



Características del crecimiento de una plantación adulta de *Abies pinsapo* en un sitio de Valdivia, Chile

Growth characteristics of an adult *Abies pinsapo* plantation at a site in
Valdivia, Chile

Eloi Escànez¹, Fernando Droppelmann* y Víctor Gerding¹

¹ Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias
Forestales y Recursos Naturales. Valdivia, Los Ríos,
Chile.

* Autor de correspondencia. fdroffel@uach.cl

RESUMEN

Abies pinsapo es una especie en peligro de extinción originaria del Mediterráneo (España y Marruecos), se encuentra en Chile como ornamental, pero en Valdivia existe una plantación experimental de 42 años que permite conocer su desarrollo como especie de interés forestal. Los objetivos del trabajo fueron caracterizar el rodal dasométricamente, analizar su crecimiento en diámetro, determinar la densidad básica de la madera y caracterizar el sotobosque, el mantillo y el arraigamiento. Mediante un censo de los árboles se midieron las variables de diámetro normal y basal y se estimaron las alturas. Se evaluó el crecimiento diametral según el ancho de anillos (muestras radiales de 5 mm de diámetro) y la densidad básica de la madera en muestras radiales de 12 mm de diámetro. Además, se caracterizó el sotobosque, el suelo, el mantillo y el arraigamiento. El clima local es más húmedo y frío que en su origen, pero adecuado para la especie. El suelo es estructuralmente adecuado, pero pobre en nutrientes. El rodal presentó 1830 árboles por hectárea, área basal de 105,6 m²/ha, diámetro medio cuadrático de 27 cm, altura dominante de 22 m y densidad básica promedio de la madera de 350 kg/m³. El sotobosque cubrió 9% y el mantillo presentó 40,5 Mg/ha de materia orgánica. El arraigamiento fino alcanzó hasta 1 m de profundidad, con alta concentración superficial (50% desde 0 cm hasta 21 cm). Se concluyó que *Abies pinsapo* se ha desarrollado mejor en Valdivia que en su hábitat natural, que su crecimiento diametral indicó mayor estrés por competencia que por limitaciones climáticas y que su madera fue de baja densidad básica.

PALABRAS CLAVE: crecimiento diametral, dasometría, dendrocronología, densidad de la madera, plantación experimental.

ABSTRACT

Abies pinsapo, an endangered species native to the Mediterranean (Spain and Morocco), is found in Chile as ornamental, but in Valdivia, there is a 42-year-old experimental plantation that allows us to know its development as a species of forestry interest. The objectives of the work were to characterize the forest biometrics of the stand, analyze its growth in diameter, determine the basic density of the wood, and characterize the understory, mulch, and rooting. Standard and basal diameter variables were measured using a census, and heights were estimated. Diametric growth was evaluated according to ring width (radial samples of 5 mm diameter) and basic wood density in radial samples of 12 mm diameter. In addition, understory, soil, mulch, and rooting were characterized. The local climate is wetter and colder than originally, but suitable for the species. The soil is structurally adequate but poor in nutrients. The stand had 1830 trees/ha, a basal area of 105.6 m²/ha, a mean square diameter of 27 cm, a dominant height of 22 m, and an average basic wood density of 350 kg/m³. The understory covered 9%, and the mulch presented 40.5 Mg/ha of organic matter. The fine rooting reached a depth of 1 m, with high surface concentration (50% in 0 cm - 21 cm). It was concluded that *Abies pinsapo* has developed better in Valdivia than in its natural habitat; its diametric growth indicated more significant stress due to competition than to climatic limitations, and its wood had low basic density.

KEYWORDS: diametric growth, forest biometrics, dendrochronology, wood density, experimental plantation.

INTRODUCCIÓN

El abeto pinsapo (*Abies pinsapo* Boiss.) es una especie en peligro de extinción, presente en ecosistemas de alta fragilidad (Gómez-Zotano et al., 2014), con una pequeña área de distribución natural en España (2350 ha) (Linares y Carreira, 2006) y Marruecos (3174 ha) (Guzmán, 2009), donde domina un clima mediterráneo (Esteban et al., 2010; Génova, 2007). En España, *A. pinsapo* crece en altitudes de 1000 m a 1800 m con precipitación de 660 mm a 1991 mm al año, de cuatro a cinco meses secos por año, temperatura media anual de 15,3 °C a 16,7 °C y temperatura mínima de hasta -9 °C. En el noroeste de Marruecos (Sierra de Tala-ssemstane), *A. pinsapo* crece en altitudes de 1400 m a 2100 m con precipitación anual de 880 mm, cuatro meses muy secos y temperatura media anual de 16,6 °C (Climate-data, 2018).

Los pinsapares crecen sobre suelos derivados mayoritariamente de roca caliza, aunque también de rocas ultrabásicas (Esteban et al., 2010; Linares et al., 2011). Los suelos son de los órdenes Entisol, Inceptisol y Mollisol (Linares y Carreira, 2006). En estos ecosistemas mediterráneos la humedad edáfica resulta limitante, ya que las sequías son frecuentes (Linares et al., 2010). Actualmente, los bosques de *A. pinsapo* están protegidos por ley en España y en Marruecos, mediante la prohibición de su tala, excepto para hacer cortafuegos, y está presente en numerosas áreas verdes urbanas de Europa (Esteban et al., 2010).

En Chile, *A. pinsapo* es una especie introducida como ornamental para áreas verdes urbanas y se le puede encontrar en algunas ciudades (Lozano y Teillier, 2014; Rodríguez y Rodríguez, 1981; Schlegel, 1985). También existen dos pequeños rodales experimentales de la Universidad Austral de Chile, establecidos en 1976 en las cercanías de la ciudad de Valdivia en un clima templado cálido sin meses secos (Santibáñez Quezada, 2017). Se sitúan en suelos Andisoles a baja altitud (9 m a 20 m s.n.m.). Uno de ellos fue estudiado por Cardalliaguet et al. (2019), quienes investigaron sobre el crecimiento radial y sus relaciones con el clima local, comparando con poblaciones naturales de España. El otro rodal, establecido en el predio Las Palmas, ubicado en la comuna de Valdivia, es motivo

del presente trabajo, porque permite evaluar la especie en su carácter forestal, sobre lo cual no hay información en el país, y podrá aportar para posibles futuras aplicaciones como conservación *ex situ* o introducción de especies mediante plantaciones forestales.

