis* y testigos fue el objetivo principal de este trabajo. Para esto, durante tres años consecutivos (2008, 2009 y 2010), se condujeron tres ensayos de orígenes y progenies en sitios ecológicamente contrastantes del NOA (Tabla 5). Los plantines fueron obtenidos a partir de semillas de árboles fenotípicamente superiores seleccionados en diferentes poblaciones en sentido latitudinal y altitudinal de las Yungas y la Selva Paranaense (Tabla 6). En enero de 2009 se llevaron a campo utilizando un diseño experimental alfa-látice de filas y columnas con parcelas mono-árbol en 16 repeticiones. Las variables evaluadas fueron altura

total (cm) como indicador de la calidad del sitio y supervivencia. Esta variable se modeló teniendo en cuenta el efecto de la temperatura mínima absoluta registrada en cada ensayo y se utilizó como un indicador de la capacidad de adaptación del material a las condiciones ambientales del sitio. Para el análisis estadístico de la altura total se ajustó un modelo lineal mixto utilizando la función lme de la librería nlme (Pinheiro *et al.* 2013), mientras que para supervivencia se ajustó un modelo lineal generalizado mixto para variables binomiales utilizando la función glmer de la librería lme4. Se utilizó el test de comparación DGC con un nivel de significancia del 0,05.

Los resultados de supervivencia en función de la temperatura mínima se muestran en la Figura 5. Los resultados evidencian que las especies y poblaciones de *Cedrela* probadas bajo estrictas condiciones ambientales y silviculturales (plantación a cielo abierto) tuvieron en general baja supervivencia. Esta disminución de plantas vivas ocurrió con mayor énfasis luego del primer invierno, indicando alta sensibilidad a las bajas temperaturas en el período de “establecimiento”. *C. fissilis*, especialmente la procedencia de San Antonio, presenta un particular comportamiento adaptativo a las bajas temperaturas, desempeñándose mejor para ambas variables en el sitio de ensayo El Siambón. Los análisis de laboratorio confirman que las poblaciones de *C. fissilis* mantienen la estabilidad de las membranas celulares por la acción crioprotectora de los azúcares acumulados en las hojas. Además, presentan menor índice de daño tisular en todos los rangos de temperaturas estudiados, indicando que es más estable que el resto de las especies ante las bajas temperaturas.

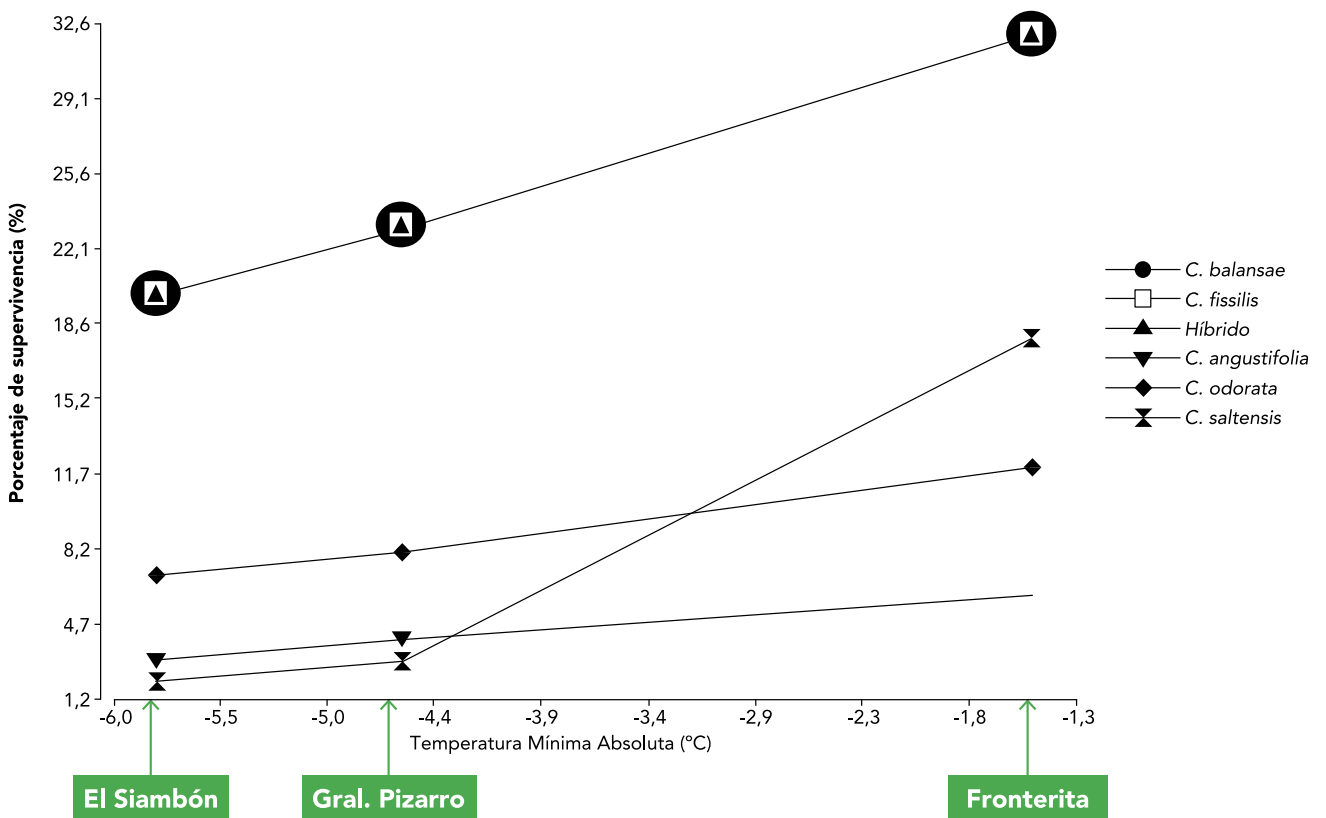
En el ensayo de General Pizarro, las plantas estuvieron expuestas a bajas temperaturas y estrés hídrico severo por ser una zona de transición entre Pedemonte y Chaco, donde se destacó en supervivencia *C. balansae*, en especial las po-

Sitio	Latitud	Longitud	Altitud	TMaM	TMiM	TMiA	PMA
Gral. Pizarro, Salta	24° 18'	64° 01'	374	34,4 °C	5,9 °C	-4,6 °C	850 mm
Fronterita, Tucumán	26° 58'	65° 30'	653	31,3 °C	7,0 °C	-1,5 °C	1400 mm
El Siambón, Tucumán	26° 43'	65° 26'	1170	30,5 °C	3,5 °C	-5,8 °C	1200 mm

**Tabla 5.** Ubicación y características ambientales de los sitios de experimentación. TMaM: temperatura máxima media; TMiM: temperatura mínima media; TMiA: temperatura mínima absoluta.; PMA: precipitación media anual

Especie	Población	Latitud	Longitud	Altitud	TMA	TMiM	TMaA	PMA
<i>Cedrela balansae</i>	San Andrés	23°05'	64°40'	400	21,9	16,1	27,7	1000
	Calilegua	23°42'	64°51'	700	17,7	11	24,3	1200
	Ledesma	23°49'	64°47'	400	18	12	25	800
	Pintascayo	22°51'	64°36'	900	21	16	27,7	1300
	Río Seco	22°31'	63°57'	700	23,9	16	31,5	900
<i>Cedrela fissilis</i>	Guaraní	26°55'	54°13'	470	24	8	38	2130
	San Antonio	26°03'	53°46'	500	23,3	7	35,5	2130
Híbrido ( <i>C. balansae</i> x <i>C. saltensis</i> )	Calilegua	23°42'	64°51'	791	17,7	11	24,3	1300
	Pintascayo	22°51'	64°36'	976	21	16	27,7	1400
	San Andrés	23°05'	64°40'	900	21,9	16,1	27,7	1300
<i>Cedrela saltensis</i>	Pintascayo	22°51'	64°36'	836	21	16	27,7	1400
	San Andrés	23°05'	64°40'	900	21,9	16,1	27,7	1300
<i>C. angustifolia</i>	Pool de semillas							
<i>C. odorata</i>	Semillas comerciales							
<i>Toona ciliata</i>	Semillas comerciales							

**Tabla 6.** Materiales incluidos en los ensayos con datos de latitud-longitud, altitud, temperatura media anual, temperatura mínima y máxima media anual (°C) y precipitación media anual de cada sitio (mm).



**Figura 5.** Porcentaje de supervivencia ajustados por el modelo como función de la temperatura mínima absoluta para diferentes especies del género *Cedrela*.

blaciones de San Andrés, Ledesma y Río Seco. El Híbrido natural entre *C. balansae* y *C. saltensis* expresó su vigor híbrido en relación a crecimiento y sobrevivencia en Fronterita (653 msnm), principalmente la población de Pintascayo. En el resto de los sitios de ensayo mostró un comportamiento intermedio entre sus parentales. *C. saltensis* y *C. angustifolia*, así como las especies testigo (*C. odorata* y *T. ciliata*), no tuvieron desempeños destacados para la altura total y supervivencia.

Sitios con condiciones similares a Fronterita, se pueden considerar con mayor aptitud para el desarrollo de plantaciones con fines productivos, sobre todo para *C. balansae* y *C. fissilis*. El Siambón tuvo la menor supervivencia general, aunque *C. fissilis* alcanzó el 40%.

Se podría decir que las estrategias de adaptación a diferentes condiciones ambientales varían según el origen. Esto indicaría que plantas crecidas en condiciones ambientales distintas logran mecanismos de adecuación diferentes por efectos de la divergencia y la selección natural.

## Sistemas y conducción del cultivo de cedro. Manejo de vivero

Las existencias de madera de calidad del monte nativo del NOA son cada vez menores y con la ley nacional 26.331 de ordenamiento territorial de bosques nativos se reducirá la oferta de madera del bosque nativo. Por esto, la alternativa es la producción sustentable de madera proveniente de especies nativas de alto valor susceptibles de ser domesticadas. Las selvas subtropi-

cales argentinas tradicionalmente abastecieron al mercado de productos de alto agregado con madera procedente de los bosques nativos; en particular en el NOA se han llevado adelante numerosos emprendimientos tendientes al cultivo del cedro.

A fin de evaluar el estado de las plantaciones y su desarrollo, se identificaron los emprendimientos existentes en las provincias de Jujuy, Salta y Tucumán en un rango de edad entre 3 y 30 años. La distribución de la superficie implantada con cedro en la región, tanto en macizo como enriquecimiento de bosque degradado, muestra que la provincia de Jujuy cuenta actualmente con 530 ha, Tucumán con 345 ha y Salta con 74 ha.

Las características de las plantaciones varían según la especie, el sitio, el sistema de cultivo y la edad; algunos casos se pueden observar en la Tabla 7.

Se encontraron diferentes modalidades de cultivo con especies de *Cedrela*: plantaciones en macizo, enriquecimiento en bosquetes y con 1, 2 y 3 líneas en la picada de monte.

En las plantaciones comerciales, *C. balansae* es la especie que mostró menor tolerancia al frío, aunque *C. odorata* y *Toona ciliata* var *australis* mostraron mayor sensibilidad que las especies nativas. La mayor tolerancia al frío se observó en *C. angustifolia*, seguido por *C. fissilis*. Sin embargo, la tolerancia está subordinada a las condiciones de cultivo, es decir, la sobrevivencia se duplica en un sistema de enriquecimiento con protección del bosque circundante con respecto a un sistema de cultivo a cielo abierto o en macizo, alcanzando el 85% de supervivencia en

Especie/Sistema de cultivo	Edad (años)	Provincia/sitio	IMA (cm)	Corteza (%)	Duramen (%)
<i>C. angustifolia</i> /enriquecimiento	30	Tucumán/Pedemonte	0,9 d	2,20 a	93,6 a
<i>C. balansae</i> /enriquecimiento	20	Tucumán/Pedemonte	2,4 a	3,00 b	97,0 a
<i>C. balansae</i> /enriquecimiento	12	Salta/Transición	2,0 b	2,10 a	91,0 b
<i>C. balansae</i> /macizo	17	Jujuy/Pedemonte	2,1 a	3,00 b	96,4 a
<i>C. fissilis</i> /enriquecimiento	10	Tucumán/Selva Montana	1,9 b	4,20 c	81,0 c
<i>C. fissilis</i> /enriquecimiento	14	Tucumán/Pedemonte	1,5 c	5,00 d	80,0 c
<i>C. balansae</i> /macizo con riego (goteo)	12	Salta/Transición	2,4 a	2,90 b	92,8 b

**Tabla 7.** Test de Duncan ( $\alpha=0,05$ ) para incremento medio anual (IMA), proporción de corteza, duramen y albura. Los grupos de valores con igual letra no se diferencian significativamente.



**Figuras 6 y 7.** *Cedrele fissilis* de 12 años plantados en el mismo sitio, a cielo abierto (izquierda, con fustes inferiores a los 2 m) y en enriquecimiento (derecha, con fustes superiores a 6 m).

*C. fissilis*. A su vez, la mayor o menor degradación que presente el bosque donde se está intervinando tiene incidencia en la supervivencia inicial. De esta manera, esta práctica de cultivo posibilita la implantación y el normal desarrollo de árboles de cedro en sitios donde plantados en macizo o cielo abierto serían vulnerables al frío (Figuras 6 y 7).

Una práctica imprescindible en la conducción del cedral es el control del barrenador del brote de las Meliáceas, *Hypsipyla grandella*. Se observó que productores de El Naranjo, Potrero de las Tablas y El Cajón (Tucumán), El Piquete (Jujuy), entre otros, lograron controlar en un 90% el ataque de esta plaga gracias a las aplicaciones de un repelente químico cuyo principio activo es la alfacipermetrina (SC-6% al 20%). Según recomendaciones de Tapia (2012), el control es simple y consiste en un “toque” en el ápice o cogollo con el repelente usando mochila, sin necesidad de “bañar” toda la planta. Es importante la aplicación del producto a partir del momento de implantación en el NEA y a partir del segundo año en el NOA, hasta lograr la longitud de fuste deseado. El período crítico de aparición de la plaga en el NOA está asociado a variables climáticas y corresponde a la época estival de mayores precipitaciones, por lo que se recomienda realizar el control mensual entre octubre y abril. El costo del producto y la mano de obra de las siete aplicaciones anuales durante los primeros tres años de implantación

implican el 15% del costo total del cultivo. Esta práctica asegura el logro de fustes comerciales y la sobrevivencia requerida para aspirar al beneficio de las leyes nacionales 26.432 y 26.331. Con respecto a la implantación bajo el sistema de enriquecimiento de bosques degradados, es fundamental una buena planificación de base. Las picadas tienen un ancho variable según la vegetación original, pudiendo variar entre 60 cm y 3 m (Figura 8) y se realizan cada 10 m, desembocando en un camino principal o vía central de saca. Si fuera un terreno con pendientes importantes, se hace un sendero a favor de la pendiente, abriendo las picadas a ambos lados, de manera que éstas queden en forma perpendicular a la misma cortando la pendiente principal, de manera de evitar fuertes escorrentías en la época de mayores precipitaciones y por ende procesos erosivos del suelo. Si en el



**Figura 8.** Establecimiento en picada-zona amarilla de Yungas. Taficillo, Tucumán.



camino de una picada se encuentran árboles de gran porte o de importancia económica o ecológica, se los saltea evitando plantar bajo su dosel, pues la sombra impedirá su desarrollo o provocará curvaturas en los tallos de los cedros a medida que estos crezcan buscando la luz. Las ramas laterales de árboles vecinos que puedan provocar el mismo efecto también deben ser removidas, despejando el camino para que los árboles en cultivo tengan un normal crecimiento. La época de plantación óptima es una vez superado el peligro de heladas, pero como esta época en el NOA coincide con la estación seca debe proporcionarse riegos hasta el período de lluvias estivales. De no ser posible regar, la implantación se hace una vez comenzado el ciclo lluvioso, con buena humedad en el perfil de suelo.

En el 2012 se instalaron parcelas demostrativas y experimentales en campos de productores con el objetivo de evaluar la supervivencia y desarrollo inicial, empleando diferentes fertilizantes de base y el uso de polaina para protección contra el frío y animales (Figura 9).

Como fertilizantes de base, se utilizaron Superfosfato triple de Calcio y fertilizantes de liberación lenta. La evaluación se llevó a cabo al año de plantación. Aunque se observaron diferencias en el desarrollo de los plantines respecto a los testigos, estas no fueron significativas. Sin embargo, como estas experiencias no son extrapolables a todos los sitios potenciales de plantación, es necesario realizar análisis de suelo en cada situación.

Con respecto al uso de polainas (50 cm de altura), esta práctica es recomendable dado que no se observaron plantas dañadas y su incidencia en el costo de plantación es del 1%.

Consideraciones a tomar en cuenta, según el sitio de cultivo

- ◆ *Frío*: a menores temperaturas extremas, mejor respuesta de *C. fissilis* y *C. angustifolia*
- ◆ *Exposición de las laderas*: enriquecimientos en laderas con exposición sur y sureste con mayor humedad en el suelo tienen mayores probabilidades de éxito.
- ◆ *Orientación*: las picadas con orientación NO-SE presentan plantas con mayor desarrollo.
- ◆ *Cobertura del bosque nativo circundante*: a mayor cobertura del dosel sobre la picada, menor desarrollo de los cedros implantados.
- ◆ *Suelos*: drenaje normal, no excesivo, mues-



Figura 9. Plantas con protección de polainas

tran mejor respuesta en el crecimiento de las plantas

- ◆ *Altitud*: hasta los 800 m mejor desarrollo de *C. balansae*, por encima de esta cota *Cedrela fissilis* y *C. angustifolia* mostraron mejor desempeño.
- ◆ *Pendiente*: el sentido de las picadas deben ser siempre perpendicular a la pendiente principal.
- ◆ *Malezas*: controlarlas durante los primeros años del cultivo, con especial énfasis en las trepadoras que deforman la planta pudiendo llegar a ahogarlas.
- ◆ *Precipitaciones*: lo óptimo para las 3 especies, son registros por encima de los de 900 mm, lo más extendido posible durante la primavera-verano.

En cuanto al manejo de vivero, El material seminal que se utilizado en las parcelas demostrativas y ensayos participativos en campos de productores, se colectó de ejemplares superiores seleccionados en plantaciones comerciales de Salta, Jujuy y Tucumán. La fecha de recolección de los frutos se realiza entre junio y julio en el NOA.

La siembra es directa en bandejas con alveolos, siendo los más recomendables los que se hallan entre 160 y 260 cm<sup>3</sup> de capacidad, según se comprobó en los ensayos realizados.

Los sustratos recomendables son los formulados en base a turba rubia/perlita y el de corteza de pino, adicionando 4 g por litro de sustrato



**Figura 10.** Plantines de *C. fissilis* en condiciones de llevar a campo



**Figura 11.** Evaluación del ensayo a los 30 días; Tratamientos 2,4,5,3,1 de izq. a der.

de fertilizante de liberación lenta (4-6 meses). El sistema que mejor resultado dio por su menor costo operativo es el de semi-hidroponía, alcanzando su ciclo de desarrollo en 3 meses. Otra opción con similar resultado es en bandejas dispuestas en mesadas con al menos 2 riegos diarios por aspersión.

Antes de llevar los plantines a terreno, es fundamental efectuar una intensa clasificación de los mismos, seleccionando los más fuertes de manera de incrementar el porcentaje de supervivencia a campo, mejorar la uniformidad de las plantas y reducir los costos por reposición (Figura 10) (Fornes *et al.* 2012).

Otro factor a considerar es la viabilidad de las semillas, dado que en condiciones de almacenamiento ambientales el poder germinativo de las semillas de cedro disminuye hasta un 50% de un año al siguiente de cosechadas, por lo que es recomendable sembrar a los pocos días de su colecta.

Los monitoreos frecuentes ayudan a detectar presencia de plagas como hormigas cortadoras o el barrenador del brote, las que se controlan sin problema aplicando productos con alfacipermetrina. Quitar malezas en forma periódica del sustrato evita la competencia por nutrientes y agua. En períodos con poca insolación y humedad excesiva prolongados, es conveniente la aplicación de fungicidas preventivos.

Con el objetivo de mejorar el desarrollo del plantín en vivero, incrementar la supervivencia al trasplante, mejorar la absorción de agua y nutrientes minerales, y la adaptación a campo, se han realizado ensayos comparando un testi-

go (1) con endomicorrizas del género *Glomus* (2), bacterias del género *Azospirillum* (3), la mezcla de endomicorrizas y *Azospirillum* (4) y (5) solución de suelo proveniente de la rizósfera de cedros nativos (Figura 11). Los resultados muestran que existen diferencias significativas en el desarrollo en altura total y diámetro del cuello en los plantines inoculados con *Glomus intraradices* (más de 100 propágulos infectivos/cc) con respecto al resto de los tratamientos.

### **Selección fenotípica y propagación de *Cordia trichotoma* en el NEA y NOA**

El INTA desarrolla tecnología orientada al bosque nativo atendiendo su multiplicidad de usos, no sólo productivos y compatible con el bienestar social y el desarrollo territorial, sino también con la sostenibilidad ambiental. En este contexto, una de las especies priorizada que comparte su hábitat en ambas Selvas Subtropicales argentinas es *Cordia trichotoma* (Vellozo) Arrábida ex Steudel, comúnmente llamada el “peterib?” en el NEA y “afata” en el NOA. Actualmente se dispone de tecnología básica para su cultivo y recientemente se ha implementado un Programa de Mejoramiento Genético (PMG), que contempla estrategias de conservación genética. El PMG atiende dos objetivos principales: generar materiales de propagación en cantidades suficientes para usos operacionales, con características sobresalientes para la producción de madera de alta calidad y con-



**Figura 12.** Individuo selecto de Peteribí.



**Figura 13.** Injertos en Peteribí.

tribuir a la ubicación de poblaciones con valor estratégico para la conservación de la especie (Rodríguez *et al.* 2014). La selección de árboles fenotípicamente superiores para la conformación de la Población Base (PB) conlleva una importante inversión y es un eslabón clave de un PMG, ya que el conjunto de árboles seleccionados será la base de futuras generaciones de bosques. Esto obliga a establecer una relación de compromiso entre lograr genotipos sobresalientes en las características deseadas y mantener la variabilidad genética poblacional íntegra que nos permita cumplir con los objetivos de mejora y conservación, respectivamente.

Primeramente se dividió la provincia en 5 zonas, definidas según los distritos fitogeográficos y las cotas de precipitación. Cada una de las zonas estará representada por un determinado grupo de individuos selectos por población/zona. Se seleccionaron hasta el momento un total de 60 individuos distribuidos en distintas localidades de Misiones. Entre estos sitios y conformando la PB del PMG se encuentran áreas del Parque Nacional Iguazú, reservas privadas, predios de productores y empresas. El proceso de selección consistió en recorrer los sitios correspondientes a las áreas de interés y el registro y la georreferenciación de los individuos que cumplieran con los criterios de selección.

Estos criterios fueron: diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor a 30 cm, fuste recto, altura de fuste superior a 6 m y sanidad (Figura 12). Estos individuos y los seleccionados a futuro serán evaluados mediante rankings fenotípicos pasando los mejores a formar parte de la población seleccionada. De estos últimos se colectará material de propagación destinado a ensayos genéticos y bancos de conservación clonal *in vivo*. Estudios realizados previamente revelaron un poder germinativo superior a 70% en todas las zonas (Barth *et al.* 2013). En el caso del NOA, se ubicaron las principales poblaciones según trabajos preliminares de presencia y densidad (Ledesma 2014). La PB estará constituida por individuos fenotípicamente superiores provenientes de selecciones realizadas en Parques Nacionales, reservas y empresas privadas, algunas de las cuales permiten la extracción de madera nativa con certificación de manejo, con lo que se facilita la preselección mediante el uso de inventarios. Posteriormente se realizarán las pruebas genéticas y el monitoreo de la diversidad genética a fin diseñar de manera estratégica el huerto semillero clonal. Paralelamente, el PMG forma parte del proceso de domesticación de esta especie, el cual involucra el desarrollo de técnicas de propagación vegetativa como una herramienta de gran utilidad.

Se observó que el uso de la hormona IBA en dosis inferiores a 1000 ppm y lograba un enraizamiento de un 96% en estacas apicales, lo cual es muy promisorio para encarar a futuro una línea de silvicultura clonal. Por otro lado, se han evaluado distintos tipos de injertos y el tiempo entre la cosecha de la púa (de copa) y la realización de los mismos. El mejor prendimiento del injerto se obtuvo con la técnica de hendidura plena apical, injertando la púa dentro de las 24 horas desde su cosecha a fin de evitar su deshidratación (Figura 13).

### **Conservación y mejoramiento de *Araucaria angustifolia* (Bert) O. Ktze.**

La zona de ocurrencia natural del pino Paraná en Argentina es muy acotada, extendiéndose desde el centro norte de Misiones hasta la frontera con Brasil. Es una especie emblemática y de importancia en el desarrollo del sector forestal y de la economía misionera, ya que su extracción, junto con otras especies del bosque nativo, contribuyó fuertemente con la colonización desde los inicios del siglo XX (Fahler 1981). Los bosques naturales de esta especie se redujeron considerablemente como consecuencia de la explotación, encontrándose en estado de “peligro crítico” según la lista roja de especies (IUCN 2015). El Campo Anexo Manuel Belgrano (CAMB) de la EEA Montecarlo-INTA, cuenta con ejemplares nativos de *A. angustifolia* y plantaciones con material desconocido con el fin de asegurar la conservación de la especie. Utilizando el material del CAMB como fuente principal de selección, se inició un Programa de Conservación y Mejoramiento Genético cuya población base consta de 440 ha organizadas en rodales con un rango de edades entre 10 y 64 años.

En el año 2011 se comenzó con las selecciones individuales basadas en criterios independientes de selección, en rodales con edades mayores a 16 años. Para esta tarea se utilizaron datos de inventarios preexistentes. Para cada rodal el límite mínimo de selección fue establecido como el DAP medio más dos desvíos estándar y se tuvieron en cuenta caracteres de forma (rectitud, conicidad, desrame natural) y sanidad. Se recorrieron un total de 39 compartimentos preseleccionando 302 individuos. Luego del chequeo de sus características, 233 resultaron



**Figura 14.** Selecto de *A. angustifolia*.

selectos (Figura 14). Estos individuos pasaron a formar parte de la población seleccionada (PS) del programa. Los individuos femeninos que conforman la PS serán evaluados en pruebas de progenies y propagados vía injerto, para conformar huertos semilleros y bancos de conservación clonal. El diferencial de selección fue de 22,5 cm (Figura 16). Así la población seleccionada superó en casi un 50% en DAP a la población base, obteniéndose una ganancia genética estimada de 21,7%. Este valor estimativo se traduciría en 10 cm de DAP promedio de superioridad de los descendientes respecto a la población base, lo cual se confirmará cuando se evalúe la descendencia.

Con el objetivo de obtener los valores de mejora de los ejemplares femeninos seleccionados, en el año 2012 se colectaron semillas cuyo destino fue la instalación de un ensayo de progenies en San Antonio (CAMB), el cual cuenta con 12 familias de polinización abierta. Esta tarea se repitió durante el año 2014, obteniéndose semillas de 40 madres selectas destinadas al mismo tipo de prueba a ser implantadas durante el 2015.

A fin de propagar los individuos selectos tanto femeninos como masculinos para conformar el huerto semillero clonal para la producción de semillas con un cierto grado de mejora genéti-

ca, como así también un banco de conservación de estos recursos genéticos, se cosecharon púas provenientes de la copa de 40 individuos selectos masculinos y femeninos en el año 2015. Este material fue injertado sobre patrones producidos durante 2014 en el CAMB. El tipo de injerto utilizado fue de púa, con hendidura en la parte superior del pie (Figura 15) y en la actualidad se encuentran en condiciones controladas de invernáculo. Luego de la evaluación de prendimiento a los 2 meses, estos injertos serán llevados a campo para su establecimiento.



Figura 15. Injerto de púa en *A. angustifolia*

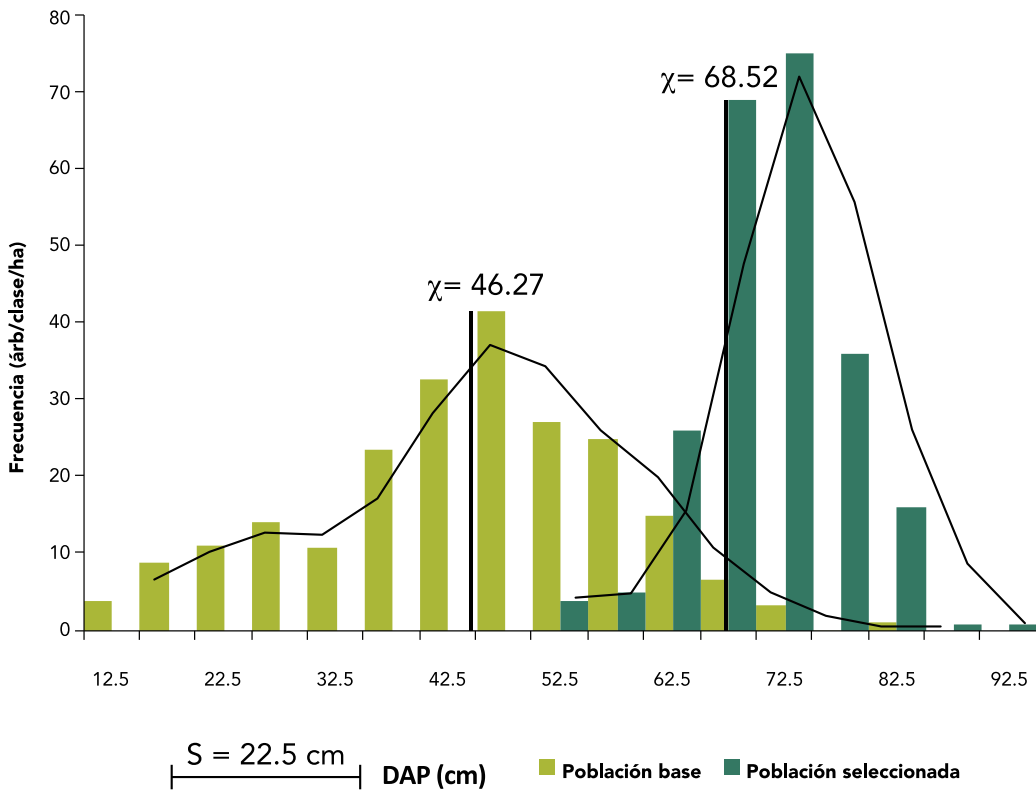


Figura 16. Distribución diamétrica de la PB (B) vs. PS (S)

## Publicaciones

- ◆ Grignola, J.; Acreche, M.; Di Rienzo, J.; Gatto, M.; Fornes, L. 2014. Potencialidad de especies y procedencias de *Cedrela* para el establecimiento de plantaciones sustentables en diferentes ambientes del Noroeste Argentino. Revista RIA. Vol 40 N° 3.
- ◆ Soldati, M.C., Inza, M.V., Fornes, L., Zelener, N. 2014. Cross transferability of SSR markers to endangered *Cedrela* species that grow in Argentinean subtropical forests, as a valuable tool for population genetic studies Biochemical Systematics and Ecology.53:8- 16.
- ◆ Soldati, M.C., Fornes, L., Barth, S., Eskiviski, E., Zelener, N. 2014. Diversidad genética en poblaciones remanentes de *Cedrela fissilis* Vell. en la selva paranaense. Trabajos Técnicos Grupo de Genética y mejoramiento Forestal. Páginas: 107-110. ISBN: 978-987-521-484-2.
- ◆ Soldati, M.C., Fornes, L., van Zonneveld, M., Thomas, E., Zelener, N. 2013. An assessment of the genetic diversity of *Cedrela balsanae* C. DC. (Meliaceae) in Northwestern Argentina by means of combined use of SSR and AFLP molecular markers. Biochem. Syst. Ecol. 47, 45–55.
- ◆ Ruiz V., Meloni D., Ordano M., Fornes L., Hilal M., Prado F. 2013. Seedling growth and water relations of three *Cedrela* species sourced from five provenances: response to simulated rainfall reductions. Agroforestry Systems 87:1005-1021.
- ◆ Rotundo, C. A.; Gauchat, M.E.; Belaber E.; Alarcon P.C. 2013. Avances en la selección de árboles plus de *Araucaria* (Bert.), en el NO de la provincia de Misiones. VI reunión de Genética y Mejoramiento Forestal. Campana, Buenos Aires.
- ◆ Fornes, L., Leiva, N., Lezcano, Z. and Trapani, A. 2012. Clean production of *Cedrela* spp. seedlings in hydroponics nursery. Acta Hort. (ISHS) 947:205-211.
- ◆ Fornes L. 2012. Domesticación de Especies de Alto Valor de las Selvas Subtropicales. Producción Forestal 2: 28-31.
- ◆ Tapia S. 2012. El control del barrenador del brote de los cedros. Experiencias en el NOA. Producción Forestal 2: 38-42.
- ◆ Inza M.V., Zelener N., Fornes L. & Gallo L.A. 2012. Effect of latitudinal gradient and impact of logging on genetic diversity of *Cedrela lilloi* along the Argentine Yungas Rainforest. Ecology and Evolution 2(11): 2722-2736.
- ◆ Meloni, D. A.; L. Fornes; M. R. Gulotta y D. Moura Silva. 2011. Tolerancia de *Cedrela lilloi* a bajas temperaturas: cambios metabólicos. Revista Quebracho Vol.18 (1,2) (16-23).
- ◆ Zelener N., Tosto D., Soldati M.C., Inza M.V. & Fornes L. 2011. Identificación genética molecular de las especies de *Cedrela* de las Yungas mediante ITS y AFLP. V Reunión GEMFO, Libro de Resúmenes. ISBN 978-987-679-082-6, p. 39. Ed. INTA, Bs. As., Arg.

## Acciones de transferencia

### Difusión Vía Web

- ◆ Soldati, M.C., Fornes, L., van Zonneveld, M., Thomas, E., Zelener, N. 2013. 17 de enero de 2013. Diversidad genética: una herramienta para conocer el estado de conservación del Cedro Orán. Artículo de difusión para la página web del Instituto de Recursos Biológicos - INTA.
- ◆ Soldati, M.C., Inza, M.V., Fornes, L., Zelener, N. 2014. 16 de enero de 2014. Transferencia cruzada de marcadores microsatélites entre especies del género *Cedrela*. Artículo de difusión para la página web del Instituto de Recursos Biológicos - INTA.
- ◆ Un aporte al OTBN: Distribución de la Diversidad Genética del Cedro (*Cedrela lilloi*) en Tucumán. Artículo de difusión interna INTA. Boletín electrónico EEA Famaillá, Tucumán. INTA Castelar-INTA Famaillá.

### Talleres/Reuniones sobre Enfoques Territoriales:

- ◆ Taller “Encuentro del PI-PNFOR1104061, el PROMEF y el Área de Extensión de la DPF-MinAgri (26-27 de Marzo de 2015. EEA Concordia, Entre Ríos).
- ◆ Taller de restauración con especies nativas. 19 de Noviembre de 2014. FCF-UNaM / UCAR. Disertante. Técnicas de Restauración. Plantación a cielo abierto, enriquecimiento, nucleamiento. Experiencia Nativas con Yerba Mate en Santo Pipó. Ings. Barth y Wiss.
- ◆ Jornada a Campo “Conservación y Mejoramiento de *Araucaria angustifolia*” Organizada por el INTA EEA Montecarlo. CAMB-San Antonio, Misiones. 6 de Octubre 2014
- ◆ XVI Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Mayo 2014. Eldorado. Misiones. Rodríguez, G. H.; Barth, S. R. Selección fenotípica de “Peteribi” (*Cordia trichotoma* (Vellozo) Arrábida ex Steudel) en el noreste argentino
- ◆ III Jornadas Foresto Industriales del NOA. Aportes a la Domesticación de Especies Nativas de Alto Valor”. Dr. Luis Fornes. INTA Famaillá. 11 y 12 de Noviembre de 2010.
- ◆ IV Jornadas Foresto Industriales del NOA. Disertación. :” Enriquecimiento de bosque nativo en el pedemonte”. San Salvador de Jujuy. 22 y 23 de Noviembre de 2012.
- ◆ Taller para el manejo integrado del barrenador de los cedros en Jujuy, Salta, Tucumán y Misiones. Yuto, Jujuy, 05 de Agosto de 2014.

## Impactos

### Impacto Social y Ambiental

Los estudios sobre la magnitud y estructura de la diversidad genética de las poblaciones de las especies de *Cedrela* permitieron delinear estrategias concretas de conservación y contribuir al criterio sobre el estado de conservación del bosque, aportando al Ordena-

miento Territorial de Bosques Nativos.

En el caso de *C. angustifolia*, la identificación de refugios glaciares pueden ser fuentes de material de propagación apta para atender la demanda de especies pioneras para remediación ecosistémica en áreas que sufrieron incendios, deslizamientos de suelo, inundaciones y para los planes de conservación destinados a “zonas rojas” que brindan servicios ambientales a la comunidad. En particular la Reserva Provincial La Florida (Tucumán) constituye una isla de alta diversidad en un medio circundante de muy baja diversidad. Se cuenta con información de base para la toma de decisiones en ocasión de futuras revisiones de la ley nacional 26.331 y una guía orientativa en la aplicación de los planes de conservación.

## Impacto Social y Económico

La definición de “zonas híbridas” interespecíficas (*C. balansae* x *C. saltensis*) constituye información útil para empresas y comunidades con asiento en áreas bajo aprovechamiento forestal, ya que la madera proveniente de altitudes entre 820 a 1100 msnm se asocia a bajos parámetros de calidad y por lo tanto tiene menor aceptación en el mercado. Por otra parte, es indudable el valor ecológico (adaptativo/evolutivo) de las zonas híbridas. La información también fue utilizada para diseñar estratégicamente los huertos semilleros que generarán el material de propagación mejorado de las especies nativas de alto valor y para direccionar la transferencia de semillas a fin de evitar contaminación genética. En el caso de los cedros, la Región Sur de las Yungas, de muy baja diversidad, es apta para la producción sustentable de maderas nobles en “zonas amarillas” sin riesgos de contaminación genética. El material genético adecuado es fundamental en emprendimientos a largo plazo, por lo cual están en marcha los programas de mejoramiento para las especies de *Cedrela*, *Cordia* y *Araucaria angustifolia* en el ámbito de las Selvas.

La información generada constituye una guía para la elaboración y evaluación de los planes de producción sustentable para los productores, profesionales y las autoridades de aplicación de las leyes nacionales 26.432 y 26.331.

## Referencias

Alberto, F. J., Aitken, S. N., Alía, R., González-Martínez, S. C., Hänninen, H., Kremer, A., Lefèvre, F., Lenormand, T., Yeaman, S., Whetten, R. y Savolainen, O., 2013. Potential for evolutionary responses to climate change-evidence from tree populations. *Glob. Chang. Biol.* 19: 1645-1661.

Allen, C. D., 2007. Interactions across spatial scales among forest dieback, fire, and erosion in Northern New México landscapes. *Ecosystems* 10: 797-808

Bianchi A. R., Yáñez, C.E. y Acuña, L.R. 2005. Base de datos mensuales de precipitaciones del noroeste argentino. Proyecto Riesgo Agropecuario, INTASAGPyA, Argentina.

Brown, A. D. y Pacheco, S. 2006. Importancia del género *Cedrela*

en la conservación y desarrollo sustentable de las Yungas australes. *En: Pacheco, S. y Brown, A. Ed. Ecología y Producción de cedro (género Cedrela) en las Yungas australes. LIEY-ProYungas, Tucumán, Argentina. Pp. 9-18.*

Brown, A. D., Pacheco, S., Lomáscolo, T. y Malizia, L. 2006. La situación ambiental en los bosques andinos yungueños. Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires, Argentina. Pp. 52-71.

Brown, A. D., Grau, H.R., Malizia, R.L. y Grau, A. 2001. Argentina. *En: Kappelle, M. y Brown, A. D. Ed. Bosques nublados del neotrópico. Instituto Nacional de Biodiversidad, Santo Domingo de Heredia, Costa Rica. Pp. 623-659.*

Cabrera, A.L., 1976. Regiones fitogeográficas Argentinas. *En: Enciclopedia Argentina Agrícola Y de Jardinería. Kugler, W.F. (Ed.). ACME, Buenos Aires, 85 pp.*

Degen, B., Blanc, L., Caron, H., Maggia, L., Kremer, A. and Gourellet-Fleury, S. 2006. Impact of selective logging on genetic composition and demographic structure of four tropical tree species. *Biological Conservation* 131: 386-401.

Fahler J. 1981. Variación geográfica entre y dentro de orígenes de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. a los ocho años de edad en la provincia de Misiones, Argentina. Tesis de Maestría. UFP. Curitiba, Brasil.

Gandara, F.B. 2009. Diversidade genética de populações de Cedro (*Cedrela fissilis* Vell. Meliaceae) no Centro-Sul do Brasil. PhD. Thesis, Escuela Superior de Agricultura, Universidad de San Pablo, Brasil.

Hall, P., Chase, M. R. and Bawa, K. S. 1994. Low genetic variation but high population differentiation in a common forest species. *Conservation Biology* 8: 471-482.

IUCN. 2015. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2015.2. [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org). Fecha de consulta 15 de Julio de 2015.

Kageyama, P. Y., Gandara, F. V. 1998. Consecuencias de la fragmentación sobre poblaciones de especies arbóreas, Camará - Centro de Apoyo às Sociedades Sustentáveis, Serie técnica IPEF 12(32): 65-70.

Keller, L.F., Waller, D.M. 2002. Inbreeding effects in wild populations. *Trends in Ecology and Evolution.* 17 (5): 230-241.

Ledesma Guaraz, Tilda. 2014. Las especies de género *Cordia* en el noroeste de Argentina: conservación in situ y ex situ. Tesis de Maestría en Recursos Naturales, Universidad Nacional de Buenos Aires. Locatelli, B., Kanninen, M., Brockhaus, M., Colfer, C. J. P., Murdiyarsa, D. y Santoso, H., 2009. Ante un futuro incierto: cómo se pueden adaptar los bosques y las comunidades al cambio climático. *Perspectivas forestales* No 5. CIFOR, Bogor, Indonesia, 104 pp.

Nei, M. 1978. Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals. *Genetics* 89: 3583-590.

Pennington, T. D. and Muellner, A. N. 2010. A monograph of *Cedrela* (Meliaceae). Missouri Botanical Garden Press, St. Louis, USA.

Pennington, R. T., Prado, D. E. and Pendry, C. A. 2000. Neotropical seasonally dry forest and Quaternary vegetation changes. *Jour-*

nal of Biogeography 27: 261-273.

Pinheiro, J., Bates, D., DebRoy, S., Sarkar, D. y R Development Core Team, 2013. nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects. Effects Models. R package.

Tang, S., Dai, W., Li, M., Zhang, Y., Geng, Y., Wang, L., Zhong, Y. 2008. Genetic diversity of relictual and endangered plant *Abies ziyuanensis* (Pinaceae) revealed by AFLP and SSR markers, *Genética* 133: 21-30.

Young, A. G. and Boyle, T. J. 2000. Forest Fragmentation. *In*: Young, A., Boshier, D. and Boyle, T. J. Eds. Forest conservation genetics: principles and practice. CSIRO, CABI, Australia. Pp. 123-134

- ♦ Alarcón, Pamela - Consultor PROMEF INTA EEA Montecarlo.
- ♦ Cuello, Roberto - Consultor PROMEF INTA EEA Famaillá.
- ♦ Gatto, Miguel - Consultor PROMEF INTA EEA Famaillá.
- ♦ Giannoni, Florencia - Consultor PROMEF INTA Castelar Instituto de Recursos biológicos.
- ♦ Rotundo, Cristian - Consultor PROMEF INTA EEA Montecarlo.
- ♦ Alonso, Fernando M. - Consultor . PROMEF INTA Castelar Instituto de Recursos biológicos.
- ♦ Saravia, Pablo - Consultor PROMEF INTA EEA Famaillá.
- ♦ Trápani, Adrián - Consultor PROMEF INTA EEA Famaillá.

## Responsable del Subprograma

Dr. Luis Fornes.

## Unidad Sede

EEA Famaillá.

## Unidades participantes

- ♦ EEA Famaillá
- ♦ EECT Yuto
- ♦ EEA Montecarlo
- ♦ IRB Castelar.

## Profesionales participantes

- ♦ Zelener, Noga – INTA Castelar Instituto de Recursos Biológicos.
- ♦ Gauchat, M. Elena - INTA EEA Montecarlo.
- ♦ Inza, María Virginia - INTA Castelar Instituto de Recursos Biológicos.
- ♦ Soldati, María Cristina - INTA Castelar Instituto de Recursos Biológicos.
- ♦ Ruíz, Verónica – becaria CONICET.
- ♦ Meloni, Diego – Universidad Nacional de Santiago del Estero- Fac. de Ciencias Forestales.
- ♦ Grignola, Josefina – INTA EEA Famaillá.
- ♦ Barth, Sara – INTA EEA Montecarlo.
- ♦ Ledesma, Tilda – INTA EECT Yuto.
- ♦ Tapia, Silvia – INTA EECT Yuto.
- ♦ Tarnowski, Christian – INTA EECT Yuto.
- ♦ Eskiviski, Edgar – INTA EEA Montecarlo.
- ♦ Figueredo, Iris – INTA EEA Montecarlo.
- ♦ Gonzalez, Paola – INTA EEA Montecarlo.
- ♦ Leiva, Nidia – INTA EEA Famaillá.
- ♦ Rodríguez, Gustavo - INTA EEA Montecarlo.

## Instituciones participantes

- ♦ Administración de Parques Nacionales-Regional NOA y NEA
- ♦ Dirección de Flora, Fauna Silvestre y Suelos de Tucumán
- ♦ MEDEFIT (Mesa para el Desarrollo Foresto Industrial de Tucumán)
- ♦ CAFITUC (Cámara de la Foresto Industria de Tucumán)
- ♦ AFIJUY (Asociación Foresto Industrial de Jujuy)
- ♦ Centro de Obreros del Norte (Orán, Salta)
- ♦ AFORSA (Agencia Forestal de Salta)
- ♦ UNT (Universidad Nacional de Tucumán)
- ♦ IDEP (Instituto de Desarrollo Productivo de Tucumán)
- ♦ Nodo Regional Selva Tucumano Boliviana – Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación
- ♦ Pindo SA (Misiones)
- ♦ Puerto Laharrague SA (Misiones)
- ♦ Ledesma SAAIC (Jujuy)
- ♦ GMF Latinoamericana S.A. (Salta)
- ♦ Forestal Santa Bárbara S.R.L. (Salta y Jujuy)
- ♦ Forestry S.A. (Tucumán)
- ♦ La Moraleja S.A. (Salta)
- ♦ Cía. El Cóndor S.A.C.I.F.I (Tucumán)
- ♦ Buhos Blancos SRL – Finca Los Morteros (Jujuy)
- ♦ José Minetti y Cia. Ltda. S.A.C.I. (Tucumán)
- ♦ Asociación Civil y Cultural Cristo Rey (Tucumán)







# Subprograma *Nothofagus*

**Autores.** Pastorino, Mario (a, b); El Mujtar, Verónica\*; Azpilicueta, María Marta (a); Aparicio, Alejandro (a); Marchelli, Paula (a, b); Mondino, Víctor (c); Sola, Georgina (c, d); Soliani, Carolina (a, b); Torales, Susana (e); Amalfi, Sabrina\*; Barbero, Fernando (a, b); Gallo, Leonardo (a); López, Micaela\*; Paredes, Mirian\*; Pomponio, Florencia\*; Schinelli, Teresa (c); Tejera, Luis (c).

(a) INTA EEA Bariloche, Río Negro, (b) CONICET, (c) INTA EEA Esquel, Chubut, (d) Universidad Nacional del Comahue – AUSMA, Neuquén, (e) INTA Castelar - Instituto de Recursos Biológicos, Buenos Aires, \*Consultores PROMEF.

**Resumen Ejecutivo.** El género *Nothofagus* cuenta en nuestro país con especies forestales del bosque templado andino-patagónico que son claves en los ecosistemas que integran y que a la vez han sido y son aprovechadas por su madera y poseen una gran potencialidad para ser usadas en plantaciones productivas. En sus cinco años de desarrollo, el Subprograma *Nothofagus* del PROMEF ha contribuido a generar conocimientos sobre la genética ecológica del raulí, el roble pellín, la lenga, el ñire y el coihue, relevantes para el uso y conservación de sus recursos genéticos. En particular ha hecho aportes para generar recursos genómicos y herramientas moleculares que pueden ser utilizadas con múltiples propósitos, como el mejoramiento genético asistido, la caracterización de variabilidad genética neutra y adaptativa, el mapeo genético o de asociación y el estudio de procesos evolutivos. Ha contribuido a la definición de zonas genéticas y a la generación de información cuantitativa indispensable para proponer regiones de procedencia. A su vez, este Subprograma ha sido una herramienta fundamental para la generación de materiales básicos de propagación de estas especies y para difundir su uso tanto con fines productivos como de restauración de áreas degradadas a través de la provisión de semillas a los viveros regionales, la publicación de boletines, folletos y artículos de divulgación, así como el dictado de cursos y la formación de recursos humanos.

## Introducción

Las especies del género *Nothofagus* han sido en el pasado intensamente explotadas en el bosque natural por la calidad de su madera o como recurso leñero. A lo largo de las últimas décadas diversas acciones se han ido concretando para propender a su conservación y uso sustentable, ya que aún hoy continúan siendo recursos naturales preciados y aprovechados por su alto valor económico. La primera de estas acciones fue la creación de los Parques Nacionales cordilleranos, de enorme relevancia social, cultural y ecosistémica, ya que promueven la conservación integral de un conjunto de ambientes y de especies. La más reciente es la sanción de la Ley Nacional N° 26.331 de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos, enfocada en la conservación y manejo sustentable de los bosques, que considera la biodiversidad como uno de los principales servicios ambientales que los bosques brindan a la sociedad.

Los *Nothofagus* son sostenedores de los ecosistemas que integran, por lo que el uso y la conservación de sus recursos genéticos deben considerarse dos caras de una misma moneda. A través del uso sustentable valoramos su existencia y persistencia, lo que nos impulsa a asegurar su conservación para mantenerlos disponibles para las futuras generaciones. La perpetuación de los bosques de *Nothofagus* no está hoy sólo amenazada por la explotación indiscriminada sino también por la presión directa o indirecta de actividades humanas no relacionadas con la extracción de madera. En ocasiones el avance de la urbanización hace evidente la pérdida de superficie boscosa. En otros casos, actividades como la ganadería extensiva, con una tradición de un siglo en la región, impactan fuertemente sobre el bosque, aunque de manera más sutil ya que el impacto se concentra en la regeneración y las clases etarias mayores no se ven afectadas. Asimismo, también debemos considerar los efectos del cambio climático global, con sequías masivas en áreas de fragilidad ambiental (Bran *et al.* 2001) o incendios catastróficos como el que en 2015 devastó más de 40.000 ha de bosques prístinos en el NO de la provincia de Chubut (Roveta & Lloyd 2015), o la explosión demográfica de plagas, como la ocurrida en 2015 en la cuenca del lago Lácar y que defolió total-

mente el bosque de roble y raulí, impidiendo la producción de semillas.

En este contexto, el conocimiento de los recursos genéticos de nuestros *Nothofagus* y en particular su domesticación, se vuelven cruciales para poder manejarlos sustentablemente, no sólo pensando a estas especies como una alternativa productiva sino también anticipándonos a programas de restauración que ya han empezado a demandarse en la región.

Las especies abordadas en este Subprograma son el raulí (*N. nervosa*), el roble pellín o roble (*N. obliqua*), la lenga (*N. pumilio*), el ñire (*N. antarctica*) y en menor medida el coihue (*N. dombeyi*). Las dos primeras tienen un área de distribución restringida en Argentina, pero su calidad de madera y su adecuación al uso en plantaciones industriales las vuelven de primera importancia para la producción. La lenga, con más de 1,6 millones de ha (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2005) es la de más amplia distribución en nuestro país, también con una calidad de madera de excelencia. El ñire le sigue en superficie boscosa (ca. 750.000 ha) y ha sido históricamente explotado como recurso leñero en la región, constituyendo sus bosques de ecotono el sostén de una actividad ganadera extensiva que, adecuadamente manejada, puede conformar un sistema silvopastoril sustentable (Peri 2009, Echevarría *et al.* 2014).

## Objetivos

En este marco los objetivos del PROMEF definidos para el Subprograma *Nothofagus* fueron:

- ♦ Caracterizar los patrones de variación genética de raulí, roble, lenga y ñire en Argentina a través de marcadores moleculares y de la variación en caracteres adaptativos, con el propósito de definir unidades operativas de manejo genético.
- ♦ Producir recursos genómicos para el género *Nothofagus* como base para el desarrollo de herramientas moleculares aplicadas al mejoramiento genético avanzado.
- ♦ Estudiar la dinámica de hibridación natural interespecífica entre roble y raulí.
- ♦ Evaluar el impacto genético y demográfico del

manejo silvícola en bosques de *Nothofagus*.

- ◆ Evaluar la aptitud productiva y adaptabilidad de raulí, roble, lenga y ñire, considerando su uso en programas de producción y restauración.
- ◆ Generar materiales básicos de propagación para raulí, roble, lenga y ñire.
- ◆ Ensayar y difundir el uso de los *Nothofagus* en plantaciones comerciales y de restauración.

## Actividades y Resultados

### Caracterización genética de poblaciones con marcadores moleculares como información base para el manejo y conservación de sus recursos genéticos.

La reforestación, la asistencia a la regeneración y todas las actividades de restauración activa requieren información básica sobre qué material genético plantar. Una elección inadecuada puede derivar en una mala adaptación de las plantas al sitio elegido. Si, por el contrario, el establecimiento es exitoso, un riesgo adicional a la introducción de material genético foráneo es la contaminación de las poblaciones naturales pre-existentes o remanentes por flujo génico, mediado tanto por polen como por la semilla. La situación ideal es utilizar material de origen local para realizar la reforestación o restauración. Sin embargo surge la duda sobre la dimensión de lo “local”. Además, muchas veces el bosque luego de su degradación no resulta una adecuada fuente de semilla debido al bajo número y mala condición de los individuos remanentes.

La genética de poblaciones aporta herramientas que brindan alternativas para resolver estos cuestionamientos. Una de ellas es la definición de zonas genéticas (ZG), las cuales funcionan como unidades operativas de manejo genético. En un área geográfica determinada se definen ZG para una especie como regiones con un acervo genético común de dicha especie, en las que la transferencia de material de propagación de un sitio a otro dentro de la misma ZG, minimiza el riesgo de impacto sobre las frecuencias genéticas originales, por lo tanto aumentando la probabilidad de una buena adaptación al sitio de implantación. Las ZG permiten de este modo la trazabilidad del material a utilizar y pueden ser consideradas como fuentes de semilla segura en

actividades de restauración y plantación.

Las ZG pueden definirse mediante el uso de marcadores moleculares. En general estas herramientas se desarrollan de manera específica para las especies de interés, permiten evaluar el nivel de diversidad genética de cada población y a la vez definir similitudes y diferencias entre poblaciones, es decir, evaluar la presencia o ausencia de variantes alélicas o genotípicas y también su frecuencia dentro de una población en comparación con otras poblaciones analizadas. En cuatro especies del género *Nothofagus* (roble pellín, raulí, lenga y ñire) se utilizaron marcadores moleculares para definir ZG. Se analizaron regiones del ADN de cloroplasto y regiones microsatélite del núcleo celular. El análisis de regiones de ADN de cloroplasto, debido a su baja tasa de mutación, su herencia materna y la ausencia de recombinación en la formación de las gametas, permite la distinción de grandes agrupamientos por linajes ancestrales (i.e. a nivel de la distribución natural de la especie). Por otro lado, los microsatélites, dada su gran variabilidad, posibilitan la detección de diferencias dentro de los grandes agrupamientos (i.e. a nivel local, como el caso de una provincia patagónica o una cuenca hidrográfica). Del total de *loci* de microsatélites nucleares desarrollados para las especies en estudio con anterioridad al PROMEF (Azpilicueta *et al.* 2004; Marchelli *et al.* 2008; Soliani *et al.* 2010), se analizaron siete en raulí, roble y lenga, mientras que para ñire se evaluaron seis de ellos (Azpilicueta *et al.* 2013; Soliani *et al.* 2015). A nivel de ADN de cloroplasto se analizaron tres regiones inter-génicas en roble (Azpilicueta *et al.* 2009), lenga y ñire (Soliani *et al.* 2012), y dos regiones inter-génicas en raulí (Marchelli *et al.* 2006).

De este modo, estos estudios permitieron detectar para cada una de las especies las poblaciones más diversas, distinguiéndose por su valor intrínseco para la conservación del acervo genético de las especies. Luego, mediante la aplicación de métodos estadísticos de agrupamientos, se encontraron los grupos de poblaciones que mantienen una similitud genética y que, por ende, podrían ser considerados como una misma unidad a los fines de definir zonas de transferencia de material de propagación. En roble pellín la población más diversa fue Lagunas de Epulauquen, que además reúne otras características distintivas que la destacan (Cuadro 1). Se definieron en esta especie tres ZG a lo

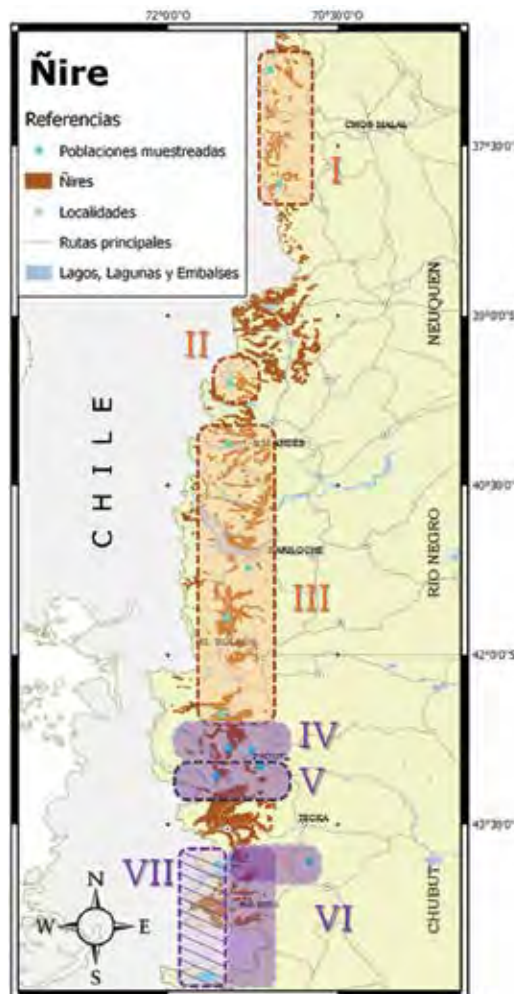
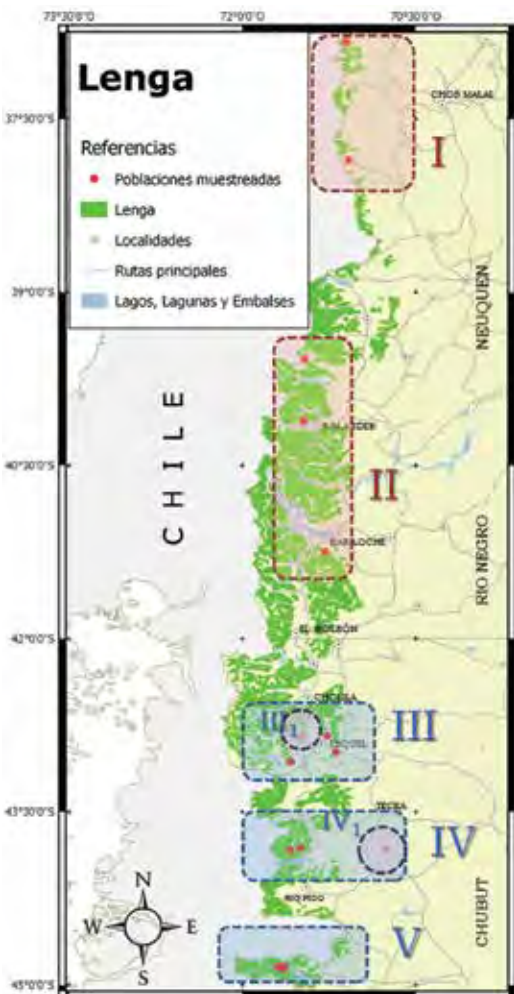
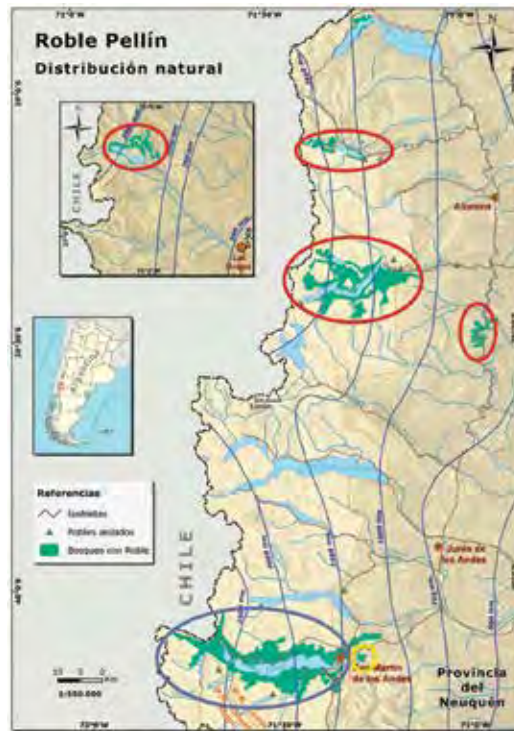
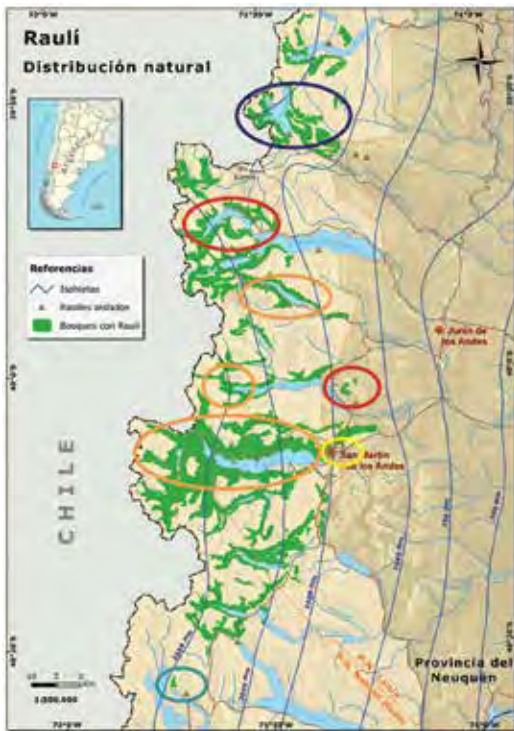


Figura 1. Zonas Genéticas de raulí, roble, lenga y ñire definidas en base a marcadores moleculares. Dentro de cada mapa, un mismo color de línea (continua o punteada) identifica una misma zona genética.

largo de su distribución (Figura 1; Azpilicueta *et al.* 2013). En raulí, la zona más diversa es Hua Hum, al oeste del lago Lácar dentro del Parque Nacional Lanín. Esta zona se encontraba bajo manejo con aprovechamiento del recurso, o sea con extracción de madera, y el resultado obtenido propició el cambio de categoría a “Área de Uso Turístico” (Gallo *et al.* 2009). En esta especie se distinguen cinco ZG (Figura 1; Azpilicueta *et al.* 2013). Para estos estudios se recibió financiamiento de Bioersity International (proyecto MAPFORGEN). En el caso de lenga y ñire, las dos especies fores-

tales de más amplia distribución de los bosques Andino Patagónicos, el análisis se acotó a la porción centro y norte de su distribución natural por ser más exhaustivo el muestreo desde Neuquén a Chubut. En ambas especies se observó una mayor diversidad genética en las poblaciones del norte de la distribución y en algunas de la Provincia de Chubut (Soliani *et al.* 2012; 2015). Se definieron cinco y siete ZG, respectivamente (Figura 1). Estos estudios contaron con el apoyo y financiamiento del Istituto di Bioscienze e Biorisorse (IBBR) del Consiglio Nazionale Delle Ricerche (CNR) de Italia, en Florencia.

## Robles en Lagunas de Epulauquen

Los bosques de roble en Lagunas de Epulauquen, caracterizados por un fuerte grado de aislamiento geográfico y una altitud de 1500 msnm (varios cientos de metros más alto que el resto de las poblaciones de la especie), fueron considerados desde siempre la localización más septentrional de *Nothofagus obliqua* en Argentina. Sin embargo, la ocurrencia de caracteres distintivos respecto a los otros orígenes argentinos de la especie en su semilla, morfología foliar, arquitectura de sus plantas, patrones de marcadores isoenzimáticos, de ADN de cloroplasto y de microsatélites nucleares y aptitud a campo, generaba dudas respecto a su verdadero estatus taxonómico (Azpilicueta *et al.* 2014); duda que se acrecentó con nuevos datos de crecimiento en altura, fenología de cierre de yemas, duración del período vegetativo y momento de finalización de crecimiento en altura (Barbero 2014). Un estudio realizado recientemente mediante la secuenciación de la región ITS del genoma nuclear (de amplia aplicación en análisis filogenéticos) y del gen ADH (con secuencia discriminante entre especies) y la caracterización genética con aplicación de 12 microsatélites nucleares (incluyendo marcadores especie-específicos), permitió descartar la hipótesis de un origen híbrido interespecífico de los árboles de esta población y confirmar su identificación como *N. obliqua* (Azpilicueta *et al.* 2013). De esta manera se justifica la inclusión de esta población (destacada por su elevada diversidad genética junto a la presencia de variantes de ADN exclusivas) en los programas de domesticación y mejoramiento que lleva adelante la EEA Bariloche en la especie.



**Figura 2.** Vista general de una de las lagunas de Epulauquen, en el norte de la provincia de Neuquén, rodeada por bosques de *N. obliqua*.

En las cuatro especies estudiadas la definición de ZG por los métodos descriptos generó agrupamientos de poblaciones con una clara tendencia latitudinal, lo que se corresponde en gran medida con la distribución norte-sur de las masas boscosas.

Actualmente se está trabajando para completar esta información con datos morfométricos y de marcadores adaptativos para llegar a una propuesta de Regiones de Procedencia. De todos modos, los resultados hasta aquí alcanzados, están siendo tenidos en cuenta en la elaboración de una estrategia de restauración que la Provincia de Chubut está liderando para el área afectada por el incendio de Cholila de comienzos de 2015.

### Generación de recursos genómicos y herramientas moleculares para su aplicación en el mejoramiento genético.

La aplicación de técnicas biotecnológicas de genética molecular en diferentes etapas del mejoramiento genético en plantas ha permitido acortar tiempos en los programas de mejora, basados tradicionalmente en la selección fenotípica. Este impulso no debe entenderse únicamente como la aceleración del ciclo de mejora, sino también como el perfeccionamiento del propio proceso de selección y el adecuado manejo de la variabilidad genética de las poblaciones de mejora y producción.

Muchas de estas aplicaciones, como por ejemplo el mejoramiento genético asistido, la caracterización de variabilidad genética neutra y adaptativa, el mapeo genético o de asociación, la identificación clonal y la certificación del ma-

terial mejorado, dependen del conocimiento de la secuencia de nucleótidos (recursos genómicos (RG)) del genoma (ADN) o transcriptoma (ARN) de la especie de interés y de la disponibilidad de marcadores moleculares (MM). La falta de información genómica para especies forestales no-modelo ha sido una limitante en este sentido, debido fundamentalmente a los altos costos de secuenciación. Por tal motivo, la identificación y la caracterización de la variación genética adaptativa y el desarrollo de MM, se basaron tradicionalmente en la implementación de metodologías que: a) no requieren de RG propios o, b) se basan en RG disponibles en bases públicas de especies modelo (e.g. *Arabidopsis*, *Populus*) o especies comerciales de relevancia mundial (e.g. *Eucalyptus*, *Pinus*).

En la última década, esta situación cambió rotundamente con el surgimiento de tecnologías de secuenciación de última generación que permiten determinar la secuencia de nucleótidos con costos más reducidos (en tiempo y dinero). En combinación con el uso de algoritmos bio-informáticos han revolucionado la producción de RG y el desarrollo de herramientas moleculares en especies forestales no-modelo (nativas e introducidas).

En el caso particular de las especies de *Nothofagus* y como parte de las actividades de este Subprograma en colaboración con proyectos nacionales (INTA) e internacionales (INRA-Francia), se ha llevado a cabo la producción de recursos genómicos propios a través de dos proyectos complementarios de secuenciación (genoma y transcriptoma). La secuenciación del transcriptoma de *N. nervosa* (Torales *et al.* 2012) permitió obtener 111.814 secuencias de alta calidad con una longitud promedio de 447 pares de bases (pb) y generar 24.886 secuencias

Producción de Recursos Genómicos			SSRs				SNPs (nuclear / organela)	
Secuenciación	Especie	Nº ind	I	V	C	T	I	D
Transcriptoma	<i>N. nervosa</i>	1	3.821 (2.517)	73	22	22 (10)	-	-
Genoma	<i>N. nervosa</i>	17	2.274 (769)	29	8	3	10.071 / 1.066	374 [196] / 8 [2]
	<i>N. obliqua</i>	10						

I: identificados (entre paréntesis c/cebadores diseñados); V: validados; C: caracterizados en un total de 42 individuos por especie provenientes de 2 poblaciones; T: transferidos; D: divergencia entre especies según valor de  $G_{ST} > 0,5$ , entre corchetes se informan los SNPs con  $G_{ST} = 1$ . La producción de recursos genómicos y el desarrollo de herramientas moleculares se co-financiaron con los proyectos EVOLTREE network of Excellence (EU 016322), PNFOR 44321 INTA, AEBIO242421 INTA y PNBIO 1131044 INTA.

**Tabla 1.** Producción de recursos genómicos y desarrollo de marcadores moleculares en especies de *Nothofagus*.



génicas únicas (unigenes) que representan un 50 % del total del transcriptoma de *N. nervosa*, un 62 % de las cuales presentó función putativa al compararlo con la base de datos de plantas (Viridiplantae). Dichas secuencias reflejan la diversidad de genes expresados en el metabolismo basal para la especie en el tejido vegetal de origen (hoja). Además, fueron identificadas secuencias de repetición simple (*simple sequence repeats*: SSRs o microsatélites), de las cuales el 66 % presentó una longitud de secuencia flanqueante suficiente para el desarrollo de primers para amplificar los SSRs (Tabla 1). El 45 % de los SSR identificados estuvieron localizados dentro de la región codificante del gen correspondiente, permitiendo el desarrollo de marcadores funcionales. Se seleccionaron 73 SSRs presentes en secuencias con anotación funcional relacionada a respuesta a estrés abiótico, los cuales fueron validados en *N. nervosa* (20 polimórficos) y transferidos a *N. obliqua*, *N. pumilio*, *N. antarctica* y *N. dombeyi*, y fueron caracterizados 22 SSRs en 2 poblaciones de *N. nervosa* y en 2 de *N. obliqua* (Tabla 1).

La secuenciación parcial del genoma de *N. nervosa* y *N. obliqua* (El Mujtar *et al.* 2014) generó un total de 361.438 secuencias, a partir de las cuales se obtuvieron 32.595 secuencias contiguas ensambladas de alta calidad. Las mismas correspondieron al genoma nuclear y a los genomas extra-nucleares, y totalizan 13,4 Mb (mega pares de bases) con una longitud promedio de 412 pb.

Dado el menor tamaño de los genomas extra-nucleares la secuenciación cubrió un porcentaje alto de su longitud total estimada. Particularmente en el caso del genoma de cloroplasto se logró establecer la secuencia de nucleótidos en un 96 %, con anotación funcional y estructural de 112 genes. En tanto que para el genoma de mitocondria se cubrió el 70 % del contenido génico, con 52 genes anotados funcional y estructuralmente. Globalmente la ano-

tación funcional fue exitosa en un 15 % del total de las secuencias ensambladas, permitiendo la identificación de 1.750 nuevos genes nucleares (que complementan los datos de transcriptoma) y un total de 4.000 regiones génicas. Las secuencias sin anotación funcional corresponderían, potencialmente, a regiones no-génicas. Estos RG permitieron el desarrollo de una base de datos de alta calidad de nucleótidos de polimorfismo simple (SNP, según sigla en inglés “*single nucleotide polymorphism*”, Tabla 1), que indica una fuerte conservación del genoma de organelas en contraste con numerosos polimorfismos nucleares exclusivos en ambas especies. Por otra parte, se utilizaron también para la identificación de secuencias de repetición simple, pudiéndose desarrollar SSRs en un 34 % de las mismas (Tabla 1). Un total de 29 SSRs fueron seleccionados para validación y transferencia a otras especies de *Nothofagus*, y 8 de ellos se caracterizaron en 2 poblaciones de *N. nervosa* y *N. obliqua* (Tabla 1). La complementariedad de ambos proyectos de secuenciación permitió desarrollar 30 nuevos SSR para *N. nervosa* y *N. obliqua*, y transferir 13 de ellos a *N. dombeyi* (11), a *N. pumilio* (10), y a *N. antarctica* (7) (Tabla 1). Los marcadores moleculares desarrollados comprenden: a) marcadores neutros y funcionales, b) localizados en regiones génicas y no-génicas de genomas nucleares y extra-nucleares (cloroplasto y mitocondria), c) que presentan polimorfismo y en algunos casos alelos especie-específicos (alta divergencia entre especies) con potencialidad para la identificación de híbridos.

Los RG generados en la secuenciación del genoma de *Nothofagus* fueron utilizados además para la evaluación de nuevas metodologías (PCR en micro-fluidos y secuenciación Ion Torrent) para la generación de datos moleculares en estudio de re-secuenciación en especies de *Nothofagus* -actividades desarrolladas en colaboración con INRA-Pierroton (Francia)

Producción de RG	Caract.génética (Orig. & Proc.) <sup>a</sup>	Hibridación introgresiva <sup>b</sup>	Impacto del manejo <sup>c</sup>	Divergencia adaptativa	Taxonomía en <i>N. obliqua</i> <sup>g</sup>
Transcriptoma	2 SSRs	3 SSRs	7 SSRs	8 GC <sup>d</sup>	8 SSRs
Genoma	4 SSRs	3 SSRs	4 SSRs	59 GC <sup>e,f</sup>	4 SSRs / 1 GC

<sup>a,b,c,g</sup> subtítulos siguientes de este libro, <sup>d</sup>Arana *et al.* 2014, Soliani *et al.* 2015, <sup>e</sup>El Mujtar *et al.* 2012, <sup>f</sup>El Mujtar *et al.* env.

**Tabla 2.** Aplicación de las herramientas moleculares desarrolladas a partir de recursos genómicos propios.

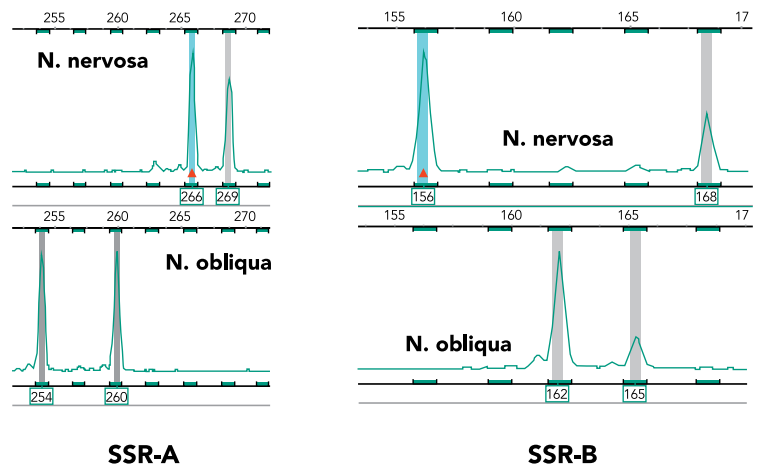
y financiadas por el programa Trees4Future (<http://www.trees4future.eu/>). Las mismas están siendo utilizadas actualmente en la caracterización de las regiones del genoma con valor adaptativo mediante estudios de re-secuenciación de genes candidatos, complementando estudios de secuenciación Sanger realizados en el marco de este Subprograma. De la misma manera, del transcriptoma han sido utilizados genes candidatos de respuesta a distintos estreses abióticos, a fin de estudiar la variación adaptativa en poblaciones de *Nothofagus* distribuidas a lo largo de gradientes ambientales (Arana *et al.* 2014, Soliani *et al.* 2015).

Los RG producidos han servido de base, por tanto, para el desarrollo de diversas herramientas moleculares que están siendo aplicadas a estudios de caracterización genética, divergencia adaptativa, taxonomía molecular, e hibridación inter-específica, asistiendo no sólo los programas de mejoramiento en curso sino también programas de conservación y manejo de las especies de *Nothofagus* (Tabla 2).

### Marcadores moleculares especie-específicos aplicados al estudio de la dinámica de hibridación introgresiva entre raulí y roble.

La hibridación introgresiva, es decir, la generación de retro-cruzas sucesivas a través del cruzamiento de la primera generación híbrida (F1) con las especies parentales, es un proceso evolutivo que modela la diversidad genética en numerosas especies (Mallet 2005) y constituye una fuente de variación genética adaptativa clave al facilitar la propagación de alelos favorables entre especies, siendo por tanto de relevancia en programas de mejoramiento genético.

A pesar de desarrollarse en simpatria en algunos sectores de su distribución natural, *Nothofagus nervosa* y *N. obliqua* presentan diferencias en características ecológicas, fisiológicas y genéticas que sugieren divergencia adaptativa al estrés abiótico (Veblen *et al.* 1996, Varela *et al.* 2010, Arana *et al.* 2011, Azpilicueta *et al.* 2013). *N. obliqua* estaría más adaptada a condiciones de estrés hídrico y menos adaptada a las bajas temperaturas que *N. nervosa*. Si bien algunos aspectos de este proceso de cruzamiento inter-específico han sido previamente estudiados (Gallo 2004, Torres & Puntieri 2013), la exten-



**Figura 3.** Ejemplo de marcadores moleculares especie-específicos desarrollados para *N. nervosa* y *N. obliqua*. Los distintos "picos" graficados en los electroferogramas muestran que cada especie tiene alelos exclusivos.

sión y la dirección de la hibridación introgresiva en bosques naturales es aún poco conocida. De acuerdo con la información disponible (Gallo 2004) se espera que este proceso varíe en gradientes ambientales.

Una forma de identificación de posibles híbridos entre estas especies se basa en el fenotipo (caracteres intermedios en hojas, yemas y corteza), pero la variación natural de dichos caracteres en las especies parentales es una limitante en su aplicación. Si bien la utilización de marcadores bioquímicos (isoenzimáticos) permitiría la identificación genética de híbridos, el número de marcadores discriminantes disponibles no es suficiente para la clasificación de los mismos según su grado de hibridación, i.e., F1, F2 o retrocruzas. Por tal motivo, y con el fin de contar con una herramienta fuertemente discriminante, en el marco de este Subprograma se desarrollaron marcadores SSR especie-específicos (SSR<sub>EE</sub>), es decir, marcadores que presentan divergencia de alelos entre especies (Figura 3). Estos marcadores reúnen las características necesarias para estudios de la dinámica de hibridación introgresiva, permitiendo la identificación y la clasificación de híbridos.

Con esta herramienta se iniciaron estudios de caracterización de la dinámica de hibridación introgresiva entre raulí y roble a través del genotipado molecular. El trabajo se realizó en dos sitios ubicados en un gradiente altitudinal<sup>1</sup> a 650 y 930 msnm; referidos de aquí en adelante como sitio bajo (SB) y sitio alto (SA), respectivamente. Entre ambos existe una diferencia de 1,9°C en la temperatura media según regis-

<sup>1</sup> Sistema de parcelas permanentes instalado en el año 2009 en la zona del Lago Lácar en el marco del proyecto ECOS (INTA-INRA, Argentina-Francia).

tros climáticos de dataloggers (Martinez Meier, com. pers.), siendo la abundancia de especies cercana a una relación 1:1 sin diferencias significativas entre sitios ( $p > 0,05$ ).

Se genotiparon individuos del estrato adulto (276 y 183 en SA y SB) y de la regeneración (1068 y 528 en SA y SB) en 6 SSR<sub>EE</sub> con financiación de una colaboración internacional (IBBR)<sup>2</sup>. Los datos de genotipo obtenidos fueron utilizados para: i) el análisis de la estructura genética poblacional, ii) la identificación de híbridos y especies parentales y iii) la clasificación de los híbridos identificados (Pritchard *et al.* 2000, Falush *et al.* 2003, Falush *et al.* 2007, Fitzpatrick 2012).

El estudio reveló diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,01$ ) en la proporción de híbridos entre ambos sitios (Figura 4). El SB (650 msnm) presentó una mayor proporción de híbridos que el SA (930 msnm), mostrando además una mayor proporción de *loci* híbridos, o sea de *loci* que presentan alelos de ambas especies parentales. El resultado fue independiente del estrato vegetal considerado (adulto o regeneración). Por otro lado, se detectaron cambios estadísticamente significativos ( $p < 0,01$ ) en la direccionalidad de la introgresión (Figura 5): el SA presentó más retrocruzas hacia *N. obliqua*, en tanto que el SB mostró más retrocruzas hacia *N. nervosa*. En este último sitio, sin embargo, la diferencia fue menos pronunciada y se observaron además individuos correspondientes a etapas tempranas del proceso de hibridación (F1, F2, y primeras retrocruzas) (Figura 5).

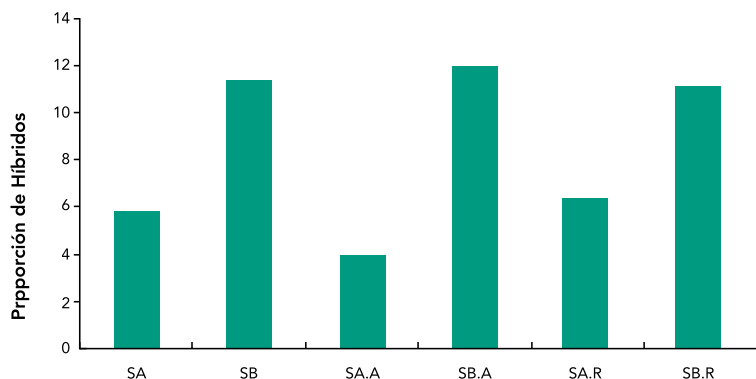
Actualmente los estudios de la dinámica de hibridación se están realizando dentro de cada sitio en áreas que difieren en la abundancia relativa de especies, debido a la influencia de este factor en los patrones de hibridación introgresiva. Si bien los 6 SSR<sub>EE</sub> empleados corresponden a una baja cobertura del genoma de las especies, la identificación y clasificación de híbridos fue robusta y adecuada para estudiar la dinámica de este proceso evolutivo de importancia adaptativa. La incorporación de nuevas herramientas moleculares generadas en este Subprograma (e.g. SNPs) permitirá profundizar en el estudio de la dinámica de hibridación introgresiva.

La aplicación de estos marcadores permitió, por otra parte, realizar un análisis preliminar de correlación genotipo-fenotipo sobre un total de 24 individuos. Este estudio reveló que en un 54 % de los casos analizados la asignación

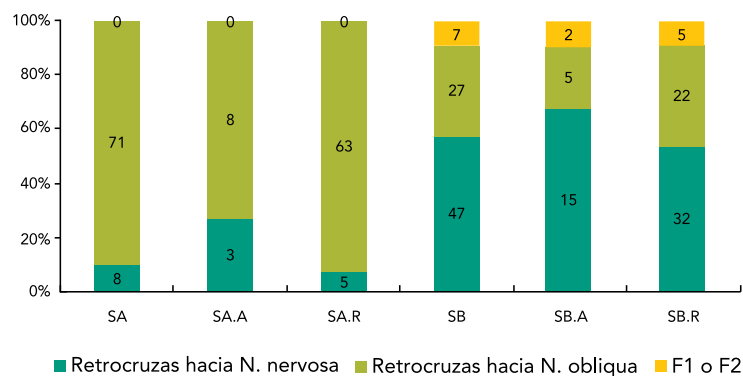
por fenotipo difiere de la identificación por genotipo (Figura 6). En algunos casos individuos fenotipados como especies puras fueron identificados como híbridos en base al genotipo, en tanto que en otros casos se trató de individuos fenotipados como híbridos para los cuales no se observó evidencia de hibridación en el genotipo. Estos resultados evidencian la necesidad de redefinir los caracteres fenotípicos a utilizar a campo para la separación de especies parentales (considerando su variación interna) e híbridos, mediante la validación con marcadores moleculares (SSRs o SNPs) que muestren alta divergencia entre especies.

Como parte de la aplicación de los marcadores desarrollados en la identificación y seguimiento de la hibridación introgresiva, se genotiparon 4 SSR<sub>EE</sub> en 97 individuos generados por cruzamientos controlados. Los resultados obtenidos mostraron incongruencias entre los genotipos observados y los esperados en función del cruzamiento. Por tal motivo se realizó el genotipado de los mismos marcadores en 10 individuos

<sup>2</sup> Istituto di Bioscienze e Biorisorse (IBBR) del Consiglio Nazionale Delle Ricerche (CNR) de Italia, en Florencia.



**Figura 4.** Variación en la proporción de híbridos entre sitios. SA: sitio alto (930 m snm). SB: sitio bajo (650 m snm). A: adultos. R: regeneración.



**Figura 5.** Asimetría en la direccionalidad de la introgresión entre sitios de estudio. SA: sitio alto (930 m snm). SB: sitio bajo (650 m snm). A: adultos. R: regeneración. Los números sobre las barras muestran el valor absoluto de individuos.

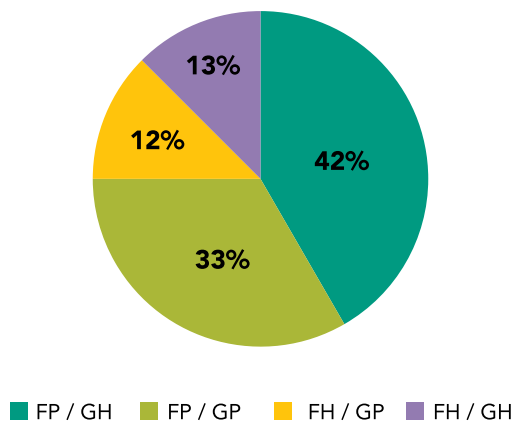
empleados como parentales, determinándose que algunos de ellos correspondían a híbridos según su genotipo. En otros casos, sin embargo, las incongruencias se habrían originado por autofecundación o contaminación polínica. Considerando esta información, se decidió incorporar la validación por genotipo de los individuos parentales seleccionados como procedimiento de rutina en la metodología de cruzamiento manual, al tiempo que se están explorando alternativas que permitan mejorar el aislamiento de los cruzamientos realizados a fin de evitar eventos de contaminación.

Por último, es importante mencionar que el sistema de parcelas permanentes del gradiente altitudinal nuclea estudios genéticos, ecológicos y fisiológicos en especies de *Nothofagus*, lo que permitirá correlacionar los datos de genotipos de híbridos y especies parentales con caracteres fenotípicos de interés adaptativo (e.g. crecimiento, producción de semillas, fenología de brotación) relevantes para programas de mejoramiento genético.

### Aplicación de SSRs en la caracterización genética de un ensayo de orígenes y progenies de raulí para su futura transformación en huerto semillero.

Dos aspectos básicos de un programa de mejoramiento genético son: i) la producción de semilla mejorada y ii) el mantenimiento de una base genética amplia, siendo por tanto de importancia contar con una caracterización genética del material de base empleado en dicho programa. Esta información puede ser utilizada a su vez para la construcción de matrices de relaciones genómicas que, utilizadas en reemplazo de las matrices de relaciones aditivas proveniente del *pedigree*, determinan un incremento de la ganancia genética debido a un aumento en la precisión de cálculo (e.g. en estimaciones de componentes de varianza y predicciones de los valores de cría).

Debido a que la diversidad genética de *N. nervosa* es afectada por el proceso de hibridación introgresiva con *N. obliqua*, la identificación y discriminación de híbridos se presenta como un aspecto de relevancia en la caracterización genética del material de base para el futuro programa de selección y mejora. Como fue



**Figura 6.** Análisis de correlación entre la identificación de híbridos y parentales por caracteres fenotípicos (i.e. hoja, yema, corteza) y datos de genotipo (marcadores moleculares SSRs). Las identificaciones incongruentes (42 % y 12 %) suman el 54 %. F: fenotipo, G: genotipo, P: parental, H: híbrido.

presentado en el subtítulo anterior, el reciente desarrollo de marcadores moleculares SSR especie específicos, permite avanzar en actividades de caracterización de la diversidad genética e identificación de híbridos a fin de obtener matrices genómicas en los ensayos establecidos para optimizar la selección en vistas a la creación de huertos semilleros.

Una primera puesta en práctica de estos conceptos se llevó a cabo en un ensayo de progenies y orígenes de raulí instalado en 1999 en la Estación Agroforestal Trevelin de la EEA Esquel del INTA (Figura 7). Para ello se realizó el genotipado en 11 SSRs de un total de 251 individuos. Los marcadores aplicados incluyeron 6 de los 7 SSRs empleados en la caracterización de la diversidad genética y la definición de zonas genéticas para la especie (Azpilicueta *et al.* 2013), y otros 5 marcadores derivados de secuenciación de última generación, algunos de los cuales presentan alelos especie-específicos (SSR<sub>EE</sub>) para *N. nervosa* y *N. obliqua*.

Los datos de genotipos permitieron determinar en el ensayo analizado un nivel diversidad similar (en términos de número efectivo de alelos y heterocigosidad) a la media observada en la distribución natural de la especie en Argentina (en base a los 6 SSRs compartidos entre ambos estudios). Por su parte, la aplicación de SSR<sub>EE</sub> permitió detectar 5 individuos híbridos en el total de individuos del ensayo, resaltando la importancia de incorporar este tipo de marcadores en los análisis de caracterización gené-



**Figura 7.** Ejemplar de raulí del ensayo de progenies y orígenes evaluado (año de instalación 1999, foto 2013).

tica. Los datos de genotipos fueron utilizados además para la construcción de una matriz de relación genómica que será incorporada en los análisis de control genético.

Estas actividades constituyen el punto de partida de la caracterización genética del material base del programa de conservación y utilización de los recursos genéticos de especies forestales nativas patagónicas, con proyección a la inclusión de otros ensayos y a la implementación de nuevos marcadores moleculares que permitan el ajuste de las matrices genómicas.

### **Impacto del manejo silvícola en el bosque mixto de coihue, raulí y roble<sup>3</sup>**

Las prácticas silviculturales constituyen un importante agente de disturbio y su inadecuada implementación podría afectar la sostenibilidad de los bosques naturales. En el área del paraje Quilánlahue de la Reserva Nacional Lanín, el manejo silvícola del bosque de *Nothofagus dombeyi*, *N. nervosa* y *N. obliqua* se realizó en 1993 mediante una única corta diseminatoria, con una disminución de la cobertura al 40 %. Para poder determinar el impacto en la estructura demográfica se caracterizó el sitio previo a la corta mediante el procesamiento de parcelas de inventario, identificando tocones y rebrotes,

y luego de la corta a través del muestreo de individuos adultos y la regeneración. El bosque estaba representado por un fustal-oquedal cuyos árboles adultos y renovales previos al aprovechamiento estaban compuestos principalmente por *N. nervosa*. Sin embargo, luego de la corta la regeneración estuvo conformada principalmente por *N. dombeyi* y *N. obliqua*.

La regeneración post- aprovechamiento presentó un patrón espacial agrupado (núcleos de regeneración, Figura 8) y los renovales de *N. dombeyi* y *N. obliqua* presentaron los mayores tamaños (por ende más edad). El mayor reclutamiento que exhibieron no se correlacionó con el área basal de los árboles adultos remanentes y por lo tanto con la disponibilidad de semillas, sino que estaría probablemente asociado a los cambios en el régimen de luz, ya que poseen una mayor exigencia lumínica que *N. nervosa* (Weinberger & Ramírez 2001, Dezzotti *et al.* 2003). Por otra parte, en los micrositos con mayor cobertura del dosel, los renovales presentaron una mayor edad y por lo tanto un mayor grado de establecimiento. En consecuencia, las condiciones y recursos necesarios para la colonización se manifestaron antes en comparación con sitios más abiertos.

También se pudo verificar que el aprovechamiento realizado del bosque de *Nothofagus* no promovió el mantenimiento de la composición relativa original de la regeneración. En este sentido es esperable que el tiempo de colonización de las especies de *Nothofagus* disminuya y una mayor cantidad de renovales de *N. nervosa* se establezca si la cobertura remanente fuera superior a la recomendada en los planes de manejo. Paralelamente, se realizó un estudio con marcadores moleculares con el objetivo de comprobar si estas prácticas silvícolas modificaron la estructura genética de la regeneración post-aprovechamiento con respecto a la población adulta dentro de cada especie. Para la caracterización genética se utilizaron 15 marcadores SSR (8 en *N. dombeyi*) combinando polimórficos y especie específicos (Azpilicueta *et al.* 2004, Marchelli *et al.* 2008, Soliani *et al.* 2010, Torales *et al.* 2012, El Mujtar *et al.* 2014), algunos de ellos desarrollados en el marco del presente Subprograma. Se genotiparon 252 individuos adultos, 73 rebrotes y 1800 renovales, con financiamiento a través de una colaboración internacional (Istituto di Bioscienze e Biorisorse (IBBR) del Consiglio Nazionale Delle Ricerche (CNR) de Italia,

<sup>3</sup> Este estudio corresponde a una tesis doctoral en curso (Ing. Ftal. G. Sola).

en Florencia). Se estimó la frecuencia de alelos nulos y la presencia de errores de genotipado, la tasa de endogamia, parámetros de diversidad y diferenciación genética y se realizó un análisis bayesiano de estructuración genética.

Los resultados de estos análisis mostraron que a nivel intra-específico el aprovechamiento silvícola no modificó la diversidad genética de la población adulta, ya que no hubo diferencias estadísticamente significativas en los parámetros de diversidad y diferenciación entre los árboles en pie y los rebrotes. Tampoco se encontraron diferencias entre la población adulta (árboles en pie y rebrote) y la regeneración post-aprovechamiento dentro de cada especie, sugiriendo que los procesos evolutivos (sistema de apareamiento, deriva génica, flujo génico y selección) no se modificaron como consecuencia del manejo, o bien que los cambios ocurridos tuvieron efectos compensatorios sin impacto en el nivel de diversidad genética intra-especie. Por otra parte la aplicación de métodos bayesianos al análisis de agrupamiento de individuos realizado para cada especie indicó ausencia de estructuración genética entre la población adulta y la regeneración. Por otro lado, se encontraron individuos con evidencia de hibridación, es decir individuos que tienen un significativo porcentaje de ancestralidad de otras especies. Sin embargo, la proporción de individuos híbridos entre adultos y regeneración no presentó diferencias. Estos resultados indican que la hibridación introgresiva es un fenómeno común entre especies de *Nothofagus* y que no habría sido afectada por el manejo.

Un factor importante que habría ayudado a reducir el impacto de las cortas silvícolas, tanto en la proporción de especies como en la estructura genética, fue la existencia de regeneración establecida previa al aprovechamiento, principalmente de *N. nervosa*. Como el número y distribución espacial de individuos y el criterio fenotípico utilizado para la selección podrían influir sobre la estructura genética de la siguiente generación (Finkeldey & Ziehe 2004), si la regeneración pre-aprovechamiento se mantiene, el impacto podría ser menor ya que más árboles estarían participando en el proceso reproductivo. Así, los aclareos sucesivos con aperturas graduales en el canopy y con la presencia de regeneración previa al aprovechamiento probablemente permitan la formación de un nuevo estrato con semillas de más de una semillazón



**Figura 8.** Núcleo de regeneración en un bosque mixto de coihue, raulí y roble.

proveniente de varios árboles padres. De esta manera, numerosas combinaciones genéticas ocurrirán en los renovales, sobre las cuales actuará la selección removiendo las menos adaptadas (Westergren *et al.* 2015).

### **Caracterización genética de poblaciones naturales de lenga y roble en caracteres cuantitativos potencialmente adaptativos**

En el marco de este Subprograma se llevaron a cabo dos tesis doctorales basadas en el análisis de la variación de caracteres cuantitativos tempranos potencialmente adaptativos y relevantes para la domesticación de las especies involucradas y el manejo de sus bosques naturales.

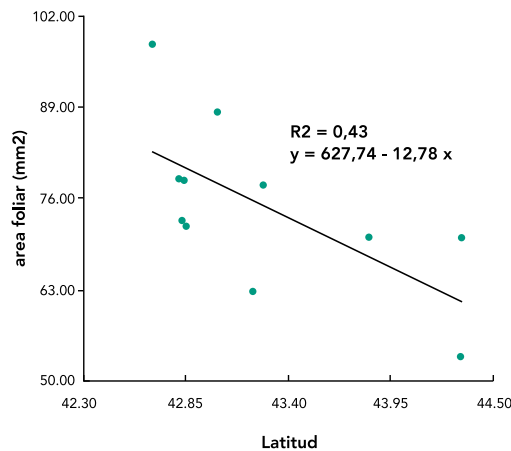
La primera de ellas fue desarrollada por Mondino (2014) y su objetivo fue estudiar la variación geográfica y genética de la lenga en el área central de su distribución. Para el estudio de variación geográfica, se muestrearon 24 poblaciones naturales de la provincia de Chubut, representando los tres gradientes ambientales más relevantes de su área de distribución: latitudinal, altitudinal y de precipitación, siendo cada población representada por un pool de semillas proveniente de 20 individuos.

Se analizó la variación natural en caracteres seminales y se instalaron ensayos de ambiente común en los que se evaluaron variables correspondientes a plántulas en invernadero y plantines en campo. En los ensayos con caracteres seminales se evaluó el peso de 100 semillas, el largo y ancho de semillas, la proporción de semillas vanas, el tamaño de cotiledón y el tiempo

de estratificación.

Los ensayos de ambiente común fueron realizados en vivero y a campo. En los primeros se evaluó el ritmo de crecimiento a través de curvas individuales de crecimiento en altura, modeladas a partir de mediciones periódicas de los plantines durante la segunda temporada de crecimiento y ajustadas según la función sigmooidal de Boltzmann. De cada curva se extrajeron los valores de inicio ( $t_{10}$ ), fin ( $t_{90}$ ) y duración del período de crecimiento, la tasa de crecimiento y un parámetro de forma de la curva. En los ensayos de campo se evaluó la sobrevivencia y crecimiento inicial. Todos estos ensayos fueron analizados a través de ANOVA utilizando un modelo lineal mixto adecuado a cada caso.

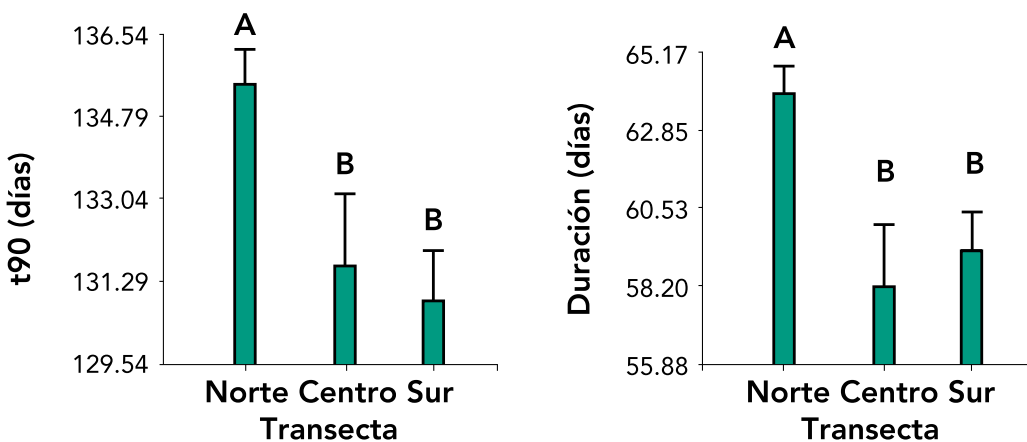
Los patrones de variación geográfica fueron diferentes en función de los caracteres analizados y el tipo de ensayo utilizado. En el gradiente latitudinal y de precipitaciones, en los análisis de variación natural, específicamente en los ensayos seminales de tamaño y peso de semillas, se destacan dos aspectos principalmente: la presencia de interacciones entre los gradientes ambientales analizados y la diferencia de la contribución de la variación poblacional en el peso respecto de las variables de forma. En las transectas Centro y Sur se verificó un aumento de tamaño y peso de semilla de poblaciones húmedas a xéricas según lo hipotetizado y en coincidencia con las observaciones hechas en *N. obliqua* (Donoso 1979, Ipinza *et al.* 2000), pero contrario a lo ocurrido en la transecta Norte. Asimismo, pudo comprobarse variación clinal en el gradiente latitudinal, disminuyendo



**Figura 9.** Variación del área foliar de cotiledones de lenga en función de la variación en latitud del sitio de origen.

el área foliar del cotiledón con el aumento de la latitud (Figura 9).

En los ensayos de vivero, en primera instancia pudo validarse la robustez de los caracteres cuantitativos relacionados al ritmo de crecimiento como herramienta para evaluar variación geográfica en la especie. Las características biológicas de la especie permitieron un adecuado ajuste de los modelos matemáticos utilizados, suministrando valiosa información para el estudio de los patrones de variación natural de la especie. Así, pudo establecerse que las poblaciones de la transecta Norte, independientemente de su régimen de precipitaciones, se diferenciaron de las poblaciones provenientes de las transectas Centro y Sur. Los plantines procedentes de poblaciones de la transecta Norte tienen una curva de crecimiento más achatada y una duración y



**Figura 10.** Medias por transecta latitudinal de la finalización ( $t_{90}$ ) y la duración del período de crecimiento de plantines de lenga en su segundo ciclo vegetativo.



**Figura 11.** Morfotipos consociados en el estrato de la *timberline* altitudinal de lenga (“arbóreo”, “achaparrado” y “rastrero” respectivamente).

un tiempo de finalización del crecimiento significativamente mayores a los provenientes de las otras transectas (Figura 10). La no diferenciación en estas variables de las transectas Centro y Sur es indicio de variación ecotípica.

En el gradiente altitudinal se cosecharon dos laderas en tres pisos altitudinales (inferior: 1.000-1.100 msnm; intermedio: 1.200-1.300 msnm, y superior: 1.400-1500 msnm) en cada una. Se analizaron las mismas variables explicadas antes en ensayos de semillas, vivero y campo. Los resultados más notables están relacionados nuevamente en las variables de ritmo de crecimiento, observándose una disminución de la ventana de crecimiento con el aumento de la altitud, esto a su vez relacionado con el tiempo de inicio ( $t_{10}$ ) y duración de crecimiento.

Dado que la lenga ocupa el estrato altitudinal superior de los bosques andinopatagónicos, en el límite del bosque y los prados altoandinos, es común observar la presencia de distintos morfotipos coexistiendo en vecindades espaciales, surgiendo así la duda de si dicha variación es de origen genético o ambiental (i.e. nieve, avalanchas, suelo somero, etc). Para evaluar el origen de esta variación se cosechó semilla en dos poblaciones de los tres morfotipos caracterizados (arbóreo, achaparrado y rastrero).” por: Para evaluar el origen de esta variación se cosechó semilla en dos poblaciones de los tres morfotipos caracterizados: arbóreo, achaparrado y rastrero (Figura 11).

Se analizaron caracteres seminales y variables en ensayos de vivero, tanto de ritmo de crecimiento como caracteres arquitecturales. Con respecto a las variables seminales, las semillas del morfotipo rastrero fueron de menor peso y tamaño, lo que indicaría condiciones diferenciales en cuanto a la distancia de dispersión de cada morfotipo. Igualmente, se hallaron diferencias

entre morfotipos para las variables relacionadas al ritmo de crecimiento. Dado que las plantas cosechadas procedían del mismo piso altitudinal, no se hallaron diferencias en el inicio, fin y duración de crecimiento, pero sí se hallaron diferencias significativas entre morfotipos para altura final y pendiente máxima de la curva de crecimiento. Los plantines provenientes del morfotipo rastrero crecieron significativamente más y más rápidamente que los del morfotipo arbóreo, no diferenciándose de los plantines del morfotipo achaparrado. No se halló interacción entre población y morfotipo para ninguno de los caracteres evaluados. En variables arquitecturales, se hallaron diferencias en longitud y diámetro de plantín, al igual que longitud de ramas de primer orden. Los plantines de plantas rastreras tuvieron mayores dimensiones que las progenies de morfotipos arbóreos. En relación a estas conclusiones, como dato más relevante surge que los morfotipos presentan diferencias genéticas, con un crecimiento siléptico mayor y un control apical menor en el morfotipo rastrero (Stevens & Fox 1991).

El estudio de variación genética se realizó sobre 63 familias provenientes de cuatro poblaciones en el gradiente de precipitaciones. Cada población estuvo representada al menos por 15 familias. Se evaluaron las heredabilidades ( $h^2$ ) para cada población y la diferenciación genética entre ellas ( $Q_{ST}$ ) (Spitze 1993). El cálculo de estos parámetros en poblaciones naturales posibilita inferir la diversidad genética tanto dentro como entre poblaciones y, a nivel de caracteres, determinar cuáles de estos se hallan actualmente bajo presión de selección y por lo tanto son de importancia adaptativa. Para ello las progenies fueron evaluadas tanto en características seminales como en ensayo de ambiente común en vivero, en variables relacionadas al ritmo de



crecimiento y en arquitecturales.

En el ensayo de peso de semillas se pudo comprobar que un altísimo componente (93 %) de la variabilidad se encuentra entre las familias dentro de cada población, explicado tanto por variación genética como por efecto materno (por lo que no resulta correcto realizar cálculos de  $h^2$  ni de  $Q_{ST}$ ). En cambio las variables cuantitativas evaluadas en los ensayos de ambiente común permitieron diferenciar claramente el rol evolutivo de las mismas para la especie. Las variables arquitecturales, en su conjunto, presentaron valores medios-altos de  $h^2$  (entre 0,43 y 0,57) y bajos de  $Q_{ST}$  (entre 0,15 y 0,17). En cambio las variables fenológicas presentaron mayores  $Q_{ST}$  (entre 0,12 y 0,32) y casi nulas  $h^2$  lo cual es esperable, es decir que estos caracteres relacionados con la brotación y el ritmo de crecimiento están modulados para cada población. Sin embargo, en una población xérica y periférica, alejada del núcleo central de distribución de la especie en esa latitud, estos caracteres demostraron estar bajo presión de selección, ya que presentaron altas  $h^2$ , lo cual la define como una población singular.

Esta tesis da cuenta del complejo patrón de variación geográfica y genética de la especie, presumiblemente determinado por factores históricos (como la última glaciación) y la presión de selección que opera actualmente. Las diferencias fueron evidentes en los gradientes evaluados y entre los diferentes tipos de caracteres, operando procesos de adaptación local y plasticidad fenotípica en un equilibrio variable. La segunda de las tesis doctorales mencionadas (Barbero 2014) tuvo como objetivo estudiar la variación genética y la plasticidad fenotípica entre y dentro de poblaciones argentinas de roble en caracteres seminales, morfológicos, fenológicos, fisiológicos, de crecimiento y de la resistencia a estreses climáticos, complementándose con un estudio particular de la capacidad de rebrote de plantines (Aparicio *et al.* 2015). Para abordar la plasticidad fenotípica se usaron modelos multi-sitio, considerando en general a los cambios térmicos del ambiente como factor determinante de las diferencias entre sitios, asimilando así las condiciones experimentales a posibles escenarios futuros en el contexto del cambio climático global. Esto fue posible gracias a la instalación de ensayos a altitudes contrastantes en los viveros experimentales de la EEA Bariloche (790 msnm) y el

campo forestal del INTA en Golondrinas (415 msnm), y también en un gradiente natural de altura dentro del bosque natural, en el Parque Nacional Lanín.

Se muestrearon ocho poblaciones naturales cubriendo toda el área de distribución argentina de la especie, cosechando unos 20 árboles al azar de cada una, extrayéndose las semillas directamente de cada árbol (Figura 12) de modo de mantener la identificación de familias de polinización abierta (PA). Con las semillas se relevaron características como porcentaje de vanas (repartidas entre las bi- y las tri-aladas) y peso de 100 semillas, y se estableció un ensayo de germinación en cámaras de incubación relevando cada 48 h la cantidad de semillas germinadas por muestra hasta cumplir los 40 días. Con estos datos se ajustaron curvas de germinación acumulada en el tiempo, según el modelo sigmoideo de Gompertz, de las que se extrajeron: CG: capacidad germinativa, T: parámetro



**Figura 12.** Cosecha individual de frutos de roble para la producción de plantines en el vivero de la EEA Bariloche

Ensayo	N Pop	N Flías	N Plant	Variables
Semillas	8	116	--	%V; P100; CG; PE; EG; T
Invernáculo	7	100	4053	H <sub>1</sub>
Campo – subópt.	6	90	1800	%Viv; %Re
Alta densidad Gol	4	40	960	H <sub>1</sub> ; H <sub>2</sub> ; DAC <sub>1</sub> ; DAC <sub>2</sub> ; IR <sub>1</sub>
Alta densidad Bar	4	40	960	H <sub>1</sub> ; H <sub>2</sub> ; DAC <sub>1</sub> ; DAC <sub>2</sub> ; IR <sub>1</sub> ; t <sub>10H</sub> ; t <sub>10DAC</sub> ; t <sub>90H</sub> ; t <sub>90DAC</sub> ; S <sub>H</sub> ; S <sub>DAC</sub> ; Ay; Cy; PV; M; AFE; EUA; TF; CRI; VR; SR; Dh
Gradiente altitud.	2	mezcla	720	Sup; %YA

%V: % de semillas vanas; P<sub>100</sub>: peso de 100 semillas; CG: capacidad germinativa; PE: período de energía; EG: energía germinativa; T: forma de curva de germinación acumulada; %Viv: % de plantas vivas; %Re: % de plantas rebrotadas; H<sub>1</sub>: altura al año 1; H<sub>2</sub>: H al año 2; DAC<sub>1</sub>: diámetro al cuello al año 1; DAC<sub>2</sub>: DAC al año 2; IR<sub>1</sub>: índice de ramosidad; t<sub>10H</sub>: días hasta alcanzar el 10 % de H final; t<sub>10DAC</sub>: días hasta alcanzar el 10 % del DAC final; t<sub>90H</sub>: días hasta alcanzar el 90 % de H final; t<sub>90DAC</sub>: días hasta alcanzar el 90 % del DAC final; S<sub>H</sub>: pendiente de la curva de crecimiento en altura; S<sub>DAC</sub>: pendiente de la curva de crecimiento en diámetro; Ay: momento de apertura de yema; Cy: momento de cierre de yema; PV: período vegetativo; M: retención de hojas marcescentes; AFE: área foliar específica; EUA: eficiencia del uso del agua; TF: tasa fotosintética; CRI: capacidad de rebrote inicial; VR: vigor de rebrote; SR: supervivencia de rebrote; Dh: daño por helada tardía; Sup: supervivencia; %YA: % de plantas con yemas abiertas.

**Tabla 3.** Ensayos de roble establecidos para analizar variación entre y dentro de poblaciones naturales argentinas, indicando número de poblaciones, de familias de polinización abierta y de plantas, y variables analizadas.

proporcional a la máxima tasa de germinación, PE: período de energía, que es el número de días que tarda una familia PA en llegar a la máxima tasa de germinación, y EG: energía germinativa (capacidad germinativa al PE).

En 2008 se inició la producción de plantas para la instalación de una serie de ensayos para analizar la variación entre y dentro de poblaciones (Tabla 3), primero en invernáculo para evaluar la variación inicial en crecimiento y luego en campo para analizar variables de arquitectura, fenología, fisiología, supervivencia y crecimiento inicial de los plantines, así como de la capacidad de rebrote ante la pérdida total de la parte aérea.

El ensayo de campo más extensivo se instaló en condiciones subóptimas, de fuerte exposición a viento e insolación, para evaluar supervivencia ante condiciones adversas. Se registró supervivencia y rebrote basal en tres oportunidades a lo largo de 2 años. También se instalaron dos ensayos idénticos a alta densidad: uno en la EEA Bariloche y el otro en el campo forestal del INTA en Golondrinas. En Bariloche se registraron múltiples variables, entre las que se destacan las de un seguimiento intensivo del crecimiento en altura y DAC (mediciones periódicas cada 10 y 20 días respectivamente) y de las fases fenológicas de apertura y cierre de yemas (observaciones día por medio). Se ajustaron cur-

vas individuales de crecimiento por regresión no-lineal. Se registró también la persistencia invernal de hojas marcescentes y se midieron las variables fisiológicas de área foliar específica (AFE), eficiencia en el uso del agua (EUA) y tasa fotosintética (TF) (estas dos últimas en una muestra de plantas).

Una vez concluidas estas mediciones, los ensayos de alta densidad se aprovecharon para evaluar la variación en la capacidad de rebrote ante la pérdida total de la parte aérea. Este carácter es clave para la persistencia del roble ante disturbios naturales, pero además es relevante para el manejo de plantaciones ante plagas como la liebre, de alta incidencia en la región. Luego de cortar al ras del suelo todas las plantas, se midió una serie de caracteres que secuencialmente determinan el éxito del rebrote, considerando: 1) el estado inicial de las plantas, 2) el vigor del rebrote y 3) la supervivencia final. También se relevó la incidencia de daños provocados por eventos climáticos extremos episódicos (i.e. heladas tardías y tempranas) (Figura 13).

Por último, también se instaló dentro del bosque natural un ensayo con tres réplicas con diferencias de altitud de 200 m entre sí, en el paraje Yuco del Parque Nacional Lanín. El material utilizado correspondió a plantines de los extremos altitudinales de la distribución local del roble (Yuco Bajo: 650 m snm y Yuco Alto:



**Figura 13.** Ensayos a alta densidad de rebrote de plantines de orígenes y progenies de *N. obliqua*: a la izquierda, ensayo de Bariloche (790 m snm) afectado por una helada en verano; al centro, un típico rebrote de cuello, y a la derecha, ensayo de Golondrinas (415 m snm) durante la primera estación de crecimiento luego del corte.

890 m snm). En la primavera siguiente se registró el día de apertura de yemas, concentrando las observaciones en tres fechas sucesivas, cada 7 días. Finalmente, se relevó la sobrevivencia los años 1 y 2.

Para todas las variables se analizó la varianza mediante modelos lineales mixtos y lineales mixtos generalizados. Con los componentes de la varianza se estimó la varianza aditiva  $V_A$ , el coeficiente de varianza aditiva CVA (Houle 1992) y la heredabilidad en sentido estricto  $h^2$  para cada población y ensayo, así como la diferenciación genética cuantitativa  $Q_{ST}$  (Spitze 1993) ente poblaciones. Se calcularon también correlaciones fenotípicas y genéticas para estimar el grado de integración entre caracteres. Para determinar patrones geográficos-ambientales de la variación se usó regresión lineal múltiple y simple entre las variables biológicas y los factores ambientales.

Se utilizaron bases de datos de marcadores moleculares (generadas en el Laboratorio de Genética de la EEA Bariloche) para estimar parámetros de diferenciación neutra ( $F_{ST}$ ) y poner a prueba hipótesis de neutralidad vs. adaptación (Merilä y Crnokrak 2001) sobre los caracteres cuantitativos evaluados. El  $F_{ST}$  determinado mediante microsatélites nucleares para las poblaciones usadas en este trabajo, fue bajo o a lo sumo levemente moderado:  $F_{ST} = 0,074$  (I.C. 95% = 0,027–0,160). Cuando los valores de  $Q_{ST}$  fueron mayores al límite superior del intervalo

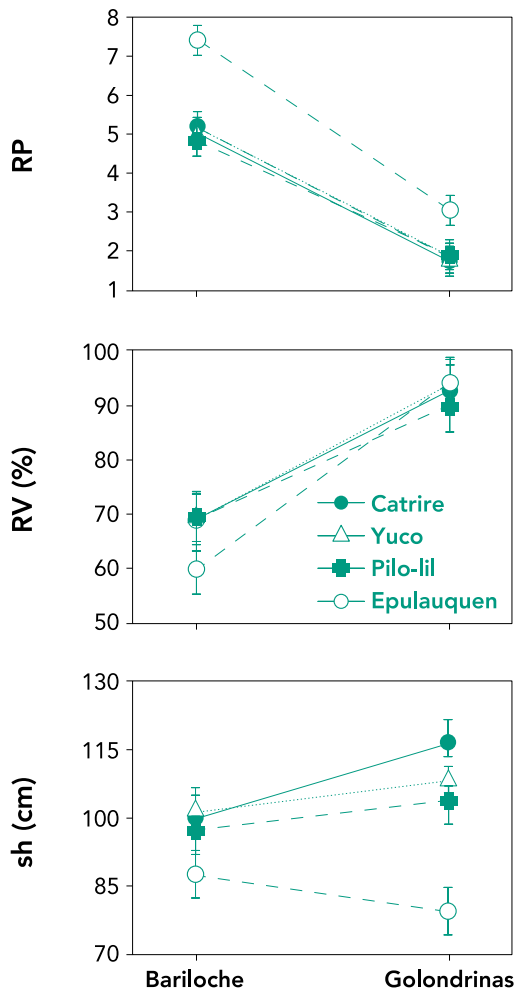
de confianza del  $F_{ST}$  se asumió que esa diferencia fue evidencia de selección divergente para el carácter cuantitativo analizado.

Se encontró que las poblaciones analizadas se diferenciaron para caracteres fenológicos vinculados a la finalización del crecimiento anual, como el cierre de yemas, el cese del crecimiento anual y su duración, y el crecimiento en altura ( $Q_{ST} = 0,51$  en promedio), probablemente evidenciando adaptación al frío. Para la persistencia invernal de hojas marcescentes, la apertura de yemas, el inicio del crecimiento anual en altura y el fin del crecimiento en diámetro, la diferenciación fue moderada a baja ( $Q_{ST} = 0,14$  en promedio), es decir, no estarían sujetos a selección divergente en mayor medida que a deriva. En la supervivencia inicial de plantines no se verificaron diferencias entre poblaciones. En los ensayos de rebrote hubo una clara diferenciación genética ( $Q_{ST} = 0,50$  en promedio) en la profusión de rebrotes por planta y en la tolerancia de los tejidos rebrotados a una helada episódica en el ensayo de Bariloche (Aparicio *et al.* 2015). La diferenciación se debió en primer lugar al efecto de la población ubicada más al norte y a mayor altitud (Epulauquen) y en segundo lugar a la del extremo este y más seco (Pilo Lil), es decir a las localizadas en condiciones ambientales más extremas.

Al interior de las poblaciones se encontró una gran variabilidad familiar (en promedio, 36,6 % del total de la varianza) en los caracteres semi-

nales morfológicos y en las características relacionadas a la modulación del proceso de germinación (si bien el efecto materno pudo haber sido muy alto). De los caracteres medidos en plantines, el análisis se enfocó a aquellos cuya diferenciación genética no fue significativa y por lo tanto, o no mostraron variación genética, o la misma fue únicamente debida a variación entre familias. Para el momento de apertura de yemas la variación aditiva fue  $CVA < 1,5\%$  en las cuatro poblaciones evaluadas; sin embargo su heredabilidad fue moderada ( $h^2 = 0,32$  en promedio). Para el inicio del crecimiento en altura, sólo la población Yuco tuvo alta variación ( $CV_A = 14\%$ ) aunque su heredabilidad fue baja. Para la persistencia de hojas, sólo Epulauquen tuvo variación alta ( $CV_A = 18\%$ ). El área foliar específica tuvo un  $CVA$  medio de 11,65 y una  $h^2$  media de 0,12. Para la altura de los plantines, se dio una situación contrastante entre ensayos: mientras que en Bariloche todas las poblaciones tuvieron heredabilidades significativas ( $h^2 = 0,47$  en promedio) y nula diferenciación, en el ensayo de Las Golondrinas la diferenciación fue alta, pero no se hallaron heredabilidades significativas. Esto sugiere plasticidad fenotípica, que también en mayor medida se debió al efecto de la población extrema en altitud y latitud norte, Epulauquen (Figura 14).

La información producida en estos estudios en roble servirá en primera instancia para la definición de regiones de procedencia, refinando la zonificación trazada a partir de la información genética neutra. Por ejemplo, hemos comprobado que las poblaciones Epulauquen y Pilo Lil, que pertenecen a la misma zona genética (Azpilicueta *et al.* 2013), se comportaron de forma distinta ante la pérdida de la parte aérea (Aparicio *et al.* 2015). Los rebrotes de Epulauquen fueron consistentemente más profusos, sugiriendo una estrategia distinta, con posibles implicaciones para el manejo inicial del cultivo. La población Pilo Lil (extremo árido), además de rebrotar menos profusamente mostró, al igual que Epulauquen, una buena tolerancia ante una helada tardía y tuvo una menor incidencia de daños por frío otoñal en los ápices, siendo ese carácter además heredable ( $h^2 = 0,32$ ). Esto la hace una fuente semillera con potencial para la selección de material adaptado a condiciones de aridez y tolerancia a frío. La heredabilidad alta encontrada para la altura total en el ensayo plantado en Las Golondrinas,



**Figura 14.** Interacciones Sitio × Población en dos ensayos de rebrote (Bariloche y Las Golondrinas) de cuatro poblaciones de roble. Sh: altura de los plantines antes del corte de la parte aérea; RV: vigor del rebrote y RP: profusión de rebrotes por planta. Los símbolos son los efectos medios condicionales a los ajustes de los modelos de análisis de la varianza, con sus barras de error estándar (de Aparicio *et al.* 2015).

a 415 msnm, sugiere que para plantar roble en sitios más cálidos que los que ocupa la especie actualmente se podría seleccionar material con importantes ganancias iniciales y a la vez, la alta correlación entre la altura inicial y el vigor del rebrote podría favorecer el manejo del cultivo con relación a plagas como la liebre.

## Materiales básicos de propagación

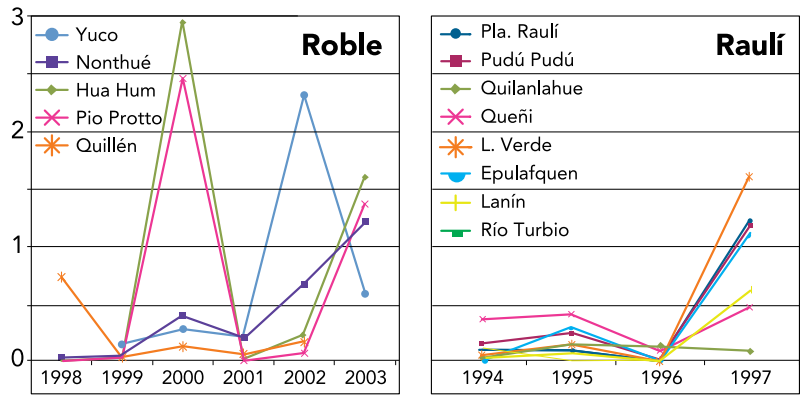
La provisión de semillas ha resultado ser un cuello de botella crucial para el uso de los *Nothofagus* en programas de producción y restauración. Hasta el momento prácticamente toda la semilla utilizada en la producción de plantines ha provenido del bosque natural. A lo largo de

más de 20 años continuos de viverización de estas especies hemos comprobado que la producción de semillas en el bosque tiene puntos de incertidumbre que vuelven poco confiable esta fuente en un esquema productivo comercial.

Hemos observado una importante variación anual de producción de semillas en cualquier rodal natural, con años de prácticamente nula producción y años de producción excepcional (*masting*). Asimismo también hemos comprobado una fuerte variación entre distintos rodales para un mismo año (e.g. Figura 15). Pero no sólo es variable la productividad entre sitios y años, sino también el porcentaje de semillas vanas. El género es capaz de desarrollar frutos por partenogénesis, o sea sin que haya mediado la fertilización de los óvulos (Poole 1950). Esto sucede todos los años en proporción muy alta, pero variable entre sitios y años. Barbero (2014), en una muestra de ocho poblaciones por especie, midió en la cosecha de un año valores medios de semillas vanas por población de entre el 38 % y el 79 % en raulí, y de entre el 43 % y el 96 % en roble, en ambos casos con individuos que produjeron sólo semillas vanas. Al mismo tiempo, en los ensayos jóvenes que hemos instalado en los últimos años, hemos observado para raulí y roble que las plantaciones coetáneas, con insolación directa, comienzan a producir semillas a los 12 años, alcanzando a los 15 una producción regular casi todos los años, con muy baja proporción relativa de semillas vanas y con buena capacidad germinativa.

Frente a estas observaciones, el PROMEF definió estrategias de corto y largo plazo para asegurar la provisión de semillas a los viveros de la región. La de corto plazo se refiere a la instalación de áreas productoras de semilla (APS) y su posterior transformación en rodales semilleros (RS), mientras que la de largo plazo se centra en la instalación de huertos semilleros (HS). En este caso no sólo se busca asegurar la provisión de semillas de procedencias identificadas sino también una calidad genética superior a la media, lo que implica un programa de mejoramiento genético que por sus características es de baja intensidad.

Trabajos previos al PROMEF permitieron en 2010 la inscripción en el INASE de tres APS de *Nothofagus* en bosque natural (raulí: APS Yuco Alto, Parque Nacional Lanín; roble: APS Yuco Alto y Lagunas de Epulauquen). Ya en el marco del PROMEF se ha avanzado en la definición



**Figura 15.** Variación entre sitios y años de la producción seminal en el bosque natural, medido en miles de semillas por m<sup>2</sup> de redes suspendidas bajo dosel (de Azpilicueta MM, comunicación personal, y Marchelli 2001, respectivamente).

de una APS de lenga en el bosque natural (campo forestal del INTA en Trevelin), de la que en 2015 se cosecharon 10 kg de semilla, una porción de los cuales será analizada por el Banco Base de Germoplasma del INTA (IRB) y otra porción incluida en ensayos de orígenes a instalarse en 2017. También se ha trabajado en el manejo de una plantación de roble en el mismo campo del INTA para su transformación en APS, de la que se espera una mejor regularidad en la producción de semillas en comparación al bosque natural. Se trata de una plantación de unas 3 ha realizada en 1997 con un acervo genético mezcla de una procedencia local (pequeña parcela de 0,1 ha establecida en 1959 con semillas de origen desconocido) y del origen Hua Hum (Parque Nacional Lanín). En 2013 se cosechó 1,3 kg de semillas de esta APS, que resultó tener sólo un 40 % de vanas, y en 2015 1,6 kg. Ambas nuevas APSs se inscribirán en el INASE en el corriente año.

Dentro del programa de mejoramiento genético de baja intensidad, tanto para roble como para raulí se iniciaron actividades con el propósito de llegar a instalar HS clonales. Para esto resultaba indispensable poder propagar vegetativamente los árboles selectos. En paralelo a una selección masal en el bosque natural, se trabajó en el desarrollo y manejo de protocolos para propagación de ambas especies por estaquillas e injertos.

El estaquillado se llevó a cabo en “cama caliente”, con riego por microaspersión en una primera temporada y por *fogger* en una segunda. Se utilizaron estaquillas de primavera de brotes semileñosos del año, de material rejuvenecido (se usaron rebrotes de tocón y ramas de plantas

de 3 y 12 años de edad, ya que las experiencias preliminares revelaron que el material adulto no es apropiado). El mejor protocolo del primer año resultó con estaquillas de 8 cm de largo con una hoja cortada y su yema axilar en superficie, y dos yemas bajo superficie, tratadas en inmersión rápida en una solución alcohólica de IBA a 7000 ppm (Figura 16). Con esta metodología y un muestreo total de 2300 estaquillas se lograron prendimientos medios de 5,8 % en roble y 7,9 % en raulí, con variaciones entre los genotipos de 0 a 20,5 % en roble y de 1,2 a 23,8 % en raulí. Al segundo año se evaluó un protocolo con estaquillas de 15 cm (2 hojas y sus yemas en superficie) y la aplicación de la hormona embebida en talco, pero no variaron significativamente los prendimientos.

Para los injertos se utilizó la técnica de la yema terminal sobre plantas de 3 años de las mismas especies. Las púas de raulí fueron tomadas de ramas de plantas de un ensayo de 12 años de edad y de rebrotes de tocones de árboles adultos del bosque, en ambos casos seleccionados masalmente; mientras que las de roble se cosecharon de ramas de plantas de 5 años de edad de una selección genética temprana en un ensayo de progenies y también de rebrotes de tocones de árboles adultos del bosque seleccionados masalmente. Los injertos se probaron mayormente en invierno, pero también se hizo una prueba con material de primavera. Si bien en



**Figura 16.** Propagación vegetativa de roble por enraizamiento de estaquillas con hormona IBA embebida en talco.

la primera evaluación se alcanzaron niveles de prendimiento medio en ambas especies del 55 %, al año cayó al 23 %, lo que sumado al bajo número de injertos realizados arrojó un número absoluto de rametos muy bajo.

Los resultados logrados llevaron a modificar la estrategia de instalación de HS para estas dos especies. En roble se decidió aprovechar la selección temprana en el ensayo de progenies levantando del mismo los individuos selectos. Se trata de 346 plantas seleccionadas por altura al tercer año y resistencia a una helada tardía excepcional, correspondientes a 10 familias de polinización abierta (PA) de tres orígenes. El ensayo constó de dos réplicas (en Bariloche y en Las Golondrinas) con 960 plantas cada una. A este material se adicionaron las plantas logradas por enraizamiento de estaquillas e injertos, de este mismo ensayo y de los rebrotes de tocón de las plantas seleccionadas en el bosque natural, que suman 98 plantas más. Esas 444 plantas totales se encuentran enmacetadas y próximas a ser instaladas en el campo con diseño de HS, sobre una superficie aproximada de 1 ha.

En cuanto a raulí, se decidió establecer un HS de progenies. En 2011 se instaló un ensayo de progenies con diseño de parcelas monoárbol en el campo forestal de INTA en Las Golondrinas. Se trata de 1290 plantas correspondientes a 86 familias PA de 8 orígenes, que son el objeto de estudio principal de una tesis doctoral en curso (Lic. V. Duboscq), por lo que están en permanente evaluación.

En ñire se decidió desde el inicio una estrategia de HS de progenies. En 2011 se instalaron dos réplicas de un ensayo de progenies con diseño de parcela monoárbol, con 40 familias PA (correspondientes a dos orígenes): una en el campo forestal de INTA en Trevelin, con 1750 plantas totales, y otra en un predio privado cerca de Trevelin con 400 plantas totales. Ambas réplicas están en evaluación por crecimiento y también por forma, ya que de manera temprana a la especie manifiesta alternativamente una arquitectura monopodial o simpodial.

Como ya fue presentado en el Cuadro 1, el origen Epulauquen del roble manifiesta caracteres distintivos que ameritan su tratamiento en forma diferencial. Su probada adaptación a condiciones de mayor aridez y frío la volvería recomendable para condiciones en la que los otros orígenes (más productivos) manifiesten una menor adaptabilidad. Es por esto que se instala-

ron dos ensayos de progenies de este origen en particular, uno de ellos con diseño de parcela monoárbol, lo que lo vuelve apto para su futura transformación en HS de progenies. Este ensayo se instaló en 2004 en el campo forestal del INTA en Trevelin, y cuenta con 480 plantas correspondientes a 20 familias PA (Figura 17). El otro ensayo cuenta con dos réplicas instaladas en 2012 y 2013 en sendos predios privados cerca de San Martín de los Andes, con 25 familias PA y 600 y 675 plantas totales respectivamente.

### Difusión del uso de los *Nothofagus* en plantaciones.

Hasta el momento la madera de nuestros *Nothofagus* proviene exclusivamente del bosque natural. Sin embargo existe un incipiente interés de privados de probar estas especies nativas en plantaciones comerciales. Pero también va en crecimiento el interés de los organismos de gestión de usarlos en programas de restauración ecológica, impulsados por una demanda genuina de la comunidad que valora sus bosques nativos como proveedores de servicios medioambientales.

El trabajo de más de 20 años en estas especies nos ha permitido generar el conocimiento suficiente sobre el cultivo de las mismas para valorar su potencialidad y difundir su uso. A través del PROMEF se han desarrollado actividades con este propósito. En primer lugar se procuró asegurar cada año la disponibilidad de semilla para los viveros de la región. En colaboración con el Área Forestal del Parque Nacional Lanín se han cosechado sistemáticamente todos los años las APSs de Yuco Alto de raulí y roble por medio de redes. También se realizaron cada año cosechas por árbol individual en poblaciones de raulí, roble, lenga y ñire con buena productividad. Esta semilla se utilizó para la producción de plantas en los viveros del INTA en Bariloche, Trevelin y Las Golondrinas, dejando el excedente para la venta a viveros comerciales o la donación a instituciones públicas.

A partir de 2013 se comenzó a publicar un boletín electrónico anual de difusión sobre semillas de las especies nativas de la región (Boletín 2013, 2014 y 2015), publicitando su disponibilidad. También se publicaron artículos de divulgación y folletos trípticos referidos a la plantación de especies nativas en la región. Asimismo



**Figura 17.** Ensayo de progenies de roble origen Epulauquen (instalado en 2004, foto 2013).



**Figura 18.** Plantación de roble en fajas de matorral post-incendio, en un predio privado de la Provincia de Río Negro, cerca de El Bolsón (con protectores anti-liebre).

se han dictado cursos de posgrado sobre genética, restauración ecológica y mejora operativa, en los que la plantación con nuestros *Nothofagus* nativos ha sido un tópico destacado.

Una de las principales actividades de difusión del cultivo de los *Nothofagus* nativos fue el establecimiento de plantaciones demostrativas. Se plantaron 8,1 ha de roble, 5,8 ha de raulí, 4,55 ha de ñire y 2,6 ha de lenga, distribuidas en siete predios privados, cuatro de INTA y uno de la Provincia de Neuquén (Figura 18). Este objetivo ha requerido un trabajo de extensión para lograr el involucramiento y compromiso de los productores en las tareas de establecimiento y mantenimiento de las plantaciones.

## Referencias

- Aparicio, A., Zuki, M., Azpilicueta, M.M., Barbero, F. & Pastorino, M. 2015. Genetic versus environmental contributions to variation in seedling resprouting in *Nothofagus obliqua*. *Tree Genetics & Genomes* 11: 23.
- Arana, M., Gonzalez-Polo, M., Martinez-Meier, A., Sanchez, R., Benech-Arnold, R. & Gallo, L. 2011. Ecophysiological bases of seed germination of two *Nothofagus* species distributed across an altitudinal gradient in the south Andes. En: 10th Conf. Int. Soc. Seed. Sci., 10-15 abril, Bahía.
- Arana, M.V., González-Polo, M., Estravis-Barcalá, M., Martínez-Meier, A., Soliani, C., Pomponio, F., Torales, S., Batlla, D. & Marchelli, P. 2014. Respuesta a la temperatura de especies de *Nothofagus*. *Journal of Basic & Applied Genetics*, 25 (1), Supp: 44.
- Azpilicueta, M.M., Caron, H., Bodenes, C. & Gallo, L. 2004. SSR markers for analysing South American *Nothofagus* species. *Silvae Genetica* 53: 240–243.
- Azpilicueta, M.M., Marchelli, P. & Gallo, L. 2009. The effects of Quaternary Glaciations in Patagonia as evidenced by chloroplast DNA phylogeography of Southern beech *Nothofagus obliqua*. *Tree Genetics & Genomes* 5: 561–571.
- Azpilicueta, M.M., Gallo, L., van Zonneveld, M., Thomas, E., Moreno, C. & Marchelli, P. 2013. Management of *Nothofagus* genetic resources : Definition of genetic zones based on a combination of nuclear and chloroplast marker data. *Forest Ecology & Management* 302: 414–424.
- Azpilicueta, M.M., El Mujtar, V., Marchelli & Gallo, L. 2013. Análisis del gen ADH y región ITS para la identificación taxonómica de una población de *Nothofagus*. XLII Congreso Argentino de genética, 20-23 oct., Salta. *Journal of Basic and Applied Genetics*, Vol. XXIV (S), p. 190.
- Azpilicueta, M.M., Pastorino, M., Puntieri, J., Barbero, F., Martínez-Meier, A., Marchelli & Gallo, L. 2014. robles in Lagunas de Epulauquen, Argentina: previous and recent evidence of their distinctive character. *Revista Chilena de Historia Natural* 87: 24-35.
- Barbero, F. 2014. Variación genética de poblaciones naturales argentinas de *Nothofagus obliqua* en caracteres adaptativos tempranos relevantes para domesticación. Tesis doctoral. EPG Facultad de Agronomía UBA.
- Boletín de Semillas Forestales Nativas – INTA. 2013. [http://inta.gob.ar/documentos/boletin-de-semillas-forestales-nativas/at\\_multi\\_download/file/INTA%20Bolet%20C3%ADn%20Semillas.pdf](http://inta.gob.ar/documentos/boletin-de-semillas-forestales-nativas/at_multi_download/file/INTA%20Bolet%20C3%ADn%20Semillas.pdf).
- Boletín de Semillas Forestales Nativas – INTA. 2014. [http://inta.gob.ar/documentos/boletin-de-semillas-forestales-junio-2014/at\\_multi\\_download/file/INTA%20-%20Bolet%20semillas%20forestales%20nativas.pdf](http://inta.gob.ar/documentos/boletin-de-semillas-forestales-junio-2014/at_multi_download/file/INTA%20-%20Bolet%20semillas%20forestales%20nativas.pdf)
- Bran, D., Pérez, A., Ghermandi, L. & Barrios-Lamuniere, S.D. 2001. Evaluación de poblaciones de coihue (*Nothofagus dombeyi*) del Parque Nacional Nahuel Huapi, afectadas por la sequía 98/99, a escala de paisaje (1:250.000).
- Dezzotti, A., Sbrancia, R., Rodríguez-Arias, M., Roat, D. & Parisi, A. 2003. Regeneración de un bosque mixto de *Nothofagus* (Nothofagaceae) después de una corta selectiva. *Revista Chilena de Historia Natural* 76: 591-602.
- Donoso, C., 1979. Genecological differentiation in *Nothofagus obliqua* (Mirb.) oerst. in Chile. *Forest Ecology & Management*, 2: 53-66.
- Echevarría, D., Von Müller, A., Hansen, N. & Bava, J. 2014. Efecto del ramoneo bovino en renovales de *Nothofagus antarctica* en Chubut, Argentina, en relación con la carga ganadera y la altura de las plantas. *Bosques* 35 (3): 357-368.
- El Mujtar, V., Gallo, L. & Garnier-Géré, P. 2012. Nucleotide diversity patterns at genes potentially involved in *Nothofagus* species divergence along altitudinal gradient. IUFRO Conference, “Genetics of Fagaceae and Nothofagaceae”, 9-12 oct., Bordeaux.
- El Mujtar, V., Gallo, L., Lang, T. & Garnier-Géré, P. 2014. Development of genomic resources for *Nothofagus* species using next-generation sequencing data. *Molecular Ecology Resources*. 14: 1281-95.
- El Mujtar, V., Guichoux, E., Boury, C., Pilliet, M., Delcamp, A., Salin, F. & Garnier Géré, P. (enviado). Validating the use of a genotyping by sequencing approach for population genomic studies in non-model species. 3ème Colloque de Génomique Environnementale, 26-28 oct., Montpellier.
- Falush, D., Stephens, M. & Pritchard, J.K. 2003. Inference of population structure using multilocus genotype data: linked loci and correlated allele frequencies. *Genetics* 164: 1567–87.
- Falush, D., Stephens, M. & Pritchard, J.K. 2007. Inference of population structure using multilocus genotype data : dominant markers and null alleles. *Molecular Ecology Notes* 7: 574–578.
- Finkeldey, R. & Ziehe, M. 2004. Genetic implications of silvicultural regimes. *Forest Ecology & Management* 197: 231–244.
- Fitzpatrick, B. 2012. Estimating ancestry and heterozygosity of hybrids using molecular markers. *BMC Evolutionary Biology* 12: 1–14.
- Gallo, L. 2004. Modelo conceptual sobre la hibridación natural interespecífica entre *Nothofagus nervosa* y *N. obliqua*. En: Variación intraespecífica en las especies arbóreas los bosques templados Chile y Argentina. Eds. Donoso, C., Premoli, A., Gallo, L. & Ipinza, R. Editorial Universitaria, Santiago de Chile: 397–408.
- Gallo, L., Marchelli, P., Chauchard, L. & González-Peñalba, M. 2009. Knowing and doing: research leading to action in the conservation of forest genetic diversity of Patagonian Temperate Forests. *Conservation Biology* 23: 895–898.
- Houle, D. 1992. Comparing evolvability and variability of quantitative traits. *Genetics* 130:195–204.
- Ipinza, R., Gutiérrez, B. & Medina, A. 2000. Variación genética en peso y forma de semillas, y crecimiento inicial de procedencias naturales de *N. nervosa* (alpina) y *N. obliqua* en Chile. En: Ipinza, Gutierrez y Emhart (Eds). Domesticación y Mejora Genética de raulí y roble. Univ. Austral de Chile.
- Mallet, J. 2005. Hybridization as an invasion of the genome. *Trends in Ecology & Evolution* 20: 229–237.
- Marchelli, P. & Gallo, L. 2006. Multiple ice-age refugia in a southern beech of South America as evidenced by chloroplast DNA



markers. *Conservation Genetics* 7: 591-603.

Marchelli, P., Caron, H., Azpilicueta, M.M. & Gallo, L. 2008. Primer note: a new set of highly polymorphic nuclear microsatellite markers for *Nothofagus nervosa* and related South American species. *Silvae Genetica* 57: 82-85.

Merilä, J. & Crnokrak, P. 2001. Comparison of genetic differentiation at marker loci and quantitative traits. *Journal of Evolutionary Biology* 14: 892-903.

Mondino, V.A. 2014. Variación geográfica y genética en caracteres adaptativos iniciales de *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasner en una zona de alta heterogeneidad ambiental. Tesis doctoral, EPG Facultad de Agronomía UBA, 185 pp.

Peri P., 2009. Relevamiento de los bosques nativos de ñire (*Nothofagus antarctica*) de Tierra del Fuego (Argentina) como herramienta para el manejo sustentable. Ediciones INTA, Buenos Aires.

Poole, A. 1950. Studies of N.Z. *Nothofagus* species 2. Nut and cupule development. *Transactions of the Royal Society of New Zealand* 78: 502-508.

Pritchard, J.K., Stephens, M. & Donnelly, P. 2000. Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics* 155: 945-959.

Roveta, R. & Lloyd, C. 2015. Severidad del daño causado por el fuego en los incendios de "La horqueta", "El Turbio" y "Desemboque". Informe Técnico elaborado por Subsecretaría de Boques de Chubut, INTA, CIEFAP, Secretaría de Agricultura Familiar, CORFO, para el Ministerio de Agricultura de la Nación. 30 pp.

Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. 2005. Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos. Proyecto Bosques Nativos y Áreas Protegidas, Préstamo BIRF 4085 - AR.

Soliani, C., Sebastiani, F., Marchelli, P., Gallo, L. & Vendramin, G.G. 2010. Development of novel genomic microsatellite markers in the southern beech *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasner. *Molecular Ecology Resources* 10: 404-408.

Soliani, C., Gallo, L. & Marchelli, P. 2012. Phylogeography of two hybridizing southern beeches (*Nothofagus* spp.) with different adaptive abilities. *Tree Genetics & Genomes* 8: 659-673.

Soliani, C., Yoshiaki, T., Bagnoli, F., Gallo, L., Vendramin, G.G. & Marchelli, P., 2015. Halfway encounters: Meeting points of colonization routes among the southern beeches *Nothofagus pumilio* and *N. antarctica*. *Molecular Phylogenetics & Evolution* 85: 197-207.

Soliani, C., Estravis-Barcalá, M., Torales, S., Pomponio, F., Ziegenhagen, B., Arana, M.V. & Marchelli, P. 2015. Genetic diversity in candidate genes for drought stress, photoperiod perception and cold tolerance along environmental gradients: evidence of climate-driven local adaptation in *Nothofagus* spp from Patagonia. *IUFRO Tree Biotechnology*. 8-12 junio, Florencia.

Spitze, K. 1993. Population structure in *Daphnia obtusa*: quantitative genetic and allozyme variation. *Genetics* 135: 367-374.

Stevens, G. & Fox, J. 1991. The causes of treeline. *Annual Review of Ecology & Systematics* 22:177-91.

Torales, S., Rivarola, M., Pomponio, M.F., Fernández, P., Acuña, C.V., Marchelli, P., Gonzalez, S., Azpilicueta, M.M., Hopp, H.E., Gallo, L., Paniego, N.B. & Marcucci Poltri, S.N. 2012. Transcrip-

tome survey of Patagonian southern beech *Nothofagus nervosa* (= *N. alpina*): assembly, annotation and molecular marker discovery. *BMC Genomics* 13: 291.

Torres, C. & Puntieri, J. 2013. Pollination and self-interference in *Nothofagus*. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* 208: 412-419.

Varela, S.A., Gyenge, J.E., Fernández, M.E. & Schlichter, T. 2010. Seedling drought stress susceptibility in two deciduous *Nothofagus* species of NW Patagonia. *Trees* 24: 443-453.

Veblen, T., Donoso, C., Kitzberger, T. & Rebertus, A. 1996. Ecology of southern Chilean and southern Argentinean *Nothofagus* forests. En: *The Ecology & Biogeography of Nothofagus Forests*. Eds. Veblen, T., Hill, R. & Read, J. New Haven, CT, USA: Yale University Press: 293-353.

Weinberger, P. & Ramírez, C. 2001. Microclima y regeneración natural de raulí, roble y coigüe (*Nothofagus alpina*, *N. obliqua* y *N. dombeyi*). *Bosque* 22: 11-26.

Westergren, M., Bozic, G., Ferreira, A. & Kraigher, H. 2015. Insignificant effect of management using irregular shelterwood system on the genetic diversity of European beech (*Fagus sylvatica* L.), a case study of managed stand and old growth forest in Slovenia. *Forest Ecology & Management* 335: 51-59.

## Acciones de Transferencia relacionadas con el Subprograma

- ♦ Jornada de Campo: plantaciones de especies nativas en Patagonia. MinAgri, INTA, CIEFAP, MIAG Chubut, SFA Río Negro, Cecaín. Trevelin - El Bolsón, 29 y 30 nov. 2011.
- ♦ Taller de Plantas Nativas de la Patagonia. INTA EEA Bariloche, 16-20 de mayo de 2011.
- ♦ Jornada de Campo "Gira Técnica Biodiversidad en Paisajes Productivos Forestales en Patagonia". Dirección de Producción Forestal-MAGyP. San Carlos de Bariloche, 18 abril 2012.
- ♦ Presentación del proyecto Domesticación de especies forestales nativas patagónicas en escuelas primarias. Charlas y actividades didácticas con los chicos. 2012
- ♦ Curso de postgrado: "Genética Forestal" programa de Maestría-FAUBA: Ecología y manejo de sistemas boscosos. Escuela para Graduados Alberto Soriano, UBA. Dictado en INTA EEA Bariloche, 17 - 28 oct. 2011.
- ♦ Curso de postgrado: "Restauración ecológica: marco teórico, metodología y desarrollo de proyectos". Dpto. Postgrado, Doctorado en Biología, CRUB - UNComahue, Bariloche, 1 al 5 de febrero 2012.
- ♦ Curso de postgrado: "Mejora genética forestal operativa". INTA EEA Bariloche - UNComahue AUSMA, San Martín de los Andes, 22 al 25 de octubre 2012.
- ♦ Folleto: La composición genética de las especies leñosas de nuestros bosques Andino patagónicos. Impreso por INTA. Autores: Azpilicueta, MM, Soliani, C, Martinez A, Marchelli, P y Gallo LA. 2013

- ◆ Presentación “Domesticación de raulí y roble pellín en Argentina: propuesta inicial para un programa de mejora genética de baja intensidad”. V Seminario de *Nothofagus*: Silvicultura Manejo y Conservación, UNLP, La Plata, 15 y 16 agosto 2013.
- ◆ Jornada de campo de visita a ensayos, áreas productoras de semilla y poblaciones naturales con la coordinación general del PROMEF y del PI de Mejoramiento de Especies Forestales de Alto Valor y los coordinadores de los proyectos específicos. Área de visita desde El Bolsón hasta San Martín de los Andes. 12 y 13 de marzo 2014.
- ◆ Jornada/Taller “Zonas Genéticas y Regiones de Procedencia del Ciprés de la Cordillera y de los *Nothofagus Caducifolios*: Propuesta y discusión para un manejo sustentable de nuestros recursos genéticos forestales”. INTA EEA Bariloche, SC Bariloche, 13 nov. 2014.
- ◆ Taller PI Mejoramiento de Especies Forestales Nativas y Extensionistas MAGyP. 26 y 27 de marzo de 2015 Concordia
- ◆ Simposio “Genética de la restauración: tendiendo puentes entre la investigación y la gestión. Casos en Argentina”. IV Congreso Iberoamericano y del Caribe de Restauración Ecológica – SIACRE. Buenos Aires, 12-15 abril 2015.
- ◆ Presentación del libro “Regiones de Procedencia del Ciprés de la Cordillera y bases conceptuales para el manejo de sus recursos genéticos en Argentina” y avances en la definición de Zonas Genéticas para los *Nothofagus* caducifolios de la Patagonia argentina (roble pellín, raulí, lenga y ñire). En Unidad para el Cambio Rural (UCAR) - Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Buenos Aires, 16 abril 2015.
- ◆ Curso de postgrado “Bases genéticas de la resistencia de los árboles a las enfermedades y plagas” Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Facultad de Ingeniería, Maestría en Gestión Sanitaria Forestal, Esquel, 15 al 19 de junio 2015.

## Impactos

### Logros destacables

Implementación de tecnologías de secuenciación de última generación (i.e. secuenciación 454, Ion Torrent, PCR en micro-fluidos) en especies forestales nativas para el desarrollo de recursos genómicos, herramientas moleculares y estudios evolutivos.

Producción de recursos genómicos (genoma y transcriptoma) en especies de *Nothofagus* mediante secuenciación de última generación como base para el desarrollo de herramientas moleculares.

Generación de un catálogo de marcadores moleculares (SSRs, SNPs), regiones génicas y no génicas en especies de *Nothofagus* disponibles para la comunidad científica nacional e internacional y su implementación en mejoramiento genético asistido, caracterización de variabilidad genética neutra y adaptativa, estudio de la dinámica de hibridación introgresiva, asistencia en la selección dentro de poblaciones incorporadas en el programa de mejora, verificación de cruzamientos controlados en *Nothofagus* y estudio

del impacto del manejo silvícola en diversidad genética del bosque mixto.

Secuenciación y anotación estructural y funcional de los primeros genomas de organelas (cloroplasto y mitocondria) para especies de *Nothofagus* disponibles para la comunidad científica nacional e internacional.

Generación de información clave sobre el impacto del aprovechamiento silvícola en la estructura demográfica y genética del bosque mixto de *Nothofagus* de Nordpatagonia aportando resultados de relevancia para las propuestas de manejo de ese ecosistema.

Difusión del uso de *Nothofagus* nativos en plantaciones productivas o de restauración, entre tomadores de decisión, productores, viveristas y la comunidad local.

Divulgación de los conceptos de Zonas Genéticas y Regiones de Procedencia entre los tomadores de la decisión regionales y nacionales, como herramienta básica para el uso sustentable de las especies nativas en plantaciones productivas o de restauración.

Definición de Zonas Genéticas de raulí, roble, lenga y ñire en base a los patrones de diversidad genética resultantes de estudios previos, como base de información para el manejo de los recursos genéticos de estas especies.

Provisión regular de semillas de *Nothofagus* a los viveros de la región.

Inicio de un programa de mejoramiento genético de baja intensidad para raulí, roble y ñire.

Definición de APSs de lenga en el bosque natural y de roble en una plantación.

Formación de recursos humanos de nivel superior (dos tesis doctorales finalizadas y dos en cursos, dictado de cuatro cursos de posgrado).

### Publicaciones realizadas en el marco del Subprograma *Nothofagus* no incluidas en las referencias bibliográficas

- ◆ Aparicio GA, Barbero FA & Pastorino MJ. 2012. Resprouting capacity of *Nothofagus obliqua* Mirb. (Oerst): genetic and environmental factors. IUFRO Conference “Genetics of Fagaceae and Nothofagaceae”, Bordeaux, 9–12 oct.
- ◆ Azpilicueta MM, Gallo LA, van Zonneveld M, Thomas E, Moreno C, Marchelli P. 2012. Management of genetic resources: definition of genetic zones in American *Nothofagus* forests. IUFRO Conference “Genetics of Fagaceae and Nothofagaceae”, Bordeaux, 9-12 oct.
- ◆ Azpilicueta MM, Gallo LA, Van Zonneveld M, Thomas E, Moreno C & Marchelli P. 2012. Definición de zonas genéticas en los bosques templados de raulí y roble pellín en Argentina. XV Congreso Latinoamericano de Genética. Rosario, 28-31 oct.
- ◆ Azpilicueta MM, Soliani C, Gallo L A, van Zonneveld M, Thomas E, Moreno C & Marchelli P. 2013. Definición de zonas genéticas en cuatro especies de *Nothofagus* de los bosques andino- patagónicos IV Congreso Forestal Argentino y Latinoa-

- mericano. Iguazú, 23 – 27 sept.
- ◆ Azpilicueta MM, Mondino V, Tejera L, Schinelli T, González-Peñalba M, Lozano L, Chauchard L, Pastorino MJ, Martínez AHM, Marchelli P, Soliani C & Gallo LA. 2014. Actividades del proyecto Mejoramiento Genético de Especies Forestales Nativas de Alto Valor orientadas a la provisión de semilla identificada y mejorada de especies patagónicas. VI Reunión Grupo de Genética y Mejoramiento Forestal (GeMFO), Campana, 8 – 11 abr.
  - ◆ Azpilicueta MM, Marchelli P, Thomas E, Van Zonneveld M, Umaña F, Gallo LA. 2015. Zonas genéticas como fuentes de semilla en *Nothofagus nervosa* y *Nothofagus obliqua* IV Congreso Iberoamericano y del Caribe de Restauración Ecológica – SIACRE. Buenos Aires, 12-15 abr.
  - ◆ Azpilicueta MM, El Mujtar VA, Gallo LA. (enviado). Molecular markers helped in discarding hybridisation processes as the origin of the distinct character of a Patagonian *Nothofagus* population.
  - ◆ Barbero FA, Gallo L & Pastorino MJ. 2010. Inter- and intra-population variation of a South American beech in germination traits. Genetic Resources of European Beech (*Fagus sylvatica* L.) for Sustainable Forestry, COST E52, Final Meeting. Burgos, 4-6 may.
  - ◆ Barbero FA, Escobar L, Gallo L & Pastorino MJ 2010. Variación en parámetros germinativos de poblaciones naturales argentinas de raulí (*Nothofagus nervosa*) y robleroble pellín (*Nothofagus obliqua*). IV Reunión Binacional de Ecología. Buenos Aires, 8-13 ago.
  - ◆ Barbero FA, Sabatier Y, Gallo LA, Bran D & Pastorino MJ. 2011. Áreas potenciales de cultivo de raulí y robleroble pellín en la Provincia de Río Negro. Ediciones INTA, Buenos Aires, 54pp.
  - ◆ Barbero FA, Varela SA, Gallo LA & Pastorino MJ. 2012. Genetic variation of *Nothofagus obliqua* in seedling growth traits. IUFRO Conference “Genetics of Fagaceae and Nothofagaceae”, Bordeaux, 9 – 12 oct.
  - ◆ Barbero FA & Pastorino MJ. 2014. Altura inicial en plantines de *Nothofagus obliqua*: un atributo heredable con implicancias ecológicas y productivas. XLIII Congreso Argentino de Genética. Bariloche, 19-22 oct.
  - ◆ El Mujtar V, Gallo L, Marchelli P, Azpilicueta MM, Garnier-Géré P. 2011. Next Generation Sequencing technology in forest genomic research of two *Nothofagus* species from the Patagonian Temperate Forests. VIII Simposio Nacional de Biotecnología REDBIO; Buenos Aires, 13-15 nov.
  - ◆ El Mujtar V & Gallo L. 2011. Pirosecuenciación 454 en dos especies de *Nothofagus* de los Bosques Templados Patagónicos. V Reunión GEMFO. Balcarce, 15-17 nov.
  - ◆ El Mujtar V, Gallo L & Garnier-Géré P. 2012. Chloroplast genome comparison of two South American *Nothofagus* species. IUFRO Conference “Genetics of Fagaceae and Nothofagaceae”, Bordeaux, 9-12 oct.
  - ◆ El Mujtar V, Sola G & Gallo L. (en redacción). Patterns of natural inter-specific hybridization in closely-related but ecologically contrasted *Nothofagus* species of South American Temperate Forests.
  - ◆ Gallo LA, Marchelli P, Mondino VA, Tejera L & González-Peñalba M, 2013. Ausencia de la antinomia productividad volumétrica vs. diversidad genética (capacidad adaptativa) en *Nothofagus nervosa* (raulí). II Jornadas Forestales de Patagonia Austral. El Calafate, 16 y 17 may.
  - ◆ Gallo L. 2013. Domesticación y mejora de especies forestales nativas para la incertidumbre climática. Revista Producción Forestal. Año 3: 39-42.
  - ◆ Gallo LA & Marchelli P. 2014. Gene flow in the restoration of forest ecosystems. In: Bozzano M, Jalonen R, Thomas E, Boshier D, Gallo L, Cavers S, Bordács S, Smith P & Loo J, eds. Genetic considerations in ecosystem restoration using native tree species. State of the World's Forest Genetic Resources – Thematic Study. Rome, FAO and Bioversity International. Pp 67-74
  - ◆ Marchelli P, Azpilicueta MM, Van Zonneveld M & Gallo LA. 2010. Evolutionary potential to face future climatic change of two ecologically contrasting Southern Beeches. Evoltree Conference. San Lorenzo de El Escorial, Madrid, 9-11 jun.
  - ◆ Marchelli P, Azpilicueta M M, van Zonneveld M, Thomas E & Gallo L. 2011. Mapeo de la diversidad genética de dos especies de *Nothofagus* e implicancias ante las predicciones del cambio climático para la región patagónica. V Reunión GEMFO, Balcarce, 15–17 nov.
  - ◆ Marchelli P, Smouse PE & Gallo LA. 2012. Short distance pollen dispersal for an outcrossed, wind-pollinated southern beech (*Nothofagus nervosa* (Phil.) Dim. et Mil. Tree Genetics & Genomes 8: 1123-1134.
  - ◆ Marchelli P, Azpilicueta MM, van Zonneveld M, Thomas E & Gallo L. 2012. Past and future distributional shifts in two *Nothofagus* species: genetic implications for the eastern fragmented area in the Argentinean Patagonia. IUFRO Conference “Genetics of Fagaceae and Nothofagaceae”, Bordeaux, 9–12 oct.
  - ◆ Marchelli P, Azpilicueta MM, Martínez A, Varela S, Arana V, Pastorino M & Gallo L. 2012. Recomendaciones prácticas para la viverización de especies arbóreas nativas patagónicas. Fichas Técnicas. INTA.
  - ◆ Marchelli P, Azpilicueta MM, Thomas E, Soliani C, van Zonneveld M & Gallo L. 2014. Cambio climático y conservación en *Nothofagus* abordado desde la genética y el modelado de nicho ecológico. Congreso Argentino de Genética, Bariloche, 19-22 oct.
  - ◆ Marchelli P, Azpilicueta MM, Thomas E, Soliani C, van Zonneveld M & Gallo LA. 2015. Genética y modelado de nicho ecológico en la identificación de zonas vulnerables al cambio climático. IV Congreso Iberoamericano y del Caribe de Restauración Ecológica – SIACRE. Buenos Aires, 12-15 abr.
  - ◆ Marcucci Poltri SN, Torales S, El Mujtar V, Acuña C, Soliani C, Zelener N, Schmid P, Pomponio F, Marchelli P, Inza V, Sola G, Soldati C, Villalba P, Arana V, Bozzi J, García MN, Azpilicueta MM, Martínez MC, Rivas G, López Lauestein D, Cosacov A, Vega C, Cappa E, Ornella L, Pastorino M, Pathauer P, Diez

- J, Salleses L, Cortizo S, Cerrillo TM, Gauchat ME, Rodriguez G, Fassola H, Pahr N, Surenciski M, Oberschelp J, Harrand L, López J, Fornés L, Verga A, Marcó M, Hopp E, Gallo L. 2013. Desarrollo y aplicación de herramientas de genética molecular para resolver problemas complejos de la genética forestal. IV Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano, Iguazú, 23-27 sept.
- ◆ Massy-Lijeron V, Pastorino MJ, Garibaldi L & Mazía N. 2014. Supervivencia y herbivoría por insectos de dos orígenes de *Nothofagus obliqua* (roble pellín) plantados a distintas densidades bajo un matorral de ñire. XXVI Reunión Argentina de Ecología. Comodoro Rivadavia, 2-5 nov.
  - ◆ Mondino VA, Tejera LE, Pastorino MJ & Gallo LA. 2010. Establecimiento en *Nothofagus pumilio*: Efecto de plantas nodrizas y procedencias. Jornadas Forestales de Patagonia Sur. Ushuaia, 11 y 12 nov.
  - ◆ Mondino VA, Pastorino MJ, Marchelli P & Gallo LA. 2013. Variación geográfica en caracteres seminales de lenga (*Nothofagus pumilio*) en la provincia de Chubut. II Jornadas Forestales de Patagonia Austral. El Calafate, 16 y 17 may.
  - ◆ Mondino VA, Pastorino MJ, Schinelli-Casares T & Gallo LA. 2013. Variación geográfica en ritmo de crecimiento en plántulas de *Nothofagus pumilio* en la Provincia de Chubut. IV Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Iguazú, 23-27 sept.
  - ◆ Mondino VA, Pastorino MJ & Gallo LA. 2014. Variación altitudinal en caracteres adaptativos tempranos en *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser. VI Congreso Chileno de Ciencias Forestales. Temuco, 9-11 abr.
  - ◆ Pastorino MJ, Aparicio AG, Azpilicueta MM, Martínez-Meier AG, Marchelli P, Lozano L, González-Peñalba M, Martínez A & Gallo LA. 2011. Domesticación de raulí y roble pellín en Argentina: propuesta inicial para un programa de mejora genética de baja intensidad. V Reunión Grupo de Genética y Mejoramiento Forestal (GeMFO), Balcarce, 15-17 nov.
  - ◆ Pastorino MJ, Marchelli P & Azpilicueta. 2013. ¿Cómo ajustar la precisión en la estimación de parámetros de genética cuantitativa en estudios de genética ecológica? Ejemplos con especies nativas patagónicas. IV Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Iguazú, 23-27 sept.
  - ◆ Pastorino MJ & Barbero FA. 2014. Ensayos de corto plazo: una herramienta valiosa para evaluar caracteres cuantitativos tempranos. Ejemplo de caso con *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. VI Reunión Grupo de Genética y Mejoramiento Forestal (GeMFO), Campana, 8-11 abr.
  - ◆ Sabatier Y, Azpilicueta MM, Marchelli P, González-Peñalba M, Lozano L, García L, Martínez A, Gallo LA, Umaña F, Bran D & Pastorino MJ. 2011. Distribución natural de *Nothofagus alpina* y *Nothofagus obliqua* (Fagaceae) en Argentina, dos especies de primera importancia forestal de los bosques templados nortopatagónicos. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica, 46: 131-138.
  - ◆ Sola G, El Mujtar V, Chauchard LM, Tsuda Y, Vendramin GG & Gallo L. 2012. Impact of Silvicultural management on the genetic diversity of a mixed *Nothofagus* forest. IUFRO Conference "Genetics of Fagaceae and Nothofagaceae", 9-12 October, Bordeaux, France.
  - ◆ Sola G, Attis-Beltrán H, Chauchard L & Gallo L. 2013. Impacto del manejo silvícola en la estructura demográfica de la regeneración natural del Bosque Mixto de *Nothofagus*. IV Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano, Iguazú, 23-27 sept.
  - ◆ Sola G, El Mujtar V, Gallo L. 2014. Impacto del manejo silvícola en la regeneración del bosque mixto de *Nothofagus*. XLIII Congreso Argentino de Genética. IV Reunión Regional SAG. Bariloche, 19-22 oct.
  - ◆ Sola G, Attis-Beltrán H, Chauchard L & Gallo L. 2015. Efecto del manejo silvicultural sobre la regeneración de un bosque de *Nothofagus dombeyi*, *N. alpina* y *N. obliqua* en la Reserva Nacional Lanín (Argentina). Bosque 36: 111-118.
  - ◆ Sola G, El Mujtar V, Yoshiaki T, Vendramin GG & Gallo L. (enviado). Effect of silvicultural management on the genetic diversity of a mixed *Nothofagus* forest in the Lanín Natural Reserve, Argentina.
  - ◆ Soliani C, Gallo L & Marchelli P. 2010. Diversidad genética en poblaciones de lenga y ñire de Argentina: aportes a la conservación de los recursos genéticos forestales. Jornadas Forestales de Patagonia Sur. Ushuaia, 10-12 nov.
  - ◆ Soliani C, Gallo LA & Marchelli P. 2013. Historia evolutiva de *Nothofagus pumilio* y *N. antarctica*, conservación y manejo de sus recursos genéticos. XLII Congreso Argentino de Genética. Salta, 20-23 oct.
  - ◆ Soliani C, Mondino V, Gallo LA & Marchelli P. 2015. Zonas genéticas de *Nothofagus pumilio* y *N. antarctica*, en el Norte y Centro de Patagonia argentina IV Congreso Iberoamericano y del Caribe de Restauración Ecológica – SIACRE. Buenos Aires, 12-15 abr.
  - ◆ Thomas E, Jalonen R, Loo J, Boshier D, Gallo L, Cavers S, Bordács S, Smith P & Bozzano M. 2014. Genetic considerations in ecosystem restoration using native tree species. Forest Ecology and Management 333: 66-75.

## Responsable del Subprograma

Mario J. Pastorino

## Unidad Sede

EEA Bariloche

## Unidades participantes

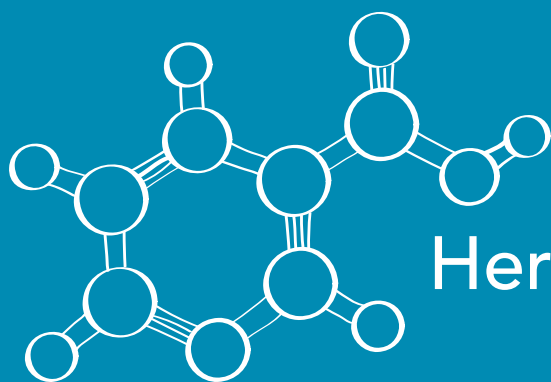
- ♦ EEA Bariloche
- ♦ EEA Esquel
- ♦ IRB Castelar.

## Profesionales participantes

- ♦ Pastorino, Mario - CONICET - INTA EEA Bariloche, Río Negro.
- ♦ Amalfi, Sabrina - INTA IRB Castelar, Buenos Aires.
- ♦ El Mujtar, Verónica - INTA EEA Bariloche, Río Negro.
- ♦ López, Micaela - INTA IRB Castelar, Buenos Aires.
- ♦ Paredes, Miriam - INTA EEA Esquel, Chubut.
- ♦ Pomponio, Florencia - INTA IRB Castelar, Buenos Aires.
- ♦ Aparicio, Alejandro - INTA EEA Bariloche, Río Negro.
- ♦ Azpilicueta, María Marta - INTA EEA Bariloche, Río Negro.
- ♦ Attis Beltrán, Hernán - AUSMA UN Comahue, Neuquén.
- ♦ Barbero, Fernando - CONICET - INTA EEA Bariloche, Río Negro.
- ♦ Basil, Gustavo - INTA EEA Bariloche, Río Negro.
- ♦ Chauchard, Luis - AUSMA UN Comahue – AF Pque. Nac. Lanín, Neuquén.
- ♦ Gallo, Leonardo - INTA EEA Bariloche, Río Negro.
- ♦ González, Alejandro - INTA EEA Bariloche, Río Negro (PROMEF)
- ♦ González Peñalba, Marcelo - AF Pque. Nac. Lanín, Neuquén.
- ♦ Huentú, Mario - INTA EEA Bariloche, Río Negro.
- ♦ Lara, Martín - AF Pque. Nac. Lanín, Neuquén.
- ♦ Lozano, Liliana - AF Pque. Nac. Lanín, Neuquén.
- ♦ Marchelli, Paula - CONICET - INTA EEA Bariloche, Río Negro.
- ♦ Martínez, Abel - INTA EEA Bariloche, Río Negro.
- ♦ Mondino, Víctor - INTA EEA Esquel, Chubut.
- ♦ Puntieri, Javier - INIBIOMA CRUB UN Comahue, Río Negro
- ♦ Schinelli, Teresa - INTA EEA Esquel, Chubut.
- ♦ Sola, Georgina - AUSMA UN Comahue, Neuquén.
- ♦ Soliani, Carolina - CONICET - INTA EEA Bariloche, Río Negro.
- ♦ Tejera, Luis - INTA EEA Esquel, Chubut.
- ♦ Torales, Susana - INTA IRB Castelar, Buenos Aires.
- ♦ Torres, Cristian - INIBIOMA CRUB UN Comahue, Río Negro.
- ♦ Zuki, Sebastián - INTA EEA Bariloche, Río Negro.

## Instituciones participantes

- ♦ Cátedra de Ordenación Forestal, Universidad Nacional del Comahue, Asentamiento Universitario San Martín de los Andes.
- ♦ Área Forestal Parque Nacional Lanín, San Martín de los Andes.
- ♦ Istituto di Bioscienze e Biorisorse (IBBR) del Consiglio Nazionale Delle Ricerche (CNR), en Florencia (Italia).
- ♦ INRA, UMR 1202 Biodiversity Genes & Communities, F-33610 Cestas, France
- ♦ UMR1202 Biodiversity Genes & Communities, University of Bordeaux, Bordeaux, F-33400 Talence, France.
- ♦ Plateforme Génome Transcriptome, INRA - Pôle Forêt - Bois, 69 route d'Arcachon F-33612 Cestas Cedex, France
- ♦ Instituto Nacional de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente (Universidad Nacional del Comahue-CONICET), Quintral 1250, 8400 San Carlos de Bariloche.
- ♦ Universidad Nacional de Río Negro (UNRN), Av. San Martín 2650, 8430 El Bolsón.
- ♦ Bioersity International, Regional Office for the Americas, Cali, Colombia.



# Herramientas moleculares

**Autores.** Marcucci Poltri, Susana N (a) y Gallo, Leonardo A. (b)

(a) INTA Castelar - Instituto de Biotecnología, Buenos Aires, (b) INTA EEA Bariloche, Río Negro

El desarrollo de numerosas metodologías y conocimientos surgidos del uso de la biología molecular, estrategias de secuenciación, proyectos genómicos de varias especies, acompañado de la bioinformática y la tecnología de sistemas para el manejo computacional de gran número de datos, permite que en la actualidad existan y se apliquen distintos tipos de Marcadores Moleculares (MM) a todo tipo de organismo viviente y con diferentes escalas e intensidad según el objetivo. Los MM representan actualmente una importante herramienta en los programas de mejoramiento y conservación genética forestal, que hasta hace algunos años solo estaba limitado a unas pocas especies.

Los marcadores moleculares corresponden a fragmentos de ácido desoxirribonucleico (ADN), molécula que integra cada cromosoma y contiene la información genética del individuo, es decir, su genoma y pueden ser secuencias de genes o secuencias desconocidas. Los MM permiten generar perfiles característicos a nivel del genoma y son similares a las huellas dactilares de cada individuo (patrones únicos para cada uno), no tienen influencia del ambiente (como sí ocurre con la mayoría de las características que se evalúan en los programas de mejoramiento) y en general no cambian a lo largo de la vida de los individuos. Se utilizan para determinar identidad en humanos (como aquellos empleados en pruebas de paternidad, en estudios forenses para comparar sospechosos, en identificación de restos humanos por comparación con muestras de familiares, en estudios de compatibilidad en donaciones de órganos, etc.) y hoy son herramientas imprescindibles en el mejoramiento de numerosos cultivos agrícolas y producción pecuaria. En el INTA se están aplicando ampliamente desde hace varios años también en especies forestales. Los MM son además marcadores genéticos en su mayoría y actúan como señales “marcadoras” que pueden sugerir la presencia cercana de un gen en un cromosoma dado, siendo este gen responsable de una característica particular que es la que se desea evaluar/mejorar. Si determinados MM se encuentran ligados físicamente al gen responsable de la característica de interés (en *desequilibrio de ligamiento*, DL), se heredarán juntos y por lo tanto, se podrá ele-

gir a los individuos por estos marcadores tempranamente en lugar de esperar a observar la característica fenotípica deseada. Este aspecto es de suma importancia en árboles, ya que la evaluación de estas propiedades es tardía y/o muy costosa.

El estudio para descubrir si los marcadores y los genes responsables de las características de interés se encuentran asociados o ligados entre sí se denomina *mapeo de ligamiento genético*. Este estudio consiste en encontrar el orden y posición de los marcadores moleculares y características de interés en los cromosomas de los organismos a través de su herencia conjunta en progenies controladas. Otra alternativa es el *mapeo por asociación genética*, en el que se buscan las asociaciones entre marcadores y características en poblaciones lo suficientemente grandes y variables (como es el caso de humanos, donde sólo se dispone de este tipo de poblaciones) en lugar de usar cruzamientos controlados.

Cabe mencionar que la mayoría de las características de interés agronómico y forestal están gobernadas por varios genes o QTL (*Quantitative Trait Loci*, Loci de Características Cuantitativas) y la ubicación de éstos en el genoma se denomina *mapeo de QTL*. Desde hace varios años esta información de QTL se utiliza en cultivos agrícolas para hacer Selección Asistida por Marcadores (MAS: *Marker Assisted Selection*) o Mejoramiento Asistido por Marcadores (MAB: *Marker Assisted Breeding*) pero se aplica en menor escala en especies forestales, por el escaso período de domesticación y alta diversidad de estas poblaciones de mejoramiento. Sin embargo, una estrategia aplicada usualmente en el mejoramiento animal denominada *Selección Genómica* (SG) (Meuwissen *et al.*, 2001) puede aplicarse en especies forestales con éxito. La estrategia de SG se basa en hacer modelos matemáticos para predecir fenotipos a partir del uso de muchos marcadores moleculares que barren ampliamente el genoma. Estas predicciones utilizan algoritmos que se ajustan para ello y permiten acortar los tiempos del ciclo de mejora (por ej.: a aproximadamente la mitad en el caso de eucaliptos).

Además de estas aplicaciones relacionadas con marcadores asociados a genes de interés, los



MM también pueden utilizarse como patrones para identificación y criterio de identidad de individuos, permitiendo el seguimiento de cruzamientos controlados, determinación de paternidad (principalmente cuando se utiliza mezcla de polen), control genético operativo del mejoramiento y de producción, etc.

Existen a la fecha numerosos tipos de MM con diferente grado de complejidad, facilidad en su utilización y costo, y su elección depende del objetivo del trabajo. Hay marcadores que son de tipo “neutral” (es decir, no están influidos por la selección natural/artificial) y hay marcadores “funcionales” que sugieren que estarían involucrados en alguna función biológica y por lo tanto pueden ser sujetos a procesos de selección. A continuación se describen algunos de ellos que pueden ser de ambos tipos según el lugar donde se localicen en el genoma:

**SSR (*Simple Sequence Repeats*, Repeticiones de Secuencias Simples o Microsatélites):** en general se utilizan estos marcadores, por su gran variabilidad, facilidad de aplicación y disponibilidad de secuencias de ADN de los proyectos genómicos públicos que posibilitan su diseño. Son muy utilizados por lo tanto en las especies forestales del programa de mejoramiento y conservación que lleva adelante el INTA (Marcucci Poltri *et al.*, 2013; Torales *et al.*, 2013; Acuña *et al.*, 2014, El Mujtar *et al.*, 2014; Soldati *et al.*, 2014; Pomponio *et al.*, 2015). Este tipo de secuencias repetitivas están distribuidas por todo el genoma y son capaces de detectar heterocigosis en esas regiones. Cada SSR identifica una sola porción del genoma y el uso combinado de varios SSR permite establecer una huella digital para cada individuo, con muy baja probabilidad de que dos individuos no relacionados tengan el mismo patrón.

**AFLP (*Amplified Fragment Length Polymorphism*):** es otra técnica muy utilizada, que abarca muchas regiones genómicas en una sola reacción y que, a diferencia de los SSRs, no requiere de conocimiento previo de la secuencia del genoma. Sin embargo, es más laboriosa y menos informativa. No obstante, es de suma utilidad, principalmente cuando no hay otros marcadores disponibles. A diferencia de los SSR, no se distinguen los individuos heterocigotas para esos loci.

**SNP (*Single Nucleotide Polymorphism*):** se aplican a una región determinada del genoma, detectan mutaciones puntuales de una base

y, por lo tanto, se necesita conocer la secuencia del ADN. Pueden analizarse a través de la comparación de secuencias de los fragmentos elegidos entre los distintos individuos, o bien a través de análisis comparativos múltiples utilizando sistemas especialmente diseñados con numerosos marcadores (miles de SNP en distintas porciones genómicas). Este tipo de estudios de barrido a gran escala es el que más se utiliza actualmente y su utilidad depende del buen diseño del sistema. Los SNP pueden estar en secuencias codificantes o no codificantes. A su vez, cuando ellos se encuentran en genes que participan en determinadas rutas metabólicas conocidas de interés o genes candidatos, muestran las variantes de éstos y son sumamente útiles para buscar la variabilidad directamente asociada con alguna característica particular.

**DArT (*Diversity Array Technology*):** permite analizar a miles de puntos del genoma, se evalúan mediante microarreglos diseñados especialmente para cada especie/género y son de gran cobertura genómica. Se desarrollaron a partir de 2001 y en los últimos años comenzaron a aplicarse en numerosas especies.

**Marcadores de organelas (cloroplastos y mitocondrias):** los genomas de las organelas están formados por una sola molécula de ADN y tienen una tasa de mutación más lenta que el ADN genómico nuclear y por lo tanto, menor variabilidad entre individuos de una misma especie que los marcadores nucleares. Así, sus variantes sirven para discriminar jerarquías taxonómicas superiores, como por ejemplo especies y/o géneros entre sí. Sin embargo, en estas moléculas también hay distintos grados de variación y pueden seleccionarse los marcadores más convenientes según las necesidades de la investigación o aplicación de interés. Los marcadores de cloroplasto son en general de herencia materna (salvo en las coníferas que son de herencia paterna, pues los cloroplastos se encuentran en los granos de polen) y de gran utilidad para estudios filogeográficos y para definición inicial de probables zonas de procedencias.

En los programas de mejoramiento, domesticación y conservación de recursos genéticos de especies forestales del INTA también se incluyó el uso de MM para complementar las evaluaciones morfológicas tradicionales haciendo más eficientes los procesos de dichos programas, tanto en plantaciones comerciales como en bosques nativos (Figura 1).

Muchos de estos análisis son realizados en el Servicio de la Unidad de Genómica del Instituto de Biotecnología de INTA<sup>1</sup> con la que colaboran los distintos grupos que trabajan en INTA y también diferentes interesados como empresas, productores y mejoradores que utilizan sus prestaciones.

La implementación de estas herramientas para el uso de la diversidad genética y la conservación forestal constituye una verdadera innovación científica para mejorar el desarrollo tecnológico.

En ese sentido, los MM en el área forestal se utilizan principalmente para (Figura 1):

1. controlar la identidad genética del material mejorado y/o a mejorar (calidad genética) durante todo el proceso de mejoramiento y multiplicación;
2. acortar los tiempos del ciclo de mejora y mejorar la precisión de los cálculos de estimación de valores de mejora;
3. evaluar la diversidad de poblaciones de mejoramiento (Huertos Semilleros y poblaciones base) y poblaciones nativas en procesos de domesticación;
4. contribuir con la selección de individuos de especies nativas útiles para el enriquecimiento del bosque en aquellas zonas con obligación de manejo forestal en zonas amarillas definidas por el Ordenamiento Territorial del Bosque Nativo (Ley 26331) y evaluar la variación adaptativa de las distintas especies, considerando aproximaciones de epigenética.

## Control de la calidad genética

Todo programa de mejora tiene por objetivo principal ofrecer a la sociedad material de propagación mejorado con características de mayor adaptación a las condiciones ambientales y mejor crecimiento, ajustando el uso de los diferentes genotipos selectos (poblaciones, individuos, clones) a los diferentes ambientes y tipos de productos y/o funciones a obtener.

El material de propagación mejorado muchas veces no llega al productor con la identidad genética verdadera (calidad genética) proveniente del costoso y largo trabajo de identificación y

### Identidad genética del material de propagación

- Huertos semilleros
- Poblaciones
- Rodales
- Clones

### Mejoramiento Molecular Asistido

- Mejor predicción de valores de cría
- Caracterización de regiones genómicas
- Estadística genómica
- Epigenética

### Pautas para el ordenamiento territorial, la restauración y el manejo sostenible del bosque nativo

- Pautas genéticas para el manejo silvícola y uso del bosque para su incorporación en los planes de manejo
- Poblaciones de particular y/o mayor diversidad genética para el Ordenamiento Territorial
- Manual de zonas de procedencias por regiones

**Figura 1:** Aplicaciones de las herramientas moleculares en el área forestal

selección realizado en los programas de mejoramiento. Esto se debe a que las tradicionales fuentes de propagación de las semillas como los Huertos Semilleros (HS) o de material vegetativo como los estaqueros y setos clonales están sujetos a contaminaciones genéticas no detectables visualmente. El ingreso de polen de árboles no selectos, o la mezcla de clones no deseados, diluye el esfuerzo de selección y le quita trazabilidad comercial al material de propagación mejorado.

Para el monitoreo y control del material es imprescindible su identificación inequívoca, lo que resulta muchas veces imposible de realizar por la simple observación o medición de variables fenotípicas. Esta inseguridad no sólo es posible de motivar estafas en la comercialización del material de propagación sino que además puede ocasionar una merma del rendimiento y adaptación del mismo en las diferentes regiones

1. <http://inta.gob.ar/documentos/formularios-del-servicio-secuenciacion-de-acidos-nucleicos-adn-por-electroforesis-capilar/view>

subsidiadas por el Estado Argentino a través de las Leyes 25.080 y 26.331.

Las herramientas moleculares ofrecen una identificación inequívoca del material, permitiendo un registro seguro en el órgano fiscalizador (Instituto Nacional de Semillas, INASE) y el monitoreo de su comercialización y plantación. El INASE ha promulgado para el sector productivo forestal argentino las Resoluciones 256/99, 18/09 y 207/09, que definen el marco normativo para la certificación de semillas y plantines forestales y las categorías de los materiales básicos forestales pertenecientes a la semilla certificada.

Si bien las diferencias a nivel molecular entre cultivares no son suficientes para inscribir una nueva variedad u otorgar un título de propiedad, sí pueden ser utilizadas para la identificación unívoca de cultivares y clones con el fin de corroborar identidades genotípicas en el marco de las actividades de certificación y control de comercio que realiza el INASE.

Del mismo modo, a través de análisis moleculares, es posible detectar la contaminación de polen extraño en los HS (al igual que los análisis de paternidad de humanos), identificar mezcla de materiales genéticos y revisar errores de rótulos.

## Utilización en los procesos de selección de los programas de mejora

Las nuevas metodologías que incluyen la información molecular dentro de los procesos de selección como Selección Genómica, detección de QTL, y Mejoramiento Asistido por Marcadores, etc., pretenden ajustar los análisis estadísticos y obtener valores predictivos de ganancia genética más confiables que los estudios convencionales, tratando de acortar los ciclos del mejoramiento.

La actual disponibilidad de marcadores moleculares para cada especie particular del programa de mejoramiento y domesticación de especies forestales de INTA permite establecer matrices de relaciones de parentesco entre individuos, en lugar de utilizar los valores teóricos de los vínculos para el cálculo de los valores de mejora, incrementando la precisión en la estimación de los valores de mejora en especies introducidas y nativas (Kumar & Richardson, 2005; Bessega *et al.*, 2011; El-Kassaby *et al.*,

2011, Cappa *et al.*, 2014).

Los mapas de ligamiento de QTL constituyen herramientas sumamente útiles para el estudio de los patrones de herencia de los caracteres cuanti y cualitativos, estudios de genómica comparativa y para el desarrollo de marcadores útiles para el MAB. Recientemente, a partir de la liberación de marcadores SSR públicos, es posible la comparación y estandarización entre los distintos mapas de los laboratorios posibilitando la validación de los resultados en distintos fondos genéticos. De esta manera se amplía su utilidad no sólo para la selección dentro de las familias donde se detectaron, sino también utilizando aquellos marcadores de QTL estables en distintos cruzamientos y ambientes, como se propuso por ejemplo, para *E. globulus* (Freeman *et al.*, 2013).

Los estudios de asociación genética comenzaron en coníferas (Neale & Savolainen, 2004; González-Martínez *et al.*, 2007; Neale, 2007; Eckert *et al.*, 2010; Parchman *et al.*, 2012), y luego en eucaliptos (Thumma *et al.*, 2009 y 2010; Cappa *et al.*, 2013; Thavamanikumar *et al.*, 2014), permitiendo detectar alelos de SNP de Genes candidatos involucrados en las distintas características con potencial uso en MAB.

Independientemente de la estrategia de detección, los marcadores asociados a QTL proporcionan información enriquecida para su utilización selectiva en SG.

Para que la selección genómica sea posible en árboles se necesita una densidad de MM suficiente que asegure que todos los QTL estén ligados con uno o varios marcadores. Por otro lado, para que sea económicamente viable, debería aplicarse a poblaciones donde el número efectivo ( $N_e$ ) de árboles sea limitado (siendo esto una práctica habitual en el cultivo de árboles) ya que el desequilibrio de ligamiento del marcador-QTL es incrementado fácilmente de esta manera (reduciendo el tamaño efectivo de la población). Además, poblaciones elite de mejora con  $N_e$  entre 20 y 50 soportan selección con ganancias genéticas apreciables por varias generaciones (Namkoong *et al.*, 1988). Existen hoy en día ejemplos concretos de aplicación de SG en *Eucalyptus*; *Pinus* y *Picea* (Resende *et al.*, 2012 a,b,c; Beaulieu *et al.*, 2014, Grattapaglia 2014, García *et al.*, 2014).

Estas prácticas constituyen una línea de punta en el mejoramiento genético forestal de la Institución.

## Evaluaciones de la diversidad en poblaciones de mejoramiento

Las herramientas moleculares permiten evaluar otros efectos negativos de las fuentes semilleras como la tasa de endogamia o de hibridación (Slavov *et al.*, 2005; Chaix *et al.*, 2003), al igual que la contaminación con polen extraño. En particular, los Huertos Semilleros suelen ser poblaciones pequeñas, y es necesario y/o conveniente el análisis de la diversidad genética que contienen para mantener altas posibilidades de conseguir ganancias genéticas adecuadas a lo largo del tiempo tratando de minimizar los efectos de la endogamia en la producción de las semillas que producen. Por otro lado, en los HS clonales es conveniente que existan restricciones respecto de la distancia mínima entre dos o más clones relacionados genéticamente para reducir las posibilidades de endocria (Zelener *et al.*, 2005; Fornes, 2003; Villalba *et al.*, 2010). En el caso de las especies nativas muchas veces es necesario determinar la pureza de la especie en los rodales semilleros, particularmente en especies que hibridan entre sí. En este punto los MM son una excelente ayuda para purificar la mezclas de algunos rodales y garantizar la identidad de las especies que los integran y de las semillas que se producen (Verga *et al.*, 2005, 2014).

En cuanto a las poblaciones base de mejoramiento, ya sea de especies introducidas o nativas, los estudios de diversidad pueden informar mejor sobre la calidad y cantidad de variantes genéticas que albergan y permiten garantizar mejor una larga vida de los programas con posibilidad de inclusión de nuevos materiales o recolección de distintas zonas geográficas. Asimismo, estos análisis permiten determinar zonas de procedencias de especies nativas que alberguen suficiente diversidad genética para conservar y utilizar como fuentes de genes para el mejoramiento y respuesta al cambio climático (Pastorino & Gallo 2009, Arana *et al.*, 2010; Inza *et al.*, 2012; Gallo, 2013; Apilicueta *et al.*, 2013, Soldati *et al.*, 2013, Pomponio *et al.*, 2014, Pastorino *et al.*, 2015, Soliani *et al.*, 2015)

## Diversidad de especies nativas y mejora en la eficiencia del ordenamiento territorial y el manejo sostenible de los bosques nativos

Dentro de los criterios definidos recientemente para el Ordenamiento Territorial del Bosque Nativo en el marco de la Ley 26.331 se tienen en cuenta la biodiversidad de las diferentes poblaciones boscosas. El nivel de diversidad biológica que generalmente se considera se refiere a la diversidad de ecosistemas y de especies. Sin embargo, el concepto de biodiversidad incluye también la diversidad genética por tratarse ella del sustento de la capacidad de adaptación futura y la actual capacidad de adaptación, incluida la plasticidad. Localizar aquellas poblaciones de mayor diversidad genética constituye un objetivo de suma importancia, ya que ellas son las que poseen la mayor posibilidad de amortiguar los efectos del cambio climático (Inza *et al.*, 2012; Gallo, 2013; Azpilicueta *et al.*, 2013, Pastorino *et al.*, 2015) por ofrecer a la presión de selección natural una gran cantidad de genotipos diversos. Esas mismas poblaciones constituyen la base futura de los programas de mejora ya que constituyen una fuente amplia de variación para implementar programas de selección artificial hacia diferentes objetivos de mejora.

Del mismo modo, la caracterización genética de las poblaciones de especies clave permite identificar particularidades genéticas de importancia adaptativa específica y por lo tanto aptas para la obtención de material de propagación con fines de restauración y enriquecimiento. Particularmente, en el marco del cambio climático global, aquellas poblaciones de zonas xéricas adquieren una gran importancia potencial. Estas consideraciones de la caracterización genética de las especies son de directa aplicación en los trabajos de Ordenamiento Territorial de los Bosques Nativos enmarcados en la mencionada Ley 26.331. Particularmente, en relación con esta Ley, adquieren mucha importancia los aspectos genéticos a tener en cuenta en la restauración de los ecosistemas boscosos de modo que mantengan su funcionalidad a lo largo del tiempo (Thomas *et al.*, 2014). En este sentido FAO ha priorizado estas consideraciones en un debate, análisis y síntesis en donde participaron investigadores de nuestra Institución (Bozzano

*et al.*, 2014).

Del mismo modo los planes de manejo del bosque nativo que surgirán como aplicaciones de la mencionada Ley de Bosque Nativo deberán ajustarse a pautas de manejo de la diversidad genética, cuando así corresponda, ya que ella constituye la base certera de la sostenibilidad biológica de los ecosistemas boscosos. La corta excesiva, la extracción de sotobosque, el manejo silvícola de enfermedades y plagas puede ocasionar un fuerte impacto sobre la diversidad genética. Las herramientas moleculares que han sido desarrolladas para varias de las especies del programa, permitieron y permiten la estimación de ese impacto y el monitoreo a través de los años (Gallo *et al.*, 2009; Marcucci Poltri *et al.*, 2010 y 2013; Sola *et al.*, 2015).

## La base genética de la plasticidad fenotípica

Uno de los dilemas que afecta a la genética en general es la relación directa entre la expresión fenotípica y la constitución genética de individuos y poblaciones. La regulación de muchos genes relacionados con la respuesta a estrés se establece en muchos casos gracias a cambios heredables de metilación en el ADN. La epigenética estudia precisamente cómo se activan y desactivan diferentes sectores genómicos y ha sido implicada en la plasticidad fenotípica y la respuesta adaptativa al estrés en plantas (Nicotra *et al.*, 2010; Skroppa *et al.*, 2010; Bräutigam *et al.*, 2013; Boyko y Kovalchuk, 2008; Chinusamy y Zhu, 2009).

Dada su importancia, este tipo de estudios deberán ser enfocados en las próximas investigaciones que pretendan establecer una correlación veraz entre el fenotipo y el genotipo. Los grupos de investigación de avanzada a nivel mundial poseen líneas de investigación relacionadas con la epigenética, ya que ella podría llegar a resolver problemas de ajuste adaptativo y productivo que no se han comprendido aún y es de vital importancia para los programas de mejora en el marco general del disturbio ambiental ocasionado por el cambio climático. En ese sentido, este tipo de investigaciones está contemplado dentro de los proyectos de mejoramiento forestal de INTA.

## Agradecimientos

Se agradece a María Carolina Martínez, Cintia Acuña, Pamela Villalba, Martín García y Martín Marcó por la lectura crítica de este escrito.

## Referencias

- Acuña, CV, Villalba P, H. Hopp HE, Marcucci Poltri SN. (2014). Transferability of microsatellite markers located in candidate genes for wood properties between *Eucalyptus* species. *Forest Systems*, [S.l.], v. 23, n. 3, p. 506-512, dec. 2014. ISSN 2171-9845.
- Arana MV, Gallo LA, Vendramin GG, Pastorino MJ, Sebastiani F, Marchelli P. (2010). High genetic variation in marginal fragmented populations at extreme climatic conditions of the Patagonian *Cypress Austrocedrus chilensis*” *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 54: 941–949.
- Azpilicueta, MM, Gallo, L, van Zonneveld, M, Thomas, E, Moreno, C & Marchelli, P (2013). Management of *Nothofagus* genetic resources: Definition of genetic zones based on a combination of nuclear and chloroplast marker data. *Forest Ecology & Management* 302: 414–424.
- Beaulieu, J, Doerksen, TK, MacKay, J, Rainville, A, & Bousquet, J (2014). Genomic selection accuracies within and between environments and small breeding groups in white spruce. *BMC Genomics*, 15, 1048.
- Besega C, Saidman BO, Darquier MR, Ewens M, Felker P, Vilardi JC (2011). Accuracy of dominant markers for estimation of relatedness and heritability in an experimental stand of *Prosopis alba* (leguminosae). *Tree Genetics & Genomes*, 7 : 103-115.
- Bozzano M, Jalonen R, Thomas E, Boshier D, Gallo L, Cavers S, Bordács S, Smith P, Loo J. (2014). Genetic Considerations in Ecosystem Restoration Using Native Tree Species. *The State of the World’s Forest*
- Bräutigam K, Vining KJ, Lafon-Placette C, Fossdal CG, Mirouze M, Marcos JG, Fluch S, Fernández Fraga M, Guevara MA, Abarca D, Johnsen Ø, Maury S, Strauss SH, Campbell MM, Rohde A, Díaz-Sala C, Cervera MT. (2013). Epigenetic regulation of adaptive responses of forest tree species to the environment. *Ecology and Evolution*, 3(2): 399-415.
- Boyko A, Kovalchuk I. 2008. Epigenetic control of plant stress response. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 49:61–72.
- Cappa EP, El-Kassaby YA, Garcia MN, Villalba PV, Klápšte J, Marcucci Poltri SN (2014). Joint use of phenotypic, pedigree and genomic information in genetic evaluation: an example in *Eucalyptus grandis*. IUFRO 2014 Forest Tree Breeding Conference. 25 al 29 de Agosto de 2014, Praga, Republica Checa.
- Cappa EP, El-Kassaby YA; Garcia MN; Acuña CV; Borralho N; Grattapaglia D; Marcucci Poltri SN (2013). Impacts of population structure and analytical models in genome-wide association studies of complex traits in forest trees: a case study in *Eucalyptus globulus*. *PLoS ONE* 8 (11): e81267.
- Chaix G, Gerber S, Razafimaharo V, Vigneron P, Verhaegen D, Hamon S (2003). Gene flow estimation with microsatellites in a Malagasy seed orchard of *Eucalyptus grandis*. *Theor. Appl. Genet.* 107: 705–712.
- Chinnusamy V, Zhu JK. (2009). Epigenetic regulation of stress responses in plants. *Current Opinion in Plant Biology*, 12:133–139.
- Eckert AJ, van Heerwaarden J, Wegrzyn JL et al (2010). Patterns of population structure and environmental associations to aridity across the range of loblolly pine (*Pinus taeda* L., Pinaceae). *Genetics*, 185, 969–982.
- El-Kassaby YA, Cappa EP, Liewlaksaneeyanawin C, Klápšte J, Lstiburek M. (2011). Breeding without breeding: is a complete pedigree necessarily for efficient breeding? *PLoS ONE* 6 (10): e25737.
- El Mujtar VA, Gallo LA, Lang T, Garnier-Géré P (2014). Development Of Genomic Resources For *Nothofagus* Species Using Next-generation Sequencing Data[J]. *Molecular Ecology Resources*, 14(6):1281-1295
- Fornes Pullarello LF (2003). Disposición estratégica de clones de *Pinus taeda* L. con pedigrí desconocido en un huerto semillero. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Superior de Ingenieros de Montes. Madrid, España. 118 p.
- Freeman, J S, Potts, B M, Downes, G M, Pilbeam, D, Thavamanikumar, S, & Vaillancourt, R. E. (2013). Stability of quantitative trait loci for growth and wood properties across multiple pedigrees and environments in *Eucalyptus globulus*. *New Phytologist*, 198(4), 1121-1134.
- Gallo, L (2013). Domesticación y mejora de especies forestales nativas para la incertidumbre climática. *Revista Producción Forestal*. Año 3, ISSN 1856-8096, (2013), 39-42
- Gallo, LA, Marchelli, P, González Peñalba M, Chauchard, L (2009). Knowing and Doing: Research Leading to Action in the Conservation of Forest Genetic Diversity of Patagonian Temperate Forests. *Conservation Biology*, 23: 895-898.
- García, MN; Ornella, L; Cappa, EP; Villalba, PV; Acuña, CV; Martínez, MC; Oberschelp, J; Harrant, L; Surenciski, MR; López, J; Pathauer, PS; Marcó, MA; Hopp, HE; Marcucci Poltri, SN. (2014). “Actualización de la selección genómica en poblaciones de mejoramiento de *Eucalyptus* locales”. *Actas del XLIII Congreso Argentino De Genética - IV Reunión Regional SAG-La Pampa Patagonia*. Vol. XXV (1). ISSN: 1852-6233
- González-Martínez SC, Wheeler NC, Ersoz E, Nelson CD, Neale DB (2007). Association genetics in *Pinus taeda* L. I. Wood property traits. *Genetics*, 175, 399–409.
- Grattapaglia D (2014). Breeding forest trees by genomic selection: current progress and the way forward. In: Tuberosa R, Graner A, Frison E (eds) *Genomics of plant genetic resources*. Springer, Netherlands, pp 651–682.
- Inza V, Zelener N, Fornes L, Gallo L (2012). Effect of latitudinal gradient and impact of logging on genetic diversity of *Cedrela lilloi* along the Argentine Yungas Rainforest. *Ecology and Evolution*, 2, (11): 2722–2736.
- Kumar S, Richardson TE (2005). Inferring relatedness and heritability using molecular markers in Radiata pine. *Molecular Breeding*, 15(1): 55 – 64.
- Marcucci Poltri SN, Gallo LA, Zelener N, Torales S, Sharry S. (2010). Parte V: Ejemplos de aplicaciones de la biotecnología vegetal Capítulo 3: Aplicación de la biotecnología en la mejora y conservación de especies forestales. (V. Echenique, C. Rubinstein, H.E. Hopp editores). Ediciones INTA- ArgenBio. p435-446 [http://www.argenbio.org/adf/uploads/Libro\\_INTA\\_II/Parte\\_V.pdf](http://www.argenbio.org/adf/uploads/Libro_INTA_II/Parte_V.pdf)

- Marcucci Poltri SN, Torales S, El Mujtar V, Acuña C, Soliani C, Zelener N, Schmid P, Pomponio F, Marchelli P, Inza V, Sola G, Soldati C, Villalba P, Arana V, Bozzi J, García MN, Azpilicueta MM, Martínez MC, Rivas G, López Lauenstein D, Cosacov A, Vega C, Cappa E, Ornella L, Pastorino M, Pathauer P, Diez J, Cortizo S, Cerrillo TM, Gauchat ME, Rodríguez G, Fassola H, Pahr N, Surenciski M, Oberschelp J, Harrand L, López J, Fornés L, Verga A, Marcó M, Hopp E, Gallo L (2013). Desarrollo y aplicación de herramientas de genética molecular para resolver problemas complejos de la genética forestal. <http://inta.gov.ar/documentos/desarrollo-y-aplicacion-de-herramientas-de-genetica-molecular-para-resolver-problemas-complejos-de-la-genetica-forestal>
- Meuwissen THE, Hayes BJ, Goddard ME (2001). Prediction of total genetic value using genome-wide dense marker maps. *Genetics*, 157(4):1819–1829.
- Namkoong G, Kang HC & Brouard JS (1988). Tree breeding principles and strategies. (Springer-Verlag, 175 Fifth Avenue, New York, NY 10010, USA).
- Neale DB, Savolainen O (2004). Association genetics of complex traits in conifers. *Trends in Plant Science*, 9, 325–330.
- Neale DB (2007). Genomics to tree breeding and forest health. *Current Opinion in Genetics and Development* 17: 539–544.
- Nicotra AB, Atkin OK, Bonser SP, Davidson AM, Finnegan EJ, Mathesius U, Poot P, Purugganan MD, Richards CL, Valladares F, van Kleunen M (2010). Plant phenotypic plasticity in a changing climate. *Trends in Plant Science*, 15:684–692.
- Parchman TL, Gompert Z, Schilkey F, Benkman CW, Buerkle CA (2012). Genome-wide association genetics of cone serotiny in lodgepole pine. *Molecular ecology* 21: 2991–3005.
- Pastorino MJ & Gallo LA (2009). Preliminary operational genetic management units of a highly fragmented forest tree species of southern South America. *Forest Ecology and Management* 257: 2350–2358
- Pastorino MJ, Aparicio AG & Azpilicueta MM (2015). Regiones de procedencia del ciprés de la cordillera y bases conceptuales para el manejo de sus recursos genéticos en Argentina. 1ª ed.- San Carlos de Bariloche, Río Negro: Ediciones INTA. 115 p.
- Pomponio MF, Acuña C, Pentreath V, Lopez Lauenstein D, Marcucci Poltri SN and Torales S. (2015). Characterization of functional SSR markers in *Prosopis alba* and their transferability across *Prosopis* species. *Forest Systems* 24(2), eRC04
- Pomponio, MF, Marcucci Poltri S, Lopez Lauenstein D, Torales Susana (2014). Identification of single nucleotide polymorphisms (SNPs) at candidate genes involved in abiotic stress in two *Prosopis* species of hybrids. *Forest Systems*, 23 (3) p. 490–493
- Resende MDV, Resende MFR Jr, Sansaloni CP, Petroli CD, Missiaggia AA, Aguiar AM, Abad JM, Takahashi EK, Rosado AM, Faria DA, Pappas GJ Jr, Kilian A, Grattapaglia D (2012, a). Genomic selection for growth and wood quality in *Eucalyptus*: capturing the missing heritability and accelerating breeding for complex traits in forest trees. *New Phytol*, 194:116–128.
- Resende MFR Jr, Muñoz P, Acosta JJ, Peter GF, Davis JM, Grattapaglia D, Resende MDV, Kirst M (2012, b). Accelerating the domestication of trees using genomic selection: accuracy of prediction models across ages and environments. *New Phytol*, 193:617–624.
- Resende MFR, Muñoz P, Resende MDV, Garrick DJ, Fernando RL, Davis JM, Jokela EJ, Martin TA, Peter GF, Kirst M (2012c). Accuracy of genomic selection methods in a standard data set of loblolly pine (*Pinus taeda* L.). *Genetics*, 190:1503–1510.
- Skrøppa T, Mette Tollefsrud M, Sperisen Ch Johnsen O (2010). Rapid change in adaptive performance from one generation to the next in *Picea abies*—Central European trees in a Nordic environment. *Tree Genetics & Genomes*, 6:93–99
- Slavov G, Howe G, Adams W (2005). Pollen contamination and mating patterns in a Douglas-fir seed orchard as measured by simple sequence repeat markers. *Canadian Journal of Forest Research*, 35 (7): 1592–1603.
- Sola G, Attis Beltran H, Chauchard L & Gallo L (2015). Efecto del manejo silvicultural sobre la regeneración de un bosque de *Nothofagus dombeyi*, *N. nervosa* y *N. obliqua* en la Reserva Nacional Lanín (Argentina) *BOSQUE* 36(1): 113–120, 2015.
- Soliani, C., Estravis-Barcalá, M., Torales, S., Pomponio, F., Ziegenhagen, B., Arana, M.V. & Marchelli, P. (2015). Genetic diversity in candidate genes for drought stress, photoperiod perception and cold tolerance along environmental gradients: evidence of climate-driven local adaptation in *Nothofagus* spp from Patagonia. *IUFRO Tree Biotechnology*. 8-12 junio, Florencia.
- Soldati MC, Inza MV, Fornes L, Zelener N (2014). Cross transferability of SSR markers to endangered *Cedrela* species that grow in Argentinean subtropical forests, as a valuable tool for population genetic studies. *Biochemical Systematics and Ecology*. 53:8–16.
- Soldati M.C., Fornes L., Van Zonneveld M., Thomas E., Zelener N. (2013) An assessment of the genetic diversity of *Cedrela balansae* (Meliaceae) in Northwest Argentina by means of combined use of SSR and AFLP molecular markers. *Biochem. Syst. Ecol.*, 47, pp. 45–55.
- Thavamanikumar S, McManus LJ, Ades PK, Bossinger G, Stackpole DJ, Kerr R, Hadjigol S, Freeman JS, Vaillancourt RE, Zhu P, Tibbits Josquin FG (2014). Association mapping for wood quality and growth traits in *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* Labill identifies nine stable marker-trait associations for seven traits *Tree Genetics & Genomes*, 10 (6). p.1661
- Thomas E, Jalonen R, Loo J, Boshier D, Gallo L, Cavers S, Bordács S, Smith P & Bozzano M (2014). Genetic considerations in ecosystem restoration using native tree species. *Forest Ecology and Management*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2014.07.015>
- Torales SL, Rivarola M, Pomponio MF, Gonzalez S, Acuña CV, Fernández P, López Lauenstein D, Verga AR, Hopp HE, Paniego NB, Marcucci Poltri SN (2013). De novo assembly and characterization of leaf transcriptome for the development of functional molecular markers of the extremophile multipurpose tree species *Prosopis alba*. *BMC Genomics* 10; 14(1):705.
- Thumma BR, MacMillan CP, Southerton SG, Williams D, Joyce K, Ravenwood IC (2010). Accelerated breeding for high pulp yield in *E. nitens* using DNA markers identified in 100 cell wall genes: the hottest 100 (research report) forest and wood products. Australia

Research Reports PNC052-0708

Thumma BR, Matheson BA, Zhang D, Meeske C, Meder R, Downes GM, Southerton SG (2009). Identification of a Cis-acting regulatory polymorphism in a eucalypt COBRA-like gene affecting cellulose content. *Genetics* 183:1153–1164

Verga A, Córdoba A, Montura M, López Lauenstein D, Melchiorre M, Joseau J, Carranza C, Ledesma M, Recalde D, Tomalino L, Mendoza S & Vega R(2005). “El Proyecto Algarrobo del INTA”, IDIA XXI, Año V, N° 8, Julio de 2005. 201-206.

Verga, A (2014). Rodales semilleros de *Prosopis* a partir del bosque nativo. *Quebracho* Vol.19 (1,2):125-138.

Villalba P, Acosta A, Torales S, Rodríguez G, Gauchat ME, Gallo L y Marcucci Poltri S (2011). Caracterización de la variabilidad genética mediante microsatélites en huertos semilleros clonales de *Pinus taeda* L. *Análisis de Semillas* Tomo 5, vol 1. Nro 17, pp80-85. Zelener, N; Marcucci Poltri, S; Bartoloni, N; López, C & HE Hopp (2005). Selection strategy for a seedling seed orchard design based on trait selection index and genomic analysis by molecular markers: a case for *Eucalyptus dunnii* Maiden. *Tree Physiology* 25: 1457-1467.



