

# Evaluación genética en etapa de vivero de áreas productoras de semillas (APS) de Pino Ponderosa en Nordpatagonia

SCHINELLI, T.<sup>1</sup>; BASIL, G.<sup>2</sup>; TEJERA, L.<sup>1</sup>; HONORATO, M.<sup>1</sup>; GALLO, L.A.<sup>3</sup>; MONDINO, V.<sup>1</sup>; MARTINEZ-MEIER, A.G.<sup>3</sup>; PASTORINO, M.J.<sup>3,4\*</sup>

## RESUMEN

El Pino Ponderosa (*Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws) es la principal especie forestal implantada en secano en la Patagonia. Su potencialidad productiva y la disponibilidad de tierras para su cultivo permiten proyectar la continuidad de su uso en plantaciones comerciales, para lo que es indispensable asegurar la provisión de semillas de adecuada calidad genética. Las semillas utilizadas en la última década se produjeron en una serie de rodales mediante ensayos para evaluar su descendencia. El objetivo del presente trabajo es evaluar estos rodales ensayando su descendencia. En este primer reporte presentamos los resultados de una evaluación en etapa de vivero. Se ensayaron 31 procedencias locales seleccionadas (Áreas Productoras de Semillas, APS) en dos sitios, midiendo altura y diámetro a la altura del cuello en plantines de 2 años de edad. A través de análisis de la varianza se probó un claro efecto de interacción entre las APS y los sitios, y también diferencias entre las APS dentro de cada sitio. Seguidamente, se establecieron rankings de las APS por sitio y variable evaluada. A través de comparaciones de a pares se formaron grupos homogéneos. También se estimó la estabilidad genotípica de las APS por medio del cálculo de sus ecovalencias. Los resultados son aún preliminares, pero el haber probado diferencias en tan temprana edad nos alerta sobre la importancia de la procedencia de las semillas a utilizar para la producción comercial. Se espera que estas diferencias se acentúen en edades más avanzadas. Para probarlo, ya se han establecido ensayos de plantación.

**Palabras clave:** procedencias locales, ranking, ecovalencias.

## ABSTRACT

*Ponderosa pine (Pinus ponderosa Dougl. ex Laws) is the main forest tree species cultivated in Patagonia without irrigation. Its productive potentiality and the surface available for afforestation with it indicate the species will continue to be among the first forest tree alternatives in the region, what makes essential to assure the availability of seeds with adequate genetic quality. In the last decade, a set of commercial stands acted as seed sources although they have never been genetically tested. The aim of the present study is to evaluate those stands by testing their progeny. In this first report we present the results at the nursery stage. We assayed 31 local seed sources in two sites. Total height and stem diameter at the root collar were measured in two-year-old seedlings. Provenance X site interaction was shown by means of ANOVA, and also differences among seed sources within each site. Rankings were subsequently built for each trial and trait separately. Pair-wise comparisons were performed, and homogeneous groups were built. Genotypic stability of each seed*

<sup>1</sup>INTA Estación Agroforestal Trevelin, Aldea Escolar, Chubut.

<sup>2</sup>INTA Campo Forestal General San Martín, Las Golondrinas, Chubut.

<sup>3</sup>INTA Estación Experimental Agropecuaria Bariloche, CC 277 (8400) S.C. Bariloche, Río Negro, Argentina.

<sup>4</sup>Investigador del CONICET.

\*Autor de correspondencia – [mpastorino@bariloche.inta.gov.ar](mailto:mpastorino@bariloche.inta.gov.ar)

source was estimated by calculating their ecovalence. Results are still preliminary, however, finding significant differences at such an early age alert us about the importance of the seed source for commercial production. We expect these differences will increase with age, and field trials have already been planted in order to test this expectation.

**Keywords:** local seed sources, ranking, ecovalence.

## INTRODUCCIÓN

Entre las especies forestales implantadas comercialmente en la Patagonia argentina se destaca claramente el Pino Ponderosa (*Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws). Esta conífera originaria de Norteamérica fue introducida en el país a comienzos del siglo XX, pero fue a partir de la década del 70 que su plantación extensiva adquirió un gran impulso fomentada por diversas políticas de promoción del Estado Nacional, en primera instancia, y luego de los estados provinciales (Loguercio y Deccechis, 2006a; Monte y Laclau, 2010).

Entre las mayores virtudes productivas del Pino Ponderosa debe contarse su gran adaptabilidad a condiciones ambientales rigurosas que resultan limitantes o al menos marginales para otros cultivos forestales en secano. Su alta tasa de crecimiento para los estándares esperables en climas templados, aún con regímenes de precipitación por debajo de los 700 mm anuales y con el azote constante de los fuertes vientos patagónicos, permite planteos productivos rentables en sitios de la Patagonia que se muestran vedados para otros cultivos sin riego.

En los últimos 40 años se ha logrado establecer en las provincias patagónicas de Neuquén, Río Negro y Chubut, una masa forestal con Pino Ponderosa que ronda las 70.000 ha (Loguercio y Deccechis, 2006b; CFI *et al.*, 2009), constituyéndose en la principal especie forestal implantada en secano de la región. Pero el potencial del Pino Ponderosa no se acaba en esta superficie. A través de una estimación regional para las tres provincias, se ha calculado una superficie apta para el establecimiento de forestaciones con pino de unas 2 millones de ha (Loguercio y Deccechis, 2006a). Asimismo, en un cálculo más reciente y de mayor detalle, se estimó un área apta de 279.000 ha en sólo dos departamentos de la provincia de Neuquén, los de mayor vocación forestal (Monte y Laclau, 2010).

En el marco de esta realidad y potencialidad mencionadas, en el año 1998 el INTA comenzó a desarrollar un programa de mejoramiento genético de Pino Ponderosa con base en San Carlos de Bariloche y Esquel y con financiamiento de la entonces Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Nación (SAGPyA) (Mondino *et al.*, 2003; Martínez-Meier *et al.*, 2005).

El producto central del plan de mejora del INTA fue la creación de huertos semilleros, para los que se seleccionaron masalmente 86 individuos a lo largo de unas 1.500 ha de plantaciones comerciales de al menos 18 años de edad, distribuidas en las tres provincias del norte patagó-

nico (Martínez-Meier *et al.*, 2005). Como resultado de este trabajo, se cuenta actualmente con tres huertos clonales y dos de progenies, que suman una superficie de 7,7 ha y que se espera que entren en producción en 2016 con un rendimiento total de entre 100 y 150 kg de semillas por año. Este volumen alcanzaría para la producción de plantines necesaria para una tasa anual de forestación de unas 2.000 ha. El pico histórico de forestación en la región se alcanzó en el año 1999, con unas 5000 ha/año, para caer dos años después a 2000 ha/año (Loguercio y Deccechis, 2006a).

Sin embargo, el plan de mejora del INTA también contempló desde su inicio la definición de áreas productoras de semillas (APS) y su posterior intervención (raleo de los genotipos inferiores) para su transformación en rodales semilleros (RS). Las APS y más aún los RS son fuentes habituales de semillas en los primeros años de un programa extensivo de forestación en el que la población de propagación de su programa de mejora aún no ha entrado en producción (White *et al.*, 2007).

Con conocimiento de la demora de los huertos hasta su entrada en producción, y también anticipándose a una posible demanda de semillas que sobrepasara su capacidad productiva, el programa del INTA incluyó la selección de rodales comerciales en tres sitios para conformar APS de la especie, que permitió sumar una superficie de 21,4 ha en total. Esta selección se fundamentó en criterios de accesibilidad, productividad de semillas y cualidades de la masa que coinciden con las reglamentadas en la resolución 207 del año 2009 del Instituto Nacional de Semillas de la Argentina (INASE, 2009). Para valorar estas cualidades se llevó a cabo una caracterización general de los rodales candidatos mediante caracteres fenotípicos de los individuos (de vigor y forma) expresados en los propios rodales en evaluación. Actualmente, estos rodales son algunos de los proveedores habituales de las semillas de Pino Ponderosa en la región. Sin embargo, existen viveristas y forestadores que utilizan semillas que proceden de otros rodales, muchas veces sin ningún tipo de selección más que su accesibilidad para disminuir los costos en la producción de plantines. Existen casos, incluso, en que se cosechan semillas en rodales que fueron raleados por lo tanto, en donde fueron extraídos los mejores árboles en el aprovechamiento comercial.

La selección de las APS en base a características fenotípicas generales de sus árboles es más o menos incierta hasta tanto no se pruebe con ensayos que las progenies resultantes son superiores a la media de la de cualquier

rodal comercial. En todo caso, si se pretende que los viveristas y forestadores le otorguen un valor a la procedencia de las semillas, debe demostrarse que no es lo mismo proveerse de ellas de cualquier rodal comercial, y que vale la pena invertir, al menos, en no utilizar las semillas de los malos, aún cuando estos sean los más fáciles de cosechar.

El INASE, a través de la Resolución 256/99 (INASE, 1999), fija las normas para la certificación, producción, comercialización e importación de semillas de especies forestales en nuestro país. En su capítulo II define los tipos de materiales básicos, es decir, de los grupos de árboles de los que se obtiene el material de propagación para la producción comercial de plantas y el establecimiento de plantaciones productivas (APS, RS y varios tipos de huertos semilleros). En el capítulo XI, a su vez se definen distintas categorías de los materiales básicos según el grado de mejora genética que incorporen. La categoría más baja es "de fuente identificada", aplicable sólo a las APS, en la que no se registra ningún grado de mejora, sino que se limita a distinguir la procedencia de las semillas. El resto de las clases de materiales básicos se reconocen como "de fuente certificada" y comprenden las categorías "seleccionado", "calificado" y "ensayado", en orden de menor a mayor grado de mejora.

En la actualidad esta categorización ha cobrado un valor adicional, ya que el Estado Nacional otorga por la Resolución 102 de la SAGyP del año 2010 un aumento del 10% en el apoyo económico no reintegrable de la Ley 25.080 modificada por la Ley 26.432 por el uso de semillas de fuente certificada en las forestaciones. Más allá de esta auspiciosa decisión de fomentar plantaciones de mejor calidad genética, la categorización que propone el INASE señala el camino hacia dónde dirigir los esfuerzos en la mejora genética forestal. De este modo, se vuelve esperable que así como hoy se fomenta el uso de semillas certificadas de cualquier tipo, en un futuro próximo haya un fomento diferencial para las de las máximas categorías.

El objetivo del presente trabajo es ensayar comparativamente las APS de Pino Ponderosa que se han utilizado en los últimos años como fuente de la semilla comercial en la Patagonia argentina. Se ha propuesto una evaluación preliminar en vivero con plantas de dos años y dos evaluaciones en plantación, a los cuatro y los seis años de edad. Este primer reporte se refiere a la evaluación de vivero. El objetivo no es estimar valores de crecimiento *per se* en forma absoluta, sino comparar las APS para poder valorarlas en forma relativa. Una evaluación tan temprana puede contribuir a ponderar la capacidad adaptativa de las distintas

APS	Prov.	Año cosecha	Propiedad	Registro en INaSe	Año plantación	Superf. ha	Latitud	Longitud	Altitud	Precip. mm/año
1. IFONA 85	Nqn	2008	AFR Manzano Amargo	no inscripto	1985	8,7	36° 44' 22"	70° 46' 32"	1350	780
2. El Manzano Rodal 16	Nqn	2001	Viv. Prov.Huinganco	12Q7334KP	1978	11,0	37° 07' 07"	70° 37' 04"	1220	680
3. San Pedro Rodal 2	Nqn	2001	Viv. Prov.Huinganco	13Q7334KP	1980	3,2	37° 09' 48"	70° 37' 21"	1230	680
4. San Pedro Rodal 1	Nqn	2008	Viv. Prov.Huinganco	13Q7334KP	1978	2,6	37° 09' 55"	70° 37' 02"	1230	680
5. Abra Ancha Rodal 10	Nqn	2008	CORFONE	6Q2264LP	1977	27,6	39° 19' 21"	70° 57' 26"	1180	750
6. Abra Ancha Rodal 1	Nqn	2008	CORFONE	6Q2264LP	1977	20,0	39° 19' 13"	70° 57' 50"	1260	750
7. Abra Ancha Rodal 5	Nqn	2005	CORFONE	8Q2264LP	1976	10,2	39° 18' 31"	70° 56' 47"	1200	750
8. Abra Ancha Rodal 8	Nqn	2008	CORFONE	6Q2264LP	1977	72,8	39° 19' 35"	70° 56' 44"	1150	750
9. Junín Rodal 12	Nqn	2004	CORFONE	no inscripto	1976/78	23,6	39° 57' 13"	71° 05' 45"	900	550
10. Junín Rodal 6	Nqn	2007	CORFONE	5Q2264LP	1976	23,8	39° 57' 16"	71° 05' 31"	850	550
11. Junín Rodal 10	Nqn	2004	CORFONE	5Q2264LP	1976	19,7	39° 57' 21"	71° 05' 45"	950	550
12. Lolog Rodal 2	Nqn	2008	CORFONE	2Q2264LP	1975	8,5	40° 04' 53"	71° 20' 34"	1200	1200
13. Ea. Cacicque Foyel	RN	2008	privado	8R5513JP	1975	17,1	41° 38' 17"	71° 27' 17"	790	1400
14. Los Repollos	RN	2008	privado	no inscripto	1976	1,8	41° 43' 58"	71° 26' 57"	850	950
15. El Foyel	RN	2008	privado	no inscripto	1976	20,0	41° 39' 36"	71° 27' 27"	850	1300
16. Mallín Ahogado	RN	2008	privado	no inscripto	1981	5,0	41° 51' 51"	71° 29' 13"	600	950
17. Cuesta del Ternero	RN	2008	Servicio Ftal. Andino	12R5513JP	1984	8,2	41° 54' 45"	71° 24' 41"	790	900
18. CFGSM Parcela 30	Ch	2008	INTA	no inscripto	1954	0,3	41° 59' 35"	71° 31' 28"	380	950
19. Va. Turismo	RN	2008	privado	no inscripto	?	112	41° 59' 04"	71° 29' 52"	680	950
20. Las Golondrinas	Ch	2008	DGBYP Chubut	9U5513KP	1967	17,0	42° 02' 17"	71° 32' 43"	370	890
21. Club Hípico	Ch	2008	Municipio El Maitén	23U5513JP	1980	21,7	42° 04' 10"	71° 10' 11"	700	470
22. Epuén	Ch	2008	privado	no inscripto	1980	105,0	42° 13' 56"	71° 25' 12"	400	1200
23. EAFT Rodal 3	Ch	2008	INTA	6U5531KP	1956	7,1	43° 06' 36"	71° 31' 36"	375	1000
24. EAFT Rodal 7b	Ch	2008	INTA	11U5531KP	1956	0,9	43° 07' 01"	71° 31' 54"	370	1000
25. EAFT Rodal 61	Ch	2008	INTA	2U5531KP	1955	0,4	43° 07' 05"	71° 31' 45"	365	1000
26. EAFT Rodal 21	Ch	2008	INTA	7U5531KP	1955	0,3	43° 07' 38"	71° 33' 34"	370	1000
27. EAFT Rodal 17e	Ch	2008	INTA	3U5531KP	1956	0,5	43° 07' 43"	71° 33' 30"	370	1000
28. EAFT Rodal 17b	Ch	2008	INTA	3U5531KP	1961	0,7	43° 07' 45"	71° 33' 22"	360	1000
29. EAFT cortina	Ch	2008	INTA	no inscripto	1955	0,4	43° 07' 45"	71° 33' 20"	360	1000
30. EAFT Rodal 23	Ch	2008	INTA	13U5531KP	1958	0,5	43° 07' 51"	71° 33' 29"	375	1000
31. EAFT Rodal 27	Ch	2008	INTA	14U5531KP	1956	2,0	43° 07' 58"	71° 33' 45"	365	1000

**Tabla 1.** Áreas Productoras de Semillas (APS) de Pino Ponderosa incluidas en los ensayos de Las Golondrinas (Campo Forestal Gral. San Martín, INTA) y Trevelin (Estación Agroforestal Trevelin, INTA), con datos de su ubicación, regímenes pluviométrico y de propiedad, años de plantación y cosecha para los ensayos, y código de registro en el Instituto Nacional de Semillas.

APS y, en caso de comprobar marcadas diferencias entre ellas, orientar las futuras evaluaciones.

También se propone evaluar la estabilidad de la performance de las APS a través de distintos sitios de siembra y, en un futuro, de distintos sitios de plantación. Esta cualidad es importante al momento de seleccionar el material genético a propagar, ya que es deseable que la buena performance se repita en cualquiera de los sitios potenciales de plantación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ensayos

Se cosecharon semillas de 31 rodales comerciales de Pino Ponderosa que en la última década han actuado como fuente semillera de la producción comercial de plantines para la región, y por lo tanto, pueden todos considerarse APS de fuente identificada según la definición del INASE (1999). Doce de estas APS se encuentran en la provincia de Neuquén, seis en la de Río Negro y trece en la de Chubut (tabla 1). Lamentablemente, se desconoce la localidad de origen de la semilla que dio lugar a cada uno de estos rodales comerciales. Las cosechas se realizaron en su mayoría en el año 2008 (25 de las 31 APS) siguiendo los modos habituales en la producción comercial de semillas a granel en la región. Así, se recolectaron los conos antes de su apertura, con pértigas o trepando a los árboles altos y se evitaron los de borde (salvo el rodal nombrado como "EAFT cortina"), los oprimidos y los mal formados o con problemas de sanidad.

De cada uno de los 31 lotes de semillas se tomaron muestras que se dividieron en mitades para su siembra y manejo en dos sitios distintos y bajo dos sistemas de cultivo diferentes, utilizados tradicionalmente en la producción de plantas de pinos en la región. El sistema I se implementó en el vivero del Campo Forestal Gral. San Martín del INTA en el paraje Las Golondrinas al noroeste de Chubut ( $41^{\circ} 59' 55''$  S,  $71^{\circ} 31' 35''$  W, 400 m snm), y consistió en una siembra en surquillos en almácigos a la intemperie, repique al año y cultivo por un año más en cancha de cría. El sistema de producción de plantas II se utilizó en el vivero de la Estación Agroforestal Trevelin del INTA ( $43^{\circ} 7' 19''$  S,  $71^{\circ} 33' 43''$  W, 380 m snm), y consistió en una siembra en almácigo como en el sistema I pero a menor densidad para cultivar las plantas en el mismo lugar durante los 2 años de cría, sin un repique intermedio. Este sistema, requiere al año una poda de raíces sin descalce por medio de una cuchilla subterránea movida con tractor. Bajo este sistema, las plantas usualmente logran un mayor tamaño por tener un crecimiento más continuo.

Para ambos sistemas de cultivo el tratamiento pre-germinativo fue el mismo: se pusieron las semillas en remojo por dos días, luego se estratificaron en frío por 40 días y finalmente se sembraron en ambos sitios el 7 de octubre de 2008. También las condiciones generales fueron equivalentes en cuanto al suelo y al manejo del riego, y en ninguno de los dos casos se fertilizó.

En Las Golondrinas la siembra se hizo sin diseño experimental, en surquillos transversales al almácigo de siembra. Del 5 al 7 de octubre de 2009 se realizó el repique del almácigo de siembra a un almácigo de cría, disponiendo las plantas también en surquillos transversales, en un diseño experimental de parcelas completamente aleatorizadas con tres repeticiones. Cada parcela tuvo una dimensión de 70 plantas dispuestas en 7 filas y 10 columnas, donde las 40 plantas centrales fueron las de ensayo y el resto conformaron una bordura de una planta de ancho (figura 1). El distanciamiento entre plantas fue de 8 cm en la fila y 15 cm entre filas. Las plantas repicadas no fueron seleccionadas (sólo se descartaron las malformadas), y durante esta operación se realizó una poda manual de raíces. A comienzos de septiembre de 2010 se midió en cada planta de ensayo la altura total (h, con una aproximación de 0,5 cm) y el diámetro a la altura del cuello (d, con una aproximación de 0,01 mm) con la ayuda de un calibre electrónico.

En Trevelin la siembra se realizó en 7 surcos longitudinales al almácigo, separados entre sí unos 15 cm. Ya que las plantas no serían repicadas, se dispuso el diseño experimental desde la siembra, que también fue en parcelas completamente aleatorizadas. Por escasez de semillas, dos de las 31 APS no pudieron ser ensayadas en Trevelin. El 12 de marzo de 2009 se realizó la poda de raíces en el sitio, con una cuchilla subsoladora tirada por un tractor a una profundidad de 15 cm. En la semana siguiente se llevó



**Figura 1.** Ensayo de APS de Pino Ponderosa establecido en el Campo Forestal Gral. San Martín del INTA, en Las Golondrinas. Plantas recién repicadas, con 1 año de edad.

a cabo un raleo de plantas, para lo cual se dejaron 30 plantas de ensayo a un distanciamiento en la línea de unos 5 cm. Al igual que en Las Golondrinas, las plantas no fueron seleccionadas y sólo se descartaron las malformadas. La primera y la séptima línea de plantas actuaron como bordura, y en el cambio de una parcela a la siguiente también se dejó un par de plantas sin medir. A fines de mayo de 2010 se midieron las plantas de ensayo del mismo modo que en Las Golondrinas, aunque el diámetro con una precisión de 0,1 mm.

### Análisis de datos

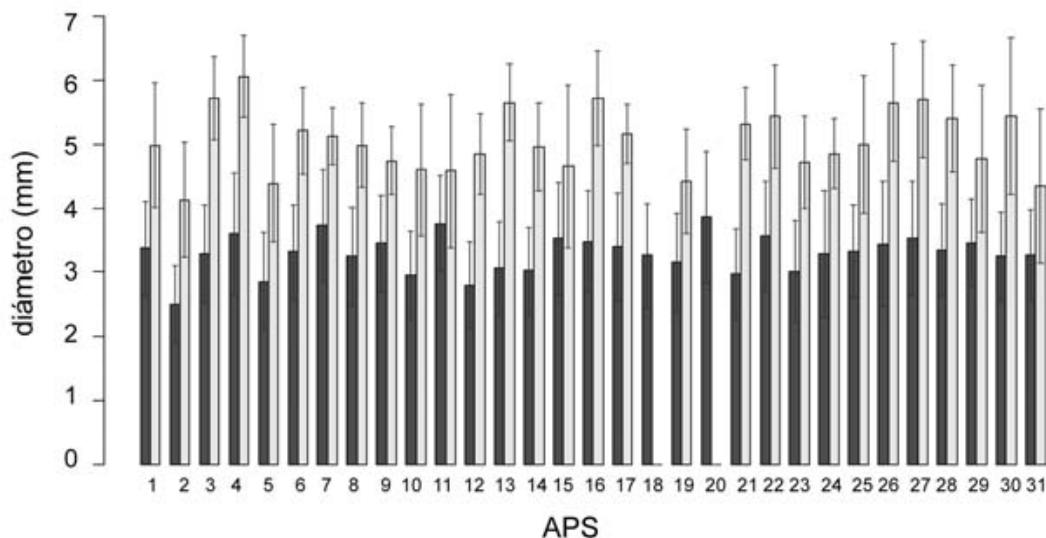
Se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) para cada una de las dos variables por separado mediante el siguiente modelo estadístico lineal mixto:

$$y_{ijkm} = \mu + \gamma_i + \alpha_j + \gamma_i \alpha_j + p_{ijkm} + e_{ijk}$$

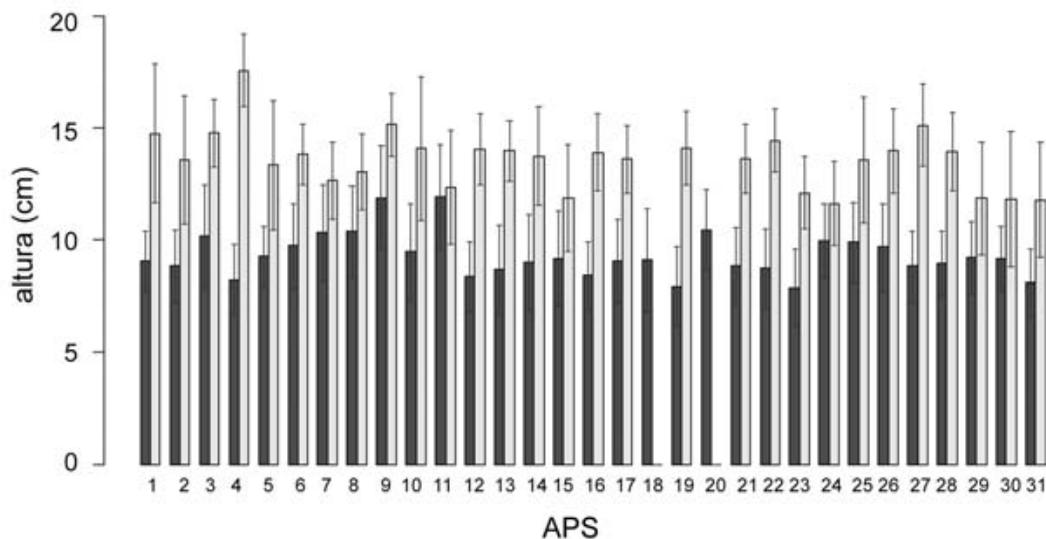
donde  $y_{ijkm}$  es una observación de la variable en consideración para la  $m$ ésima planta del  $i$ ésimo ensayo de la  $j$ ésima APS ubicada en la  $k$ ésima parcela;  $\mu$  es la media general de la variable en consideración;  $\gamma_i$  es el efecto (fijo) del  $i$ ésimo ensayo;  $\alpha_j$  es el efecto (fijo) de la  $j$ ésima APS;  $\gamma_i \alpha_j$  es el efecto (fijo) de la interacción entre el  $i$ ésimo ensayo y la  $j$ ésima APS;  $p_{ijkm}$  es el error de la subparcela  $NID(0, \sigma_p^2)$  y  $e_{ijk}$  es el error de la parcela principal  $NID(0, \sigma_e^2)$ .

Las pruebas estadísticas se llevaron a cabo con el procedimiento MIXED de SAS 9.1 (SAS/STAT® software), que utiliza algoritmos REML, y los parámetros descriptivos de media y dispersión de los datos con el procedimiento MEANS del mismo programa. Los gráficos de barras se confeccionaron con el programa R (R Development Core

A



B



**Figura 2.** Promedio y su correspondiente desvío estándar para el diámetro y altura de las plántulas de Pino Ponderosa según sitio de ensayo y APS (barras oscuras: ensayo de Las Golondrinas, barras grises: ensayo de Trevelin; ver tabla 1 para identificación de APS).

Team, 2011). Los supuestos de normalidad fueron comprobados a través de histogramas y gráficos de probabilidad normal de los residuales, y la homocedasticidad con gráficos de residuales vs. valores predichos por el modelo. Para llevar a cabo todas las comparaciones posibles de a pares entre las APS, se realizó una prueba de Bonferroni para cada variable por medio del macro PDMIX800 de SAS (Saxton, 1998). Con el orden de las medias predichas por el modelo se confeccionaron los rankings para altura y diámetro. Con la ayuda del procedimiento CORR de SAS

9.1 se calculó la correlación entre ambas variables y entre ambos rankings.

En el caso de verificarse interacción entre las APS y los sitios, resulta relevante estimar la estabilidad de su performance, o sea, el grado en que su condición de buena o mala APS se mantiene de un sitio a otro (e.g. Alia *et al.*, 1995; Marlats *et al.*, 2004). Para esto, se utilizará la aproximación de Wricke (1962) a través del cálculo de las ecovalencias (W). Este parámetro, mide la contribución de una

Ensayo Golondrinas					Ensayo Trevelin									
Altura Total		Diámetro al Cuello			Altura Total					Diámetro al Cuello				
APS	Grupos	APS	Gr.		APS	Grupos	APS	Grupos	APS	Grupos	APS	Grupos	APS	Grupos
Junín R10	A	Golondr	A		SanPe R1	A					SanPe R1	A		
Junín R12	A	Junín R10	A		Junín R12	B					SanPe R2	A B		
Golondr	A B	AbraAn R5	A		EAFT R17e	B					MallinAho	A B		
AbraAn R8	A B	SanPe R1	A B		SanPe R2	B C					EAFT R17e	A B		
AbraAn R5	A B C	EpuYén	A B		IFONA 85	B C					EAFT R21	A B		
SanPe R2	A B C D	El Foyel	A B		EpuYén	B C D					CaciqFoyel	A B		
EAFT R7b	A B C D	EAFT R17e	A B		Va. Turismo	B C D E					EAFT R23	A B C		
EAFT R61	A B C D	MallinAho	A B		Junín R6	B C D E					EpuYén	A B C		
AbraAn R1	A B C D	EAFT cort	A B		Lolog R2	B C D E					EAFT R17b	A B C D		
EAFT R21	A B C D	Junín R12	A B		EAFT R21	B C D E F					ClubHípico	A B C D E		
Junín R6	B C D	EAFT R21	A B		CaciqFoyel	B C D E F					AbraAn R1	B C D E		
AbraAn R10	B C D	CuestaTern	A B		EAFT R17b	B C D E F					CuestaTern	B C D E F		
EAFT cort	B C D	IFONA 85	A B		MallinAho	B C D E F					AbraAn R5	B C D E F		
El Foyel	B C D	EAFT R17b	A B		AbraAn R1	B C D E F					EAFT R61	B C D E F G		
EAFT R23	B C D	EAFT R61	A B		LosRepollos	B C D E F					IFONA 85	B C D E F G		
CFGSM P30	B C D	SanPe R2	A B		ClubHípico	B C D E F					AbraAn R8	B C D E F G		
CuestaTern	B C D	AbraAn R1	A B		CuestaTern	B C D E F					LosRepollos	B C D E F G		
IFONA 85	B C D	EAFT R27	A B		EAFT R61	B C D E F					EAFT R7b	C D E F G H		
LosRepollos	B C D	EAFT R23	A B		EIManz R16	B C D E F					Lolog R2	C D E F G H		
EAFT R17b	B C D	CFGSM P30	A B		AbraAn R10	B C D E F					EAFT cort	C D E F G H		
ClubHípico	B C D	AbraAn R8	A B		AbraAn R8	B C D E F					Junín R12	C D E F G H		
EIManz R16	B C D	EAFT R7b	A B		AbraAn R5	C D E F					EAFT R3	C D E F G H		
EAFT R17e	B C D	Va. Turismo	A B		Junín R10	C D E F					El Foyel	D E F G H		
EpuYén	B C D	CaciqFoyel	A B		EAFT R3	D E F					Junín R6	E F G H		
CaciqFoyel	B C D	LosRepollos	A B		El Foyel	E F					Junín R10	E F G H		
MallinAho	B C D	EAFT R3	A B		EAFT cort	E F					Va. Turismo	F G H		
Lolog R2	B C D	ClubHípico	A B		EAFT R23	E F					AbraAn R10	F G H		
SanPe R1	B C D	Junín R6	A B		EAFT R27	E F					EAFT R27	G H		
EAFT R27	C D	AbraAn R10	A B		EAFT R7b	F					EIManz R16	H		
EAFT R3	D	Lolog R2	A B											
Va. Turismo	D	EIManz R16	B											

**Tabla 2.** Ranking de APS de Pino Ponderosa según media de altura total y diámetro al cuello de plantas en los ensayos de Las Golondrinas y Trevelin. Letras distintas indican diferencias significativas en las comparaciones de a pares.

determinada entidad genética ensayada (las APS en este caso) a la interacción genotipo X ambiente. Esto toma la siguiente expresión matemática:

$$W_i = \left[ \sum_{j=1}^J (Y_{ij} - Y_{i.} - Y_{.j} + Y_{..})^2 \right] \times N_i / J$$

donde  $W$  es la ecovalencia de la APS  $i$ ;  $Y_{ij}$  es la media de la APS  $i$  en el ensayo  $j$ ,  $Y_{i.}$  es la media de la APS  $i$  en ambos ensayos,  $Y_{.j}$  es la media de todas las APS en el ensayo  $j$ ;  $Y_{..}$  es la media de todas las APS en ambos ensayos,  $N_i$  es el

número total de plántulas de la APS  $i$  incluidas en los dos ensayos, y  $J$  es el número de sitios de ensayo, en este caso 2. Valores cercanos a 0 sugieren estabilidad genética. Los valores de  $W_i$  se presentan en términos de porcentaje ( $W_i\%$ ) de la sumatoria de las ecovalencias de todas las APS, lo que es equivalente a la suma de cuadrados para la interacción.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el ensayo de Trevelin, bajo el sistema de cultivo II, las plantas lograron un mayor tamaño (media general del ensayo:  $h_{\text{Trev}} = 13,6$  cm;  $d_{\text{Trev}} = 5,05$  mm) que en el ensayo de Las Golondrinas, bajo el sistema I (media general del ensayo:  $h_{\text{Gol}} = 9,3$  cm;  $d_{\text{Gol}} = 3,31$  mm) (figura 2). El repique, probablemente, es la causa de la menor performance en valores de crecimiento inicial, ya que este procedimiento podría estar actuando como un factor de estrés del que estaría exento el sistema de cultivo II.

Asimismo, la dispersión de los datos en el ensayo de Trevelin fue menor que en el ensayo de Las Golondrinas, tanto para la altura como para el diámetro (figura 2). La media entre las APS de los coeficientes de variación para altura en Trevelin fue:  $CVh_{\text{Trev}} = 15,3$  y para diámetro  $CVd_{\text{Trev}} = 16,6$ ; mientras que en Las Golondrinas fue:  $CVh_{\text{Gol}} = 19,4$  y  $CVd_{\text{Gol}} = 23,8$ . Esto puede deberse también a los distintos sistemas de cultivo. Es posible que en el caso de Las Golondrinas la siembra sin diseño experimental y la manipulación de las plantas en el proceso de repique agreguen fuentes de variación ambiental adicionales que provoquen esta mayor dispersión.

Los ANOVA permitieron probar para ambas variables una interacción significativa entre el efecto de los sitios y las APS ( $Ph_{\text{Ensa} \times \text{APS}} < 0,001$ ;  $Pd_{\text{Ensa} \times \text{APS}} < 0,001$ ), y se determinó que la diferencia entre las APS fue distinta en cada sitio. Con la apertura de esta interacción, se comprobaron diferencias significativas entre las APS dentro de cada sitio para las medias de ambas variables (en Las Golondrinas:  $Ph_{\text{APS}} < 0,001$ ;  $Pd_{\text{APS}} = 0,011$ ; en Trevelin:  $Ph_{\text{APS}} < 0,001$ ;  $Pd_{\text{APS}} < 0,001$ ). Este resultado central del estudio indica que no es lo mismo utilizar semillas de cualquier rodal comercial y que, aun sin mayor esfuerzo de selección, se verifican diferencias entre las APS a tan temprana edad.

El resultado de las comparaciones de a pares se presenta en la tabla 2. Lo que se observa en general en estas comparaciones es que las APS que se diferencian son pocas. Sólo una o unas pocas de ellas son significativamente mejores o peores que algunas otras, dependiendo incluso de las variables y de los ensayos. Por lo tanto, algunas APS que resultaron buenas según su crecimiento en altura no lo fueron según su crecimiento en diámetro (e.g. Junín Rodal 12 en el ensayo de Trevelin) o viceversa (e.g. San Pedro Rodal 1 en el ensayo de Las Golondrinas). Existe una correlación significativa entre altura y diámetro, pero moderada ( $P < 0,001$ ;  $r = 0,64$ ). Asimismo, también se observó que algunas que resultaron buenas en un ensayo no lo fueron en el otro (e.g. San Pedro Rodal 1 para altura).

	Ecoval altura %	APS	Ecoval diámetro %
EAFT R21	0,02	CuestaTern	0,04
AbraAn R10	0,04	AbraAn R8	0,06
AbraAn R1	0,05	EAFT R61	0,14
EAFT R3	0,06	EAFT R3	0,17
CuestaTern	0,10	Junín R6	0,27
Junín R6	0,16	EpuYén	0,33
LosRepollos	0,27	AbraAn R1	0,33
ClubHípico	0,36	IFONA 85	0,39
EAFT R27	0,40	EAFT R7b	0,54
EAFT R61	0,41	LosRepollos	0,56
EAFT R17b	0,58	AbraAn R10	0,78
SanPe R2	0,65	Lolog R2	1,35
CaciqFoyel	1,27	EAFT R17b	1,54
Junín R12	1,27	AbraAn R5	2,11
MallínAho	1,73	EAFT R17e	2,82
Lolog R2	2,18	EAFT R23	2,95
EpuYén	2,45	EAFT cort	2,99
IFONA 85	2,47	EAFT R21	3,41
EAFT R23	3,00	Junín R12	3,55
El Foyel	3,01	MallínAho	3,73
AbraAn R8	3,09	Va. Turismo	3,79
EAFT cort	3,12	ClubHípico	6,16
Va. Turismo	3,68	El Foyel	6,27
EIManz R16	4,04	EIManz R16	6,92
AbraAn R5	4,44	EAFT R27	7,44
EAFT R17e	4,73	SanPe R2	7,46
AEFT R7b	7,90	SanPe R1	8,58
Junín R10	17,39	CaciqFoyel	11,56
SanPe R1	31,12	Junín R10	13,75

**Tabla 3.** Valores de ecovalencia para cada una de las APS de Pino Ponderosa incluidas en los ensayos de Las Golondrinas y Trevelin.

Sin embargo, pese a la baja diferenciación descripta entre APS, en el ensayo de Trevelin pueden distinguirse algunas APS consistentemente ubicadas entre las mejores y otras entre las peores para ambas variables. Esta observación se verifica con el cálculo de la correlación entre los rankings establecidos por altura y diámetro, que aunque baja ( $r = 0,44$ ) es significativa ( $P = 0,016$ ). Así, tenemos para ambas variables a las APS San Pedro Rodal 1, San Pedro Rodal 2 y EAFT Rodal 17e entre las mejores, y a EAFT Rodal 27 y El Foyel entre las peores. En el caso del ensayo de Las Golondrinas, no se pudo probar correlación entre los rankings de ambas variables ( $P = 0,088$ ).

En la tabla 3 se presentan las ecovalencias calculadas para cada una de las APS (excepto las ensayadas sólo en Las Golondrinas). Se puede asumir que aquellas con valores porcentuales de ecovalencia menores a 2 muestran una alta estabilidad genotípica, ya que su aporte a la interacción genotipo X ambiente es muy bajo.

Al combinar los rankings por altura y diámetro con los valores de ecovalencia se pueden destacar algunas APS. EAFT Rodal 3 y EAFT Rodal 27, están entre las peores, tanto para altura como para diámetro, y también entre las más estables (salvo la segunda para diámetro). San Pedro Rodal 1 y San Pedro Rodal 2, están entre las mejores para ambas variables en Trevelin, pero no sucede lo mismo en Las Golondrinas, lo que se ve reflejado en su baja estabilidad. Junín Rodal 12 es una de las APS con mayor crecimiento en altura en ambos ensayos, por lo que el valor de su ecovalencia acusa una alta estabilidad, pero en cuanto a diámetro promedia el ranking con una ecovalencia moderada. Algo similar ocurre con EAFT Rodal 21, con una mejor performance en su crecimiento diamétrico.

Adicionalmente a los rankings establecidos entre las 29 APS ensayadas en ambos sitios, se destaca una de las dos que pudieron ser incluidas sólo en el ensayo de Las Golondrinas: la homónima Las Golondrinas y CFGSM P30. De ellas, Las Golondrinas resultó ser la de diámetro más grueso y tercera en el ranking de altura. Aunque no se puede evaluar su estabilidad, su buena performance amerita a que sea particularmente tenida en cuenta en futuros ensayos.

Finalmente, las observaciones comparativas logradas mediante estos dos ensayos sirven para interpretar tendencias, pero la escasa diferenciación entre las APS ensayadas y la dispersión de datos inflada en uno de los ensayos indican que estos resultados son preliminares. Con estas plantas, se han establecido recientemente ensayos de plantación que permitirían, en los próximos años, lograr una mayor precisión en la discriminación entre las APS. Sin embargo, haber probado diferencias en tan temprana edad alienta a esperar probarlas de un modo más contundente en edades más avanzadas.

## CONCLUSIONES

En base a los resultados, pudieron probarse diferencias significativas entre las APS. Entre las locales más promisorias se encuentran Junín Rodal 12, EAFT Rodal 21 y San

Pedro Rodal 1. No obstante, aún restan algunos años más de estudio para contar con conclusiones que permitan hacer recomendaciones útiles para la selección y el uso de las APS locales de Pino Ponderosa.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Silvia Focarazzo y a Matías Fariña por la provisión de semillas de algunas de las APS ensayadas. Este estudio ha sido financiado con el proyecto nacional de INTA "Mejoramiento genético de pinos subtropicales y templados para usos de alto valor" (PNFOR1201).

## BIBLIOGRAFÍA

- ALIA, R.; GIL, L.; PARDOS, J.A. 1995. Performance of 43 *Pinus pinaster* Ait. provenances on 5 locations in Central Spain. *Silvae Genetica* 44: 75-81.
- CFI, Ministerio de la Producción de la Provincia de Neuquén, FUNDAFAEP. 2009: Inventario del bosque implantado de la Provincia del Neuquén. Consejo Federal de Inversiones. Buenos Aires, 63 pp.
- INASE. 1999: Resolución 256: Normas para la certificación, producción, comercialización e importación de semillas de especies forestales. URL: ([http://www.inase.gov.ar/index.php?option=com\\_remository&Itemid=102&func=startdown&id=468&lang=en](http://www.inase.gov.ar/index.php?option=com_remository&Itemid=102&func=startdown&id=468&lang=en), verificado 27 de septiembre de 2011).
- INASE. 2009: Resolución 207: Requerimientos mínimos para la aprobación del material reproductivo forestal a certificar como seleccionado y como calificado (de acuerdo al capítulo XI de la Res. INASE 256/99). URL: ([http://64.76.123.202/site/forestacion/\\_archivos/\\_viveros/res%20207008.pdf](http://64.76.123.202/site/forestacion/_archivos/_viveros/res%20207008.pdf), verificado: 27 de septiembre 2011).
- LOGUERCIO, G.A.; DECCECHIS, F. 2006a. Forestaciones en la Patagonia Andina: potencial y desarrollo alcanzado. *Patagonia Forestal* 12(1): 4-6.
- LOGUERCIO, G.A.; DECCECHIS, F. 2006b. Forestaciones en la Patagonia Andina: potencial y desarrollo alcanzado. *Patagonia Forestal* 12(2): 4-8.
- MARLATS, R.M.; SENISTERRA, G.E.; LANFRANCO, J.W.; MARQUINA, J.L.; VAZQUEZ, M.E. 2004. *Populus* spp.: Estabilidad y ganancia genética sobre la altura media dominante en tres ambientes de la pampa ondulada, Argentina. *Rev. FCA UNCuyo* 1: 9-16.
- MARTINEZ-MEIER, A.G.; GALLO, L.A.; MONDINO, V. 2005. Estrategia de mejoramiento de pino ponderosa y pino oregón. *IDIA XXI* 8: 185-190.
- MONDINO, V.; MARTINEZ-MEIER, A.G.; GALLO, L.A. 2003. Mejoramiento genético en pino ponderosa y pino oregón. *Patagonia Forestal* 9(1): 6-8.
- MONTE, C.; LACLAU, P. 2010. Disponibilidad de tierras para la forestación con coníferas en los departamentos Minas y Aluminé, Neuquén. Ediciones INTA. Mar del Plata, 25 pp.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. 2011. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL: (<http://www.R-project.org>, verificado: 27 de septiembre 2011).
- SAXTON, A.M. 1998. A macro for converting mean separation output to letter groupings in Proc Mixed. In Proc. 23<sup>rd</sup> SAS Users Group Intl., SAS Institute, Cary, NC, pp1243-1246.
- WHITE, T.L.; ADAMS, W.T.; NEALE, D.B. 2007. Forest Genetics. CABI Publishing, Wallingford. 682 pp.
- WRICKE, G. 1962. Über eine Methode zur Erfassung der Ökologischen Streubreite in Feldversuchen. *Z. Pflanzenzüchtung* 47: 92-96.