OBJETIVOS

Los objetivos del presente trabajo fueron caracterizar el rodal de *Abies pinsapo* dasométricamente, analizar su crecimiento en diámetro, determinar la densidad básica de la madera y caracterizar el sotobosque, el mantillo y el arraigamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y origen del rodal

El rodal se ubicó en el predio Las Palmas del Centro Experimental Forestal de la Universidad Austral de Chile, en la latitud 39°44'45,12" S y longitud 73°07'48,4" W, a 19 m de altitud (Fig. 1). Fue establecido en 1976 con plantas cuya viverización fue de cinco años, producidas a partir de semillas de pinsapares de Yunquera y Tolox, España (Cardalliaguet et al., 2019), correspondientes a la región de procedencia Ronda-Sierra de las Nieves (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2023). El rodal tiene 0,033 ha, está formado por siete filas de 11 árboles y espaciamiento aproximado de 2 m × 2 m, con densidad inicial de 2310 árboles por hectárea, la que permitió calcular la supervivencia actual en el rodal considerando el censo de árboles. Limita al norte con el camino de acceso y con plantaciones de *Pinus radiata* D. Don, al sur con un bosque nativo secundario de *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. y *Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst., al este con una plantación de *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl. y al oeste con una plantación de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. Ambas plantaciones de los flancos también fueron establecidas en 1976. Todas las mediciones en el rodal se realizaron en agosto de 2018 (42 años de edad) y los análisis se realizaron en laboratorios de la Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales de la Universidad Austral de Chile en septiembre y octubre del mismo año.



FIGURA 1. Izquierda: Ubicación del rodal de *Abies pinsapo* (delimitado con línea roja) en el predio Las Palmas, Valdivia, Chile. Derecha: Vista del interior del rodal.

Fuente del mapa: Google Earth. Coordenadas geográficas.

Clima

El clima es templado cálido mesotermal con régimen de humedad perhúmedo (Cfb1pH), con precipitación anual de 1947 mm, sin meses secos y con temperatura media anual de 11,9 °C. Presenta precipitación todo el año, acumulando 253 mm en los tres meses más secos del año (diciembre a febrero); carece de temperaturas medias bajo cero, registrando un promedio mensual de 6,9 °C en los tres meses más fríos del año (junio a agosto); y muestra un período de heladas seguras de siete meses, de abril a octubre, con posibilidad de dos meses más. El período superhúmedo corresponde a ocho meses, de abril a noviembre, con máximo en invierno y un descenso de la precipitación en verano (Cardalliaquet et al., 2019; Santibáñez Quezada, 2017).

Suelo

El rodal se desarrolla sobre un suelo Andisol, Duric Hapludand, de la serie Valdivia (Centro de Información de Recursos Naturales, 2003), formado por cenizas volcánicas holocénicas de depósito aluvial en una topografía de plana a ligeramente ondulada con pendiente de 2% y drenaje externo moderado. El suelo fue descrito según Schlatter et al. (2003) (Tabla 1). En cada horizonte se determinó: resistencia a la penetración (10 repeticiones) con penetró-

metro de bolsillo (Soil Test Inc. CL-700A); densidad aparente según método del cilindro (100 cm³) con tres repeticiones; y análisis químico nutritivo (Sadzawka et al., 2006). Mediante un retículo con celdas de 4 cm × 4 cm, se contabilizó el número de raíces finas (diámetro ≤ 2 mm) en 1 m² y se ajustó el modelo Gale y Grigal (1987) para describir la distribución radical en profundidad. Dicho ajuste para estimar los parámetros se realizó con el programa IBM SPSS Statistics (v 20), a través de un análisis estadístico de convergencia (IBM Support, 2018). Luego se utilizó una hoja de cálculo para la representación gráfica.

El suelo (Tabla 1) es muy profundo, de estructura subpoliédrica y masiva, baja densidad aparente, baja resistencia a la penetración y drenaje interno moderado, sin limitación en el espacio arraigable. La capacidad de agua aprovechable es muy elevada y el drenaje interno es moderado, lo que permite un buen régimen de agua. Igualmente, el régimen de aire es bueno, manifestado a través de colores en matices 10YR y 7.5YR, el drenaje interno es moderado y tiene gran profundidad de raíces; además, topográficamente se trata de un sitio sin acumulación de agua. El régimen nutritivo indica un suelo ácido y pobre en nutrientes disponibles, no obstante que es rico en materia orgánica (Tabla 2).

Rodal

Mediante el censo de los 60 individuos existentes se midió el diámetro normal (DN) y el diámetro basal (DB, a 0,30 m de altura). Se ajustó una regresión lineal (Hartung et al., 2002) que estimó el DN a partir del DB ($DN = 0,8452 \times DB$; $R^2 = 0,9974$, $P < 0,001$) para conocer el crecimiento del resto de los árboles, porque el análisis dendrocronológico se realizó en muestras basales. En 16 árboles de todo el intervalo diamétrico se estimaron sus alturas con hipsómetro y se ajustó una regresión lineal (Hartung et al., 2002) para estimar la altura de los demás árboles ($Altura = 6,1566 \times \ln(DN) - 0,8901$; $R^2 = 0,7311$, $P < 0,01$). Para el ajuste de las regresiones se utilizó el programa Microsoft Excel (V 11.28).

La calidad de los fustes consideró la presencia y altura de bifurcaciones, la altura de poda y signos de daños ento-

mopatológicos. No se evaluó la rectitud de los árboles, debido a que, salvo alguna excepción, todos los árboles eran rectos.

Se evaluó el crecimiento diametral mediante muestras de madera extraídas con una barrena Pressler (diámetro = 5 mm) en 18 árboles a 0,3 m de altura. Se extrajo una muestra por árbol, de corteza a corteza o de corteza a médula, dependiendo del diámetro del árbol, y fueron procesadas según Cardalliaguet et al. (2019). Se midió el ancho de los anillos mediante Measure J2X Program (Voor Tech Consulting, 2018), su fechado se realizó según dplR Program (Bunn, 2018) y se estandarizaron los datos mediante el software de Arstan Program (Cook y Krusic, 2005). Se obtuvieron 26 series de crecimiento que se agruparon en ocho árboles grandes ($DN > 30$ cm), 17 intermedios ($20 \text{ cm} \leq DN \leq 30 \text{ cm}$) y uno pequeño ($DN < 20$ cm). Los crecimientos corriente y medio del árbol de

TABLA 1. Descripción del perfil de suelo de un rodal de *Abies pinsapo* de 42 años de edad en Valdivia, Chile.

Profundidad (cm) y horizonte	Características	Perfil#
0-25 A	Color pardo oscuro (10YR 3/3); textura franca limosa; consistencia friable; estructura subpoliédrica media (2 mm - 5 mm) y granular. Raíces finas: denso (35 raíces por decímetro cuadrado). Capacidad de agua aprovechable: 85 mm. Drenaje interno moderado. Sin pedregosidad. Límite lineal, claro. Resistencia a la penetración*: (1,18 ± 0,35) kg/cm ² . Densidad aparente*: (0,61 ± 0,10) g/cm ³ .	
25-52 B1	Color pardo (7,5YR 4/3 - 10YR 4/3); textura franca arcillosa; consistencia de friable a muy friable; estructura masiva y granular. Raíces finas: mediano (20-10 raíces por decímetro cuadrado). Capacidad de agua aprovechable: 62 mm. Drenaje interno moderado. Sin pedregosidad. Límite lineal, gradual. Resistencia a la penetración*: (0,75 ± 0,22) kg/cm ² . Densidad aparente*: (0,54 ± 0,05) g/cm ³ .	
52-110+ B2	Color pardo amarillento oscuro (10YR 4/6); textura franca arcillosa; consistencia de friable a muy friable; estructura masiva y granular. Raíces finas: poco (10-2 raíces por decímetro cuadrado). Capacidad de agua aprovechable: 116 mm. Drenaje interno moderado. Sin pedregosidad. Resistencia a la penetración*: (0,80 ± 0,20) kg/cm ² . Densidad aparente*: (0,66 ± 0,10) g/cm ³ .	

*Promedio ± desviación estándar. #Segmentos del mango de la pala = 10 cm cada uno.

TABLA 2. Análisis químico del suelo de un rodal de *Abies pinsapo* de 42 años de edad en Valdivia, Chile.

Variable		Unidad	Horizonte A	Horizonte B1	Horizonte B2
Profundidad		(cm)	0-25	25-52	52-110+
pH	Agua		5,5	5,5	5,7
pH	KCl		4,8	5,4	5,5
C	Total	(%)	10,6	3	1,8
Materia orgánica		(%)	18	5	3
N	Total	(%)	0,53	0,15	0,1
C/N			20	20	18
P	Olsen		3	1	2
Na	Extraíble		25	15	21
K	Extraíble		232	46	23
Ca	Extraíble		281	26	136
Mg	Extraíble		89	22	20
S	Extraíble		55	9	43
B	Extraíble	(mg/kg)	0,62	0,14	0,12
Fe	Extraíble		255	256	378
Mn	Extraíble		73	9	25
Cu	Extraíble		5,2	2,3	2,5
Zn	Extraíble		1,0	0,6	0,8
Al	Extraíble		2.410	1.420	1.270
Al	Intercambio		32	4	2
Saturación aluminio		(%)	11,1	7,3	2,1
Na	Extraíble		0,11	0,07	0,09
K	Extraíble		0,59	0,12	0,06
Ca	Extraíble		1,41	0,13	0,68
Mg	Extraíble	(cmol+/kg)	0,73	0,18	0,17
Al	Intercambio		0,35	0,04	0,02
Suma bases	Extraíble		2,84	0,49	1,00
CICE	Extraíble		3,20	0,53	1,02

diámetro medio cuadrático (DMC = 27 cm) se obtuvieron promediando los tres árboles más cercanos a dicho diámetro. El índice de crecimiento, según Arstan Program (Cook y Krusic, 2005), de las 26 series fechadas, se relacionó gráficamente con la precipitación mediante datos de la estación meteorológica de la Universidad Austral de Chile (1975 a 2010)¹ y Dirección Meteorológica de Chile (2018).

Madera de los árboles

La densidad básica de la madera (peso anhidro/volumen verde) se obtuvo de 11 árboles intermedios (20 cm ≤ DN ≤ 29 cm) y grandes (DN ≥ 30 cm), en muestras diametrales a la altura del DN, mediante broca Treecorer de 12 mm de diámetro y largo de 50 cm, accionada con motor; no fueron considerados los árboles pequeños (DN < 20 cm). En cada

¹ Datos proporcionados por Robert Brümmer, Instituto de Ciencias de la Tierra, Universidad Austral de Chile.

muestra se separaron tres secciones: a) interior, desde la médula hasta el anillo seis, b) intermedia, los seis siguientes anillos y c) exterior, el resto de anillos. Mediante un análisis de varianza simple y la prueba de Scheffé, con $P < 0,01$ (Hartung et al., 2002), se compararon entre secciones del radio las medias de densidad básica de la madera. Estos análisis estadísticos fueron calculados con el programa Microsoft Excel (V 11.28). Para evaluar la posible duraminización, se aplicó verde bromocresol (Díaz-Vaz, 1985) y, después de tres minutos, se tomaron fotografías del color de la reacción a este producto para identificar la presencia de duramen (color amarillo) y de albura (color verde).

Sotobosque y mantillo

En 24 parcelas de $1 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ se identificaron las especies leñosas y herbáceas, se contaron los individuos y se midió su altura; también se estimó el porcentaje de cobertura del suelo. Mediante 12 parcelas circulares de $0,1 \text{ m}^2$ distribuidas homogéneamente en cuadrícula, se recogió el material del mantillo y se midió la profundidad de los horizontes Oi y Oe (no se presentó Oa). Se obtuvo el peso anhidro del material leñoso, foliar y fino no reconocible. En las parcelas de muestreo del sotobosque, se contabilizaron las bostas de

bovinos y equinos, ya que se encontró gran cantidad de ellas; se les midió su diámetro para calcular la superficie que ocupaban. Se hizo un análisis químico del mantillo (Sadzawka et al., 2007) en tres muestras mezcla, que incluyó el pH y la concentración de carbono, nitrógeno, fósforo, potasio y calcio; además, se calcularon las cantidades de elementos en el mantillo.

RESULTADOS

Características dasométricas del rodal

La densidad fue de 1830 árboles por hectárea, mostrando supervivencia de 79,2%, con DN promedio de 24,9 cm, DMC de 27 cm, área basal de $105,6 \text{ m}^2/\text{ha}$ y altura dominante de 22 m (Fig. 2). Las clases superiores de DN se encontraron junto al camino de acceso con marcado efecto de borde. Las clases diamétricas más pequeñas ($\text{DN} < 20 \text{ cm}$) pertenecían a la clase sociológica de suprimidos. El rodal también presentó 60 árboles por hectárea y $1,06 \text{ m}^2/\text{ha}$ de área basal de individuos de *N. obliqua* establecidos por regeneración natural. Estos árboles fueron excluidos de la tabla rodal. También se encontraron árboles muertos en pie, todos con $\text{DN} < 15 \text{ cm}$: 360 árboles por hectárea de *A. pinsapo* y 60 árboles por hectárea de *N. obliqua*.

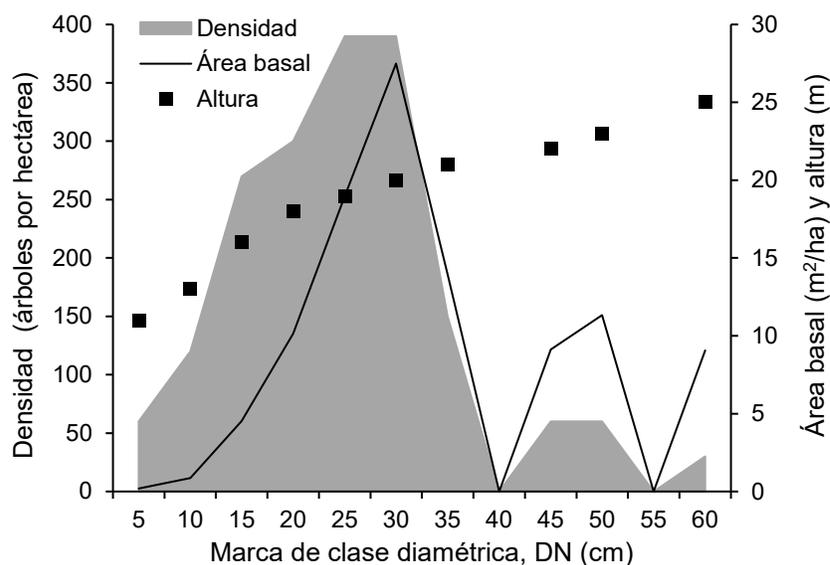


FIGURA 2. Rodal de *Abies pinsapo* de 42 años de edad en Valdivia: distribución diamétrica, área basal y altura.



Calidad de los fustes

Se observaron 8,2% de árboles bifurcados, la mayoría con el defecto a 5 m de altura y el resto a 9 m de altura. El rodal presentó poda hasta los 4 m de altura aproximadamente, con excepción de los árboles limitantes con el camino de acceso, los cuales tuvieron poda baja de aproximadamente 1 m de altura o no la recibieron. No se contó con información de fechas de poda; sin embargo, como las heridas de poda se encontraron cerradas, se estima que fueron realizadas en torno a dos décadas antes. No se observó poda natural. Los fustes no presentaron signos de daño entomopatológico.

Crecimiento diametral del fuste

El rodal presentó una etapa de establecimiento hasta los 16 años de la plantación (año 1992, DMC = 12 cm), cuando alcanzó su máximo crecimiento corriente diametral y se produjo el cierre de copas. En el período inicial, hasta los siete años de plantación (año 1983, DB = 2,5 cm) se aprecia bajo crecimiento (Fig. 3); tal período se reconoce como competencia interespecífica con malezas. El árbol pequeño alcanzó su máximo incremento anual en el año anterior que las categorías mayores, reflejando su restricción de recursos. El rodal mantuvo mayores tasas de crecimiento anual que en su hábitat natural durante casi una década, después de culminar su crecimiento, con algunas variaciones y descendiendo con mayor velocidad en las clases diamétricas menores. A los 25 años de la plantación (año 2001, DMC = 20 cm) empezó una disminución sostenida del crecimiento (Fig. 3), lo que se relaciona con una etapa de competencia intraspecífica. Desde los 32 años de la plantación (año 2008, DMC = 24 cm), se produjo una disminución general del crecimiento de todos los árboles, que fue más evidente en los árboles grandes, igualando el crecimiento diametral de los árboles intermedios hasta los 42 años de edad. Esto sugiere que el rodal presentó una etapa de competencia intraespecífica fuerte y que, entonces, los árboles habrían sufrido estrés (Fig. 3).

Relación del crecimiento en diámetro con el clima

Durante el período de crecimiento (Fig. 4), la precipitación anual promedio fue de 2234 mm, con mínimo de 1260 mm y máximo de 3140 mm. Durante la competencia interespecífica inicial y en la etapa de competencia intraespecífica fuerte, se apreció una relación directa entre el índice de crecimiento y la precipitación, porque los árboles estarían sometidos a mayores grados de estrés. En el período intermedio no se observó una relación clara entre el crecimiento y la precipitación.

Características de la madera

La densidad básica promedio de la madera fue de 350 kg/m³ y, según el análisis de varianza y la prueba de Scheffé ($P < 0,01$), tuvo un menor promedio en la sección intermedia y uno mayor en la interior y exterior (Tabla 3), porque estas últimas tuvieron anillos más estrechos con mayor proporción de madera tardía que en los anillos más anchos de la sección intermedia. Tanto la observación macroscópica como la tinción con verde bromocresol no evidenciaron presencia de duramen.

Sotobosque

El sotobosque del rodal cubrió solo 9% del suelo, en promedio, presentando 14 especies de plantas y la propia del rodal, con alturas de 5 cm a 115 cm. Las especies arbóreas fueron: *Blepharocalyx cruckshankii* (Hook. et Arn.) Nied., *Laurelia sempervirens* (Ruiz et Pav.) Tul., *Lomatia hirsuta* (Lam.) Diels, *Luma apiculata* (DC.) Burret y *Podocarpus saligna* D. Don., con un total de 6459 plantas/hectárea. *Abies pinsapo* presentó 5208 plantas por hectárea en la regeneración, con altura media de 9 cm. También se encontraron las especies arbustivas: *Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz, *Greigia sphacelata* (Ruiz et Pav.) Regel, *Myrcogenia parvifolia* (DC.) Kausel y *Rhaphithamnus spinosus* (Juss.) Moldenke; y las herbáceas/trepadoras: *Boquila trifoliata* (DC.) Decne., *Cissus striata* Ruiz et Pav., *Lapageria rosea* Ruiz et Pav., *Libertia calle calle* (Molina) Gunckel y *Luzuriaga*

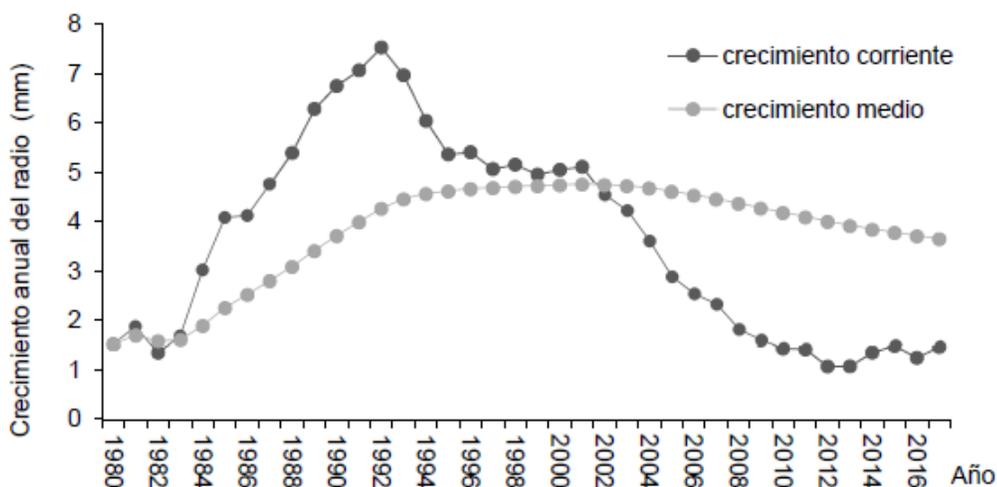
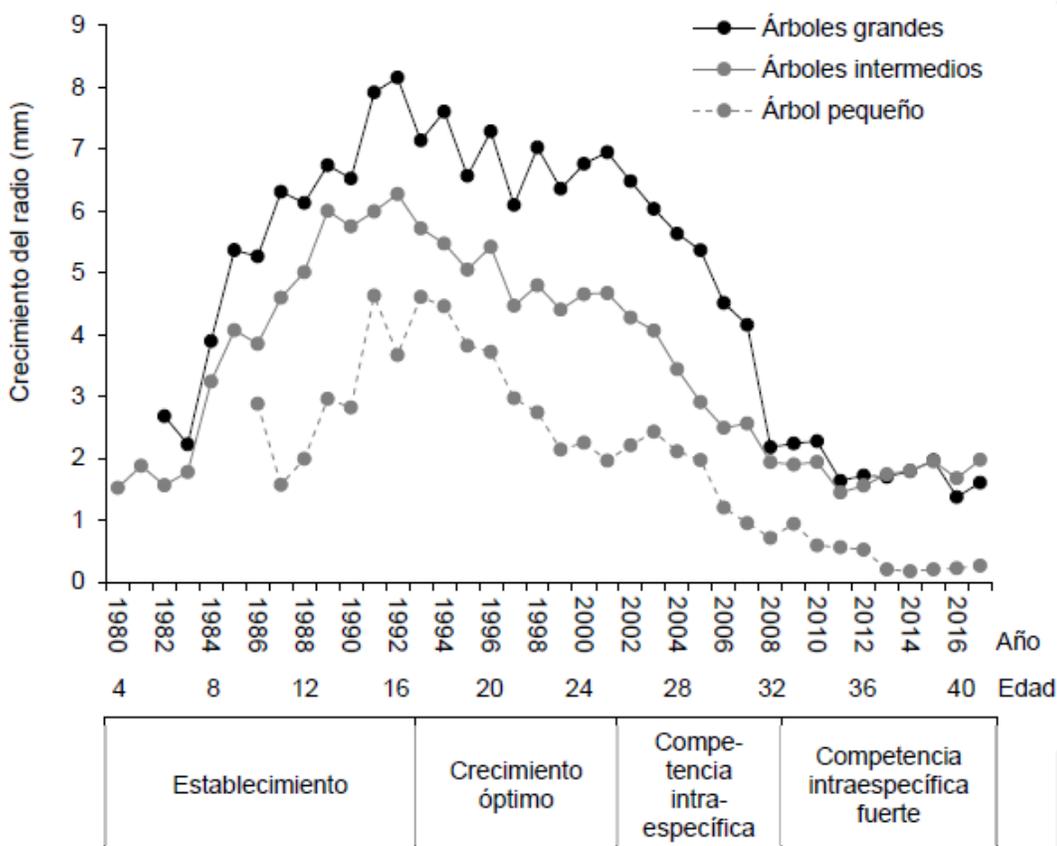


FIGURA 3. Crecimiento anual del radio de árboles de un rodal de *Abies pinsapo* de 42 años de edad en Valdivia. Arriba: Crecimiento corriente anual de árboles grandes ($DN \geq 30$ cm), intermedios ($20 \leq DN \leq 29$ cm) y un árbol pequeño ($DN < 20$ cm). Abajo: Crecimientos corriente y medio de los árboles del DMC.

Todos los datos de ancho de anillo corresponden a la base del árbol (30 cm de altura).

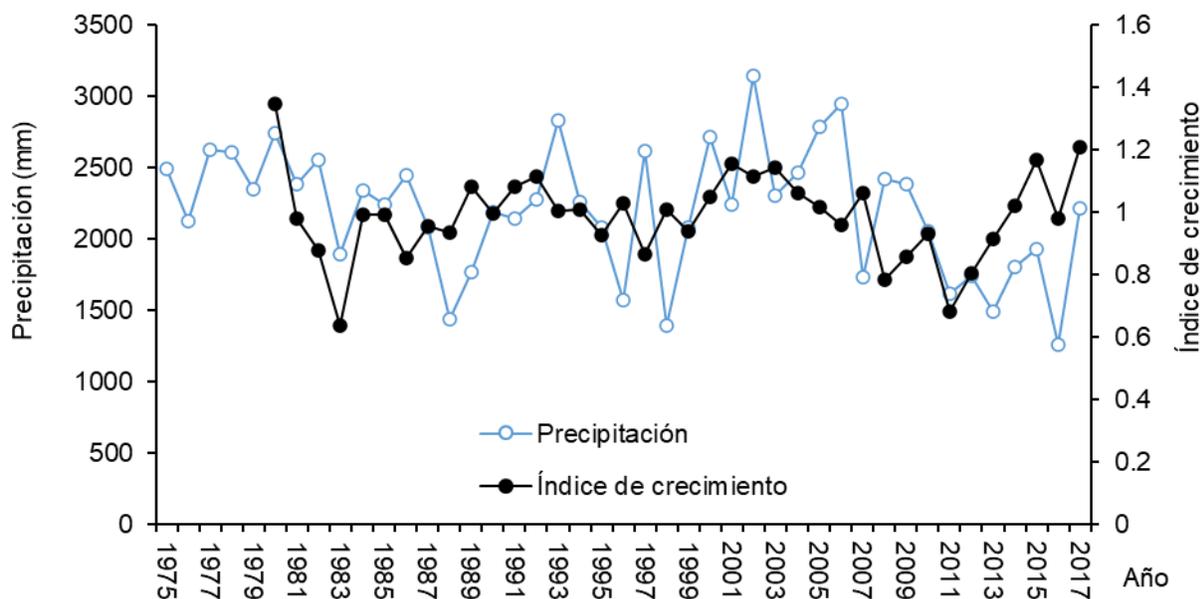


FIGURA 4. Índice de crecimiento de *Abies pinsapo* y precipitación anual en Valdivia durante los años de la plantación. Media de precipitación = 2173 mm; promedio del índice de crecimiento = 1,0.

TABLA 3. Densidad básica de la madera de *Abies pinsapo* de un rodal de 42 años de edad en Valdivia, Chile (n = 11).

Parámetro	Densidad básica (kg/m ³)			
	Sección interior	Sección intermedia	Sección exterior	Total
Promedio	349 b	316 a	369 b	350
Desviación estándar	18	18	26	18
Mínimo	326	284	329	319
Máximo	380	342	429	388

Letras distintas indican promedios significativamente diferentes (Scheffé, P < 0,01).

radicans Ruiz *et* Pav. El sotobosque fue alterado por ramoneo y pisoteo de ganadería bovina y equina. Las áreas de borde junto al camino y al bosque nativo del rodal tuvieron más variabilidad de cobertura y de especies que en el centro, debido a la presencia de luz de acceso lateral.

Mantillo

El horizonte O presentó un espesor promedio de 36 mm \pm 6 mm (Oi = 18 mm \pm 7 mm; Oe = 18 mm \pm 10 mm), formado principalmente por hojas y ramillas de *A. pinsapo*, con estructura de suelta a densa en profundidad, sin

arraigamiento o muy escaso en Oe y con hifas de hongos poco visibles. La forma de humus fue Moder mulliforme. En la superficie del mantillo o integrado a este se encontraron 5417 bostas por hectárea, cubriendo 1,14% de la superficie. El mantillo acumuló 40,5 Mg/ha de materia orgánica y presentó pH débilmente ácido en agua y moderadamente ácido en la solución de cloruro de potasio, baja relación nitrógeno/fósforo y alta cantidad de macronutrientes, especialmente nitrógeno, calcio y magnesio (Tabla 4).

TABLA 4. Mantillo del suelo de un rodal de *Abies pinsapo* de 42 años de edad en Valdivia, Chile: cantidades de materia orgánica y bioelementos; pH y relación N/P (n = 3).

Parámetro	Cantidades (kg/ha)						pH (agua)	pH (KCl)	N/P
	Materia orgánica	N	P	K	Ca	Mg			
Promedio	40.527	562	68	38	759	140	6,3	5,8	8,3
Desviación estándar	10.520	179	22	12	258	40	0,1	0,1	0,3

Raíces

En el suelo se apreció arraigamiento fino profundo (Fig. 5), con más de 30 raíces por decímetro cuadrado hasta los 25 cm de profundidad y menos de 5 raíces por decímetro cuadrado a 1 m de profundidad. Del arraigamiento fino, 50% se encontró en los primeros 21 cm de profundidad y 75% se alcanzó a los 43 cm, demostrando un arraigamiento con alta concentración superficial caracterizada por un bajo valor del coeficiente β (0,968) del modelo de Gale y Grigal (1987).

DISCUSIÓN

Abies pinsapo demuestra buena adaptación al clima más húmedo y frío de Valdivia en comparación con el de la zona de origen (Cardalliaguet et al., 2019). En Valdivia, el suelo Andisol del rodal es adecuado en espacio arraigable y regímenes de agua, aire y calor (Tabla 1), pero tiene un régimen de elementos nutritivos pobre (Tabla 2). Los pinsapares mediterráneos, en cambio, se desarrollan en suelos Entisoles, Inceptisoles y Mollisoles (Linares y Carreira, 2006), en laderas con mucha pendiente, afloramientos rocosos y poco suelo, pero con buen drenaje (Navarro Cerrillo et al., 2012). El sitio de la plantación de *A. pinsapo* en Valdivia es de buena calidad, demostrado con el alto crecimiento de la plantación en comparación con rodales del hábitat natural. El rodal de Valdivia mantiene una densidad alta debido a la elevada supervivencia de los árboles, lo cual también se aprecia en la gran área basal (Fig. 2). En cambio, en los pinsapares españoles de Sierra de Ronda, Yunquera y Tolox (Linares et al., 2010), con densidades del orden de 1700 árboles por hectárea, las áreas

basales alcanzan solo entre 18% y 36% de lo encontrado en Valdivia. En la Sierra de Grazalema (España) y la Sierra de Talassemtane (Marruecos) hay áreas basales mayores (Linares et al., 2011), pero no superan 53% de lo alcanzado en este estudio. La altura dominante de este rodal de Valdivia (Fig. 2) y de aquel evaluado por Cardalliaguet et al. (2019) (19 m) es mayor que en los pinsapares españoles (10 m a 14 m), pero menor que los marroquís, que pueden alcanzar los 50 m (Esteban et al., 2010). En todo caso, por la longevidad de la especie (Linares et al., 2011), es esperable que en Valdivia siga aumentando la altura de estos rodales plantados, porque todavía son relativamente jóvenes en comparación con los rodales evaluados en sus zonas de origen. El crecimiento diametral de los rodales de Valdivia también es mayor que lo observado en su área de distribución natural (Génova, 2007; Linares et al., 2010). *Abies pinsapo* tiene crecimiento lento en España; los mayores diámetros registrados en Sierra de Ronda se explican por rodales de mayor edad y menor densidad (Linares et al., 2011). Este efecto de la densidad se aprecia en la comparación de los dos rodales de igual edad en Valdivia: Cardalliaguet et al. (2019) registraron un diámetro promedio de 30,3 cm en un rodal con 434 árboles por hectárea; en cambio, el rodal del presente estudio mostró 24,9 cm de DN promedio y 1830 árboles por hectárea.

Dado que *A. pinsapo* es una especie en peligro de extinción (Gómez-Zotano et al., 2014) y se extiende en poca superficie en su hábitat natural (Guzmán, 2009; Linares y Carreira, 2006), los sitios en Chile, como el evaluado en Valdivia, podrían servir para programas de su conservación *ex situ*.

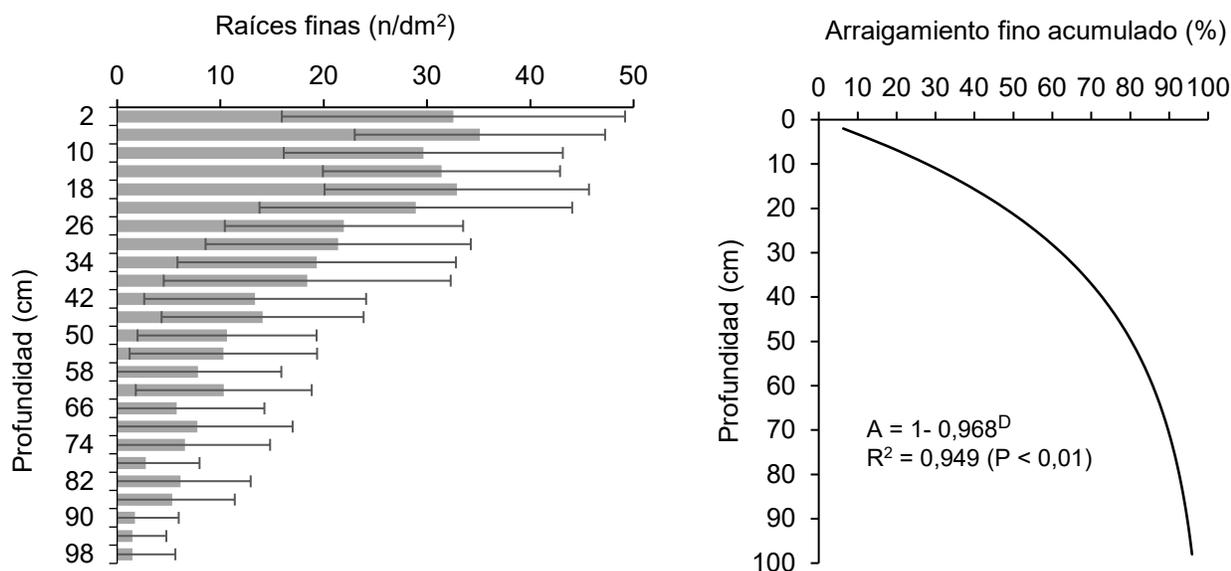


FIGURA 5. Arraigamiento fino de un rodal de *Abies pinsapo* de 42 años de edad en Valdivia, Chile. Izquierda: Concentración de raíces finas (barras: promedio; líneas: desviación estándar; n = 25). Derecha: porcentaje acumulado de raíces finas en profundidad según el modelo Gale y Grigal, (1987).

A = fracción acumulada del arraigamiento fino (proporción entre 0 y 1), desde la superficie hasta la profundidad D (cm).

Si bien *A. pinsapo* muestra en Valdivia un arraigamiento fino profundo, concentra una alta proporción de sus raíces finas en el estrato superficial, caracterizado por un coeficiente $\beta = 0,968$ del modelo de Gale y Grigal (1987) (Fig. 5). En cambio, para bosques de coníferas en climas templados, Jackson et al. (1996) estimaron $\beta = 0,976$, es decir, menor concentración superficial de raíces finas que lo mostrado en el rodal del presente estudio. Este comportamiento de *A. pinsapo* en Valdivia puede explicarse porque la plantación obtendría los recursos necesarios en un estrato delgado de suelo con alta capacidad de agua aprovechable, gracias al clima más húmedo que en su zona de origen (Climate-data, 2018; Dirección Meteorológica de Chile, 2018; Guswa, 2010), debido a que los árboles no necesitarían desarrollar una masa radical abundante en profundidad (Wang et al., 2018). No obstante, también puede indicar que el subsuelo podría ser demasiado húmedo para esta especie, es decir, con déficit de aire en comparación con las condiciones de buena aireación en las cuales evolucionó *A. pinsapo* (Navarro Cerrillo et al., 2012).

La dinámica del crecimiento diametral (Fig. 3) muestra que la etapa de establecimiento con crecimiento acelerado se extiende hasta los 16 años de plantación (1992, DMC = 12 cm). No obstante, en los primeros siete años de plantación (hasta 1983, DB = 2,5 cm), el bajo crecimiento anual se explica por la competencia interespecífica (malezas), ya que anteriormente hubo uso agropecuario y la plantación no fue sometida a control de malezas. En el rodal valdiviano estudiado por Cardalliaguet et al. (2019) se alcanzan valores de crecimiento anuales parecidos a los del presente estudio.

En la etapa de crecimiento óptimo, después del cierre de copas, entre los 16 años y 25 años de plantación (año 1992, DMC = 12 cm – año 2001, DMC = 20 cm), el incremento diamétrico decae más marcadamente en los árboles de menor tamaño (Fig. 3). Este comportamiento de los árboles pequeños muestra la sensibilidad de *A. pinsapo* a la competencia intraespecífica, debido a la alta densidad del rodal y a su condición de especie semitolerante (Navarro Cerrillo et al., 2012), lo que los mantiene prolongadamente

en una posición sociológica de suprimidos. Esta clase de árboles, a partir de los 37 años de plantación (año 2013, DMC = 25 cm), presenta muy bajo crecimiento, esperándose que en pocos años más puedan morir. Como el rodal es joven, se encuentra en una etapa de exclusión fustal en la que hay estratificación vertical de los árboles (Lara et al., 2014) y esto explica la mortalidad. En todo caso, este proceso muestra ser lento, debido a la capacidad de la especie de tolerar cierto grado de sombra.

El índice de crecimiento (Fig. 4) de *A. pinsapo* se relaciona directamente con la precipitación en el período de competencia interespecífica, al inicio del establecimiento, y en la etapa de competencia intraespecífica fuerte. Es decir, se aprecia un efecto del abastecimiento restringido de agua en los períodos de mayor estrés de los árboles, cuando el crecimiento diametral es mínimo (Fig. 3 y 4). Durante las otras etapas, las variaciones del crecimiento pueden deberse a otras causas de competencia por recursos, pero no se aprecia una relación con la precipitación. Según Esteban et al. (2010), *A. pinsapo* necesita mucha precipitación para adaptarse durante los primeros años, por lo que no tendría problemas en Valdivia, ya que llueve más que en su lugar de origen (Cardalliaguet et al., 2019). En cambio, esta especie sufre mucho estrés por competencia (Linares et al., 2010), como lo refleja el desarrollo de la plantación en Valdivia.

El sotobosque del rodal es escaso, con especies arbóreas y arbustivas tolerantes o semitolerantes a la sombra (Donoso, 2006), derivado del estado de desarrollo e intervención de la plantación: alta densidad del rodal y alta densidad de copas. *Abies pinsapo* demuestra su capacidad de regenerarse en semisombra, pero el pequeño tamaño de sus plantas indica que estas son de corta edad, de uno o dos años solamente. Esto se explica por el ramoneo y pisoteo del ganado doméstico.

El mantillo de esta plantación acumula una alta cantidad de materia orgánica de desechos, con elevados montos de elementos nutritivos (Tabla 4). Esto refleja una lenta descomposición del mantillo y su consecuente retención de elementos nutritivos que puede afectar el abastecimiento de los árboles, considerando que el suelo

presenta baja oferta nutricional (Tabla 2). Además, se presenta gran cantidad de bostas en el mantillo que aportan materia orgánica, unas 20 veces lo que se ha observado en bosques nativos del sur de Chile (Vargas-Gaete et al., 2020; Zamorano-Elgueta et al., 2012). Esto sugiere que el rodal de *A. pinsapo* ha sido empleado como zona de resguardo para la ganadería doméstica.

Los árboles de *A. pinsapo* en Valdivia presentan buena sanidad y forma fustal recta, con sección transversal circular y ramificación monopódica. Su madera no indica duraminización y su densidad básica muestra significativa variación radial, aunque en un intervalo de valores bajos (Tabla 3), menores que en su zona de origen (Peguero-Pina et al., 2011). En comparación con especies forestales comúnmente plantadas en sitios equivalentes en Chile, *A. pinsapo* presenta menor densidad básica de su madera que *Pinus radiata* (Delmastro et al., 1980) y que *Eucalyptus nitens* (Deane et Maiden) Maiden (Omonte et al., 2019). Según estas características, la madera de *A. pinsapo* crecida en Valdivia tendría limitadas opciones de utilización industrial, siendo ello un desincentivo para la introducción de esta especie con fines madereros. En España esta madera ha tenido diversas aplicaciones, pero actualmente se encuentra restringido su uso por tratarse de una especie protegida (Esteban et al., 2010).

CONCLUSIONES

Abies pinsapo está bien adaptado al sitio en Valdivia y presenta mayor crecimiento que en su zona de origen: los árboles tienen buena sanidad y forma fustal. Esto permite considerar este tipo de sitios como áreas de conservación *ex situ* para esta especie.

Su crecimiento diametral demuestra mayor estrés por competencia que por condiciones climáticas, lo cual otorga buenas posibilidades para la aplicación de silvicultura en plantaciones de este tipo.

La madera de *A. pinsapo* es de baja densidad básica, característica que limita su aplicación en productos madereros estándares de la industria actual.



El mantillo acumula altas cantidades de elementos nutritivos y el arraigamiento es concentradamente superficial.

RECONOCIMIENTOS

Se agradece a Felipe Leiva, director ejecutivo del Centro Experimental Forestal (CEFOR-Universidad Austral de Chile), por su apoyo para trabajar en predio Las Palmas. A Carlos Le Quesne, Vicente Rozas y Tomás Muñoz por su colaboración en el Laboratorio de Dendrocronología. A Humberto Cartes Vergara por su ayuda en terreno y laboratorio. Al personal del Laboratorio de Nutrición y Suelos Forestales por realizar los análisis del suelo y mantillo. A Oscar Thiers y Francisco Burgos por su disposición y aporte de conocimientos. A Robert Brümmer por comunicar datos climáticos de Valdivia.

REFERENCIAS

- Bunn, A. G. (2008). A dendrochronology program library in R (dplR). *Dendrochronologia*, 26(2), 115-124. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2008.01.002>.
- Cardalliaquet, L., Muñoz, A., Humanes, V., Aguilera-Betti, