

# Piñones de pino (*Pinus pinea*) y trufa de Borch (*Tuber borchii*): una alternativa atractiva en un contexto de cambio climático

Delard, Claudia<sup>1\*</sup>; Loewe, Verónica<sup>1,2</sup>; Del Río, Rodrigo<sup>2</sup>; Gregori, Gianluigi<sup>3</sup>; González, Marta<sup>4</sup>; Cartes, Eduardo<sup>4</sup>; Acevedo, Manuel<sup>4</sup>; Balzarini, Mónica<sup>5</sup>.

<sup>1</sup> Instituto Forestal, Sucre 2397, Ñuñoa, Santiago, Chile. <sup>2</sup> Centro Nacional de Excelencia para la Industria de la Madera (CENAMAD), Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

<sup>3</sup> Centro Sperimentale di Tartuficoltura, Sant'Angelo in Vado, Italia. <sup>4</sup> CTPF, Instituto Forestal, Concepción, Chile. <sup>5</sup> Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

\*cdelard@infor.cl

## INTRODUCCIÓN

La mayoría de las plantas desarrollan micorrizas naturalmente, las que incrementan la capacidad de las plantas para explorar el suelo (Smith y Read 2008), mejoran su resistencia al estrés hídrico y a temperaturas extremas, y aumentan la sobrevivencia y crecimiento después del establecimiento (Yin et al. 2018). Las especies del género *Tuber* establecen asociaciones ectomicorrízicas; algunas de ellas producen trufas, delicias gourmet. *T. magnatum* y *T. melanosporum* son las más caras, seguidas de *T. aestivum* y *T. borchii*. *T. borchii* se distribuye ampliamente en Europa (Leonardi et al. 2017) y también se ha cultivado con éxito en hábitats no nativos (Puliga et al. 2021), recientemente Chile. La trufa de *T. borchii* es apreciada por su aromático perfume a ajo (Bagioni et al. 2016), con un valor comercial que oscila entre 150 y 400 € kg<sup>-1</sup> (Morcillo et al. 2017). Se asocia con varias especies forestales (*P. nigra*, *Corylus avellana*, *Quercus ilex*, *Q. suber*) y en especial con pino piñonero (*P. pinea*), especie mediterránea resistente a la sequía, que puede crecer en suelos arenosos y pobres. Produce piñones comestibles de alta demanda mundial (Segura et al. 2006). Por ello se propuso la asociación de *P. pinea* y *T. borchii* para desarrollar la truficultura en tierras marginales y diversificar la producción (Bagnacavalli et al. 2012). En Chile, se han plantado más de 4.000 ha de pino piñonero; en cuanto a trufas, se ha cultivado principalmente *T. melanosporum*. La asociación de *P. pinea* y *T. borchii*, en estudio en Chile central desde el 2017, es prometedora dada la alta adaptabilidad ecológica tanto de la trufa como del pino piñonero. Se evaluó el efecto de la inoculación con *T. borchii* y la fertilización en plantas de *P. pinea* producidas en vivero y 1 año después del establecimiento en un ensayo multi ambiental (MET) en siete sitios en Chile central.

## MATERIAL Y MÉTODO

**Ensayo vivero:** diseño factorial completamente al azar, con 4 tratamientos (T1 inoculado fertilizado, T2 inoculado no fertilizado, T3 no inoculado fertilizado, T4 no inoculado no fertilizado) y 30 repeticiones. Las semillas se sembraron en arena esterilizada en invernadero. Treinta días después de la germinación, se inoculó el 50% de las plántulas con 2 g planta<sup>-1</sup> de *T. borchii*, y luego se trasplantaron a bolsas de 0,5 L con sustrato esterilizado (corteza de pino compostada ajustada a pH 7,0). La fertilización consideró macronutrientes vía fertirrigación, aplicándose al alcanzar 50% de la capacidad de retención. Cinco meses después de la inoculación (n=30) se midió la altura (cm) y el diámetro del cuello de la raíz (RCD) (mm). También se evaluó la micorrización de raíces en muestra al azar (n=9), observando la raíz bajo estereoscopio OMAX 2x-90x, identificando el manto, la red Hartig y los cistidios bajo el microscopio óptico OMAX 40x-2500x, según escala ordinal utilizada en Francia e Italia (Giraud 1988; Donnini et al. 2014): 0: 0%; 1: (1-20%); 2: (21-40%); 3: (41-60%); 4: (61-80%); 5: (81-100%) de ápices radiculares micorrizados con *T. borchii*. Ocho meses después de la inoculación se obtuvo biomasa seca de tallo, raíz y follaje (n=4), con la que se calcularon índices de calidad de plantas: relación biomasa aérea seca (ADB) (g)/biomasa seca de la raíz (RDB) (g), cociente de robustez (SQ) (altura (cm) /RCD (mm)) (Thompson 1985), e índice de calidad de Dickson (DQI).

**Ensayo en campo:** nueve meses después de la inoculación, las plantas se establecieron a 6 x 6 m en un MET con siete localidades (Cuadro 1). El diseño fue en bloques completos al azar evaluando los mismos tratamientos T1 a T4, con 4 repeticiones y 2 hileras de borde alrededor de cada parcelas. El suelo se subsoló a 30-40 cm de profundidad.

En campo, un año después de la plantación, se midieron las plantas para evaluar el crecimiento, la supervivencia y el estado de micorrización.

**Análisis estadístico:** para evaluar los efectos de la inoculación, fertilización y su interacción en el crecimiento y la calidad de plantas en vivero se realizó ANOVA para variables respuesta: altura, RCD, SQ, DQI, ADB/RDB y macro y micronutrientes en acículas. Se utilizó la prueba LSD de Fisher con corrección de Bonferroni para comparar medias entre tratamientos ( $\alpha=0,05$ ). Se obtuvo un diagrama de caja de altura y RCD para describir la morfología de plantas.

Se analizó la altura, CD y RCD de las plantas establecidas en campo mediante un ANOVA con dos tratamientos. La micorrización evaluada en plántulas y plantas inoculadas un año después de la plantación se analizó mediante ANOVA no paramétrico de una vía (Conover 1999). Los análisis estadísticos se realizaron con el software InfoStat (Di Rienzo et al. 2021) y su interfaz con R (www.r-project.org).

Cuadro 1. Descripción de sitios del ensayo multiambiental

Descripción Sitio	Unidad	Ambiente						
		Pirque	Estrella	Cabrero	Yumbel	Ángeles	Villarrica	Explorador
Ubicación								
Latitud		33°42'38"S	34°12'29"S	36°56'42"S	36°57'27"S	37°31'58"S	39°12'14"S	46°35'34"S
Longitud		70°34'33"W	71°38'1"W	72°28'54"W	72°33'50"W	72°32'39"W	72° 8'33"W	72°53'15"W
Altitud	m s.n.m.	686	213	113	127	100	295	300
Clima								
Precipitación	mm año <sup>-1</sup>	457	515	1,097	1,163	1,213	2,45	1,484
T° media	°C	20.1	18.8	18.4	18.2	17.7	15	6.5
Suelo								
pH		5.8	6.6	6.7	6.2	6.3	6.7	8.1
Arena	%	85	68	95	74	74	55	77
Limo	%	11	16	3	4	22	40	13
Arcilla	%	3	16	2	22	4	5	10
Mat. Orgánica	%	1.49	0.4	0.7	5.4	1.0	9.6	1.6

## RESULTADOS

En vivero la interacción inoculación-fertilización fue estadísticamente significativa para altura y DAC ( $p<0,05$ ) (Cuadro 2). El crecimiento en altura de las plantas fue mayor en los tratamientos fertilizados (Fig. 1).

**Cuadro 2. Tamaño de plantas de *P. pinea* y micorrización 5 meses, e índices de biomasa 10 meses después de la inoculación**

Ttat.	Altura (cm)	DAC (mm)	Micorrización	I. Esbeltez*	I. Dickinson	BSA/BSR **
T1 (I-F)	24.9±0.59 a	3.9±0.08 ab	4.1±0.51 a	6.2±0.11 a	0.73±0.04 b	1.96±0.07 a
T2 (I-NF)	17.8±0.25 c	3.4±0.10 c	3.4±0.47 a	5.2±0.11 b	0.49±0.02 c	1.66±0.04 bc
T3 (NI-F)	21.4±0.38 b	4.1±0.06 a	0.0±0.00 b	5.2±0.15 b	0.91±0.05 a	1.83±0.06 ab
T4 (NI-NF)	17.2±0.41 c	3.8±0.08 b	0.0±0.00 b	4.7±0.12 c	0.63±0.03 b	1.58±0.03 c

\*I. esbeltez= H (cm)/DAC (mm). \*\* BSA: biomasa seca aérea (g); BSR: biomasa seca raíz (g) ( $p<0,05$ ).

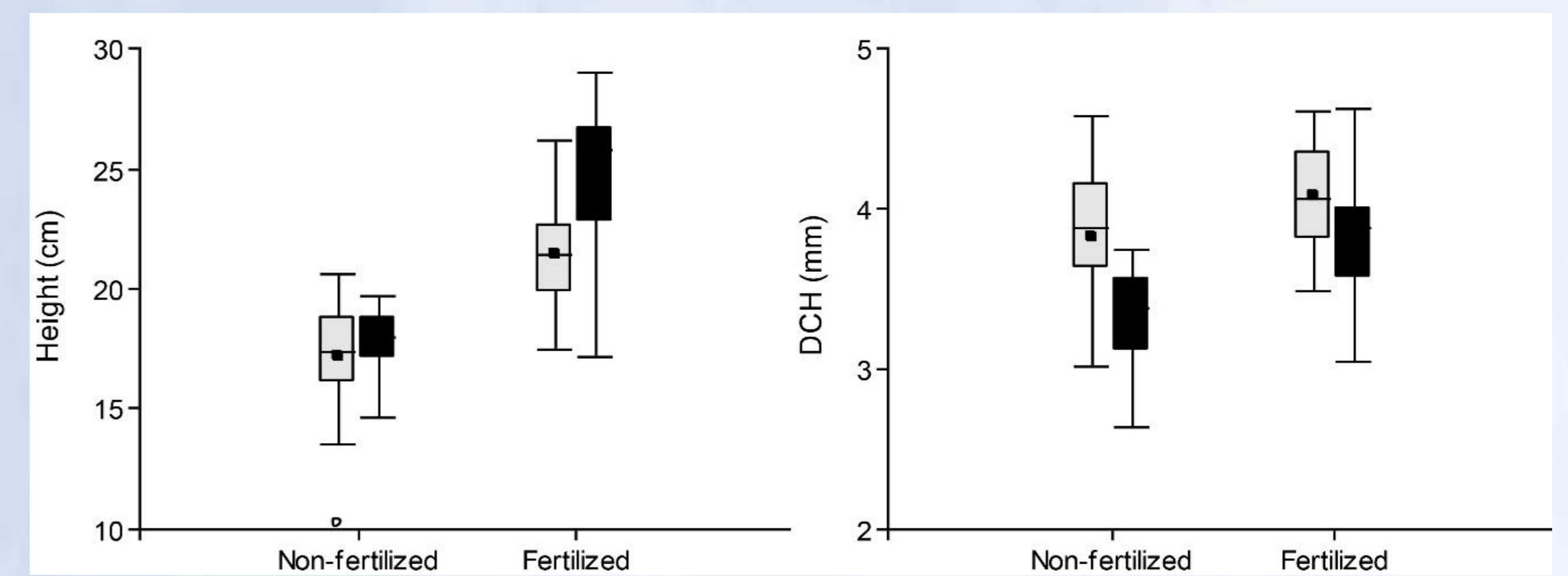


Fig. 1 Box plot de altura y DAC de plantas de *P. pinea* 5 meses después de inoculación con *T. borchii* (Gris: plantas no inoculadas, Negro: plantas inoculadas;  $p<0,05$ )

El crecimiento y la calidad de plantas de vivero se favoreció más por la fertilización que por la inoculación. La micorrización tuvo un efecto positivo solo en la altura. La fertilización aumentó el crecimiento de las plantas sin disminuir los niveles de colonización de trufas. Un año después del establecimiento en campo, los niveles de micorrización de *T. borchii* seguían siendo muy altos, incluso más que en vivero; la inoculación favoreció el crecimiento de las plantas; la fertilización no afectó el crecimiento de las plantas ni los niveles de micorrización.

**Cuadro 3. Tamaño de plantas de *P. pinea* un año después del establecimiento en campo**

Ensayo	Variable	Fertilizado		No fertilizado	
		Inoculado	No inoculado	Inoculado	No inoculado
Pirque	Altura (cm)	44.1±1.8 ab	39.3±1.9 c	46.0±1.7 a	40.5±1.9 bc
	DAC (mm)	6.3±0.4 b	5.7±0.4 b	7.9±0.4 a	6.4±0.5 b
	D.copa (cm)	14.1±1.1 b	14.3±1.2 ab	18±1.1 a	15.2±1.2 ab
Estrella	Altura (cm)	63.7±1.5 a	68.1±2.4 a	64.6±1.4 a	65.8±2.2 a
	DAC (mm)	24.4±0.9 a	26.8±1.5 a	24.4±0.9 a	25.9±1.4 a
	D.copa (cm)	41.5±1.3 b	48.7±2.2 a	44.4±1.3 ab	46.3±2.1 ab
Yumbel	Altura (cm)	44.5±1.5 a	41.5±1.6 a	35.6±1.4 b	32.5±1.8 b
	DAC (mm)	16.3±0.8 a	13.6±0.8 b	11.2±0.7 b	9.2±0.9 c
	D.copa (cm)	28.3±1.3 a	24.9±1.3 b	22.9±1.2 b	18.3±1.4 c
Cabrero	Altura (cm)	48.3±1.4 a	39.7±1.4 b	45.1±1.2 a	41.3±1.7 b
	DAC (mm)	17.6±0.8 a	13.2±0.8 c	15.7±0.7 ab	13.9±1.0 bc
	D.copa (cm)	33.1±2.3 a	26.2±2.3 bc	30.7±1.9 ab	24.8±2.7 c
Chacaico	Altura (cm)	42.2±1.4 a	44.9±1.7 a	42.7±1.3 a	41.2±1.8 a
	DAC (mm)	15.7±0.7 a	16.9±0.9 a	14.5±0.7 a	14.4±1.0 a
	D.copa (cm)	27.8±1.2 ab	30.7±1.5 a	25.0±1.2 b	25.0±1.5 b
Villarrica	Altura (cm)	48.8±1.5 a	41.1±1.4 b	44.2±1.3 ab	34.1±1.7 c
	DAC (mm)	11.7±0.5 a	9.8±0.5 b	11.7±0.4 a	9.4±0.5 b
	D.copa (cm)	20.7±0.9 a	19.2±0.9 a	19.1±0.8 a	14.0±1.0 b
Explorador	Altura (cm)	30.7±1.3 a	27.3±2.0 a	30.2±1.2 a	28.3±2.4 a
	DAC (mm)	10.1±0.5 a	8.4±0.7 bc	9.3±0.4 ab	7.7±0.8 c
	D.copa (cm)	15.8±0.9 a	12.3±1.4 bc	14.4±0.9 ab	10.4±1.7 c

## CONCLUSIONES

Los resultados indican la adaptabilidad del pino piñonero y *T. borchii* a diferentes ambientes para producir y establecer plantaciones productivas en hábitats no nativos.



**AGRADECIMIENTOS:** Fundación para la Innovación Agropecuaria (FIA) [Desarrollo de un modelo productivo combinado de trufa y piñones piñones, alternativa productiva rentable en un escenario de restricciones hídricas crecientes, PYT-2016-0038]; Ministerio de Agricultura de Chile [Desarrollo y aportes para el aprovechamiento de especies forestales y frutales de alto valor para Chile]; y ANID BASAL FB210015. Se agradece al Dr. Davide Sisti de la Universidad de Urbino por su asistencia en la certificación de micorrización de plantas en vivero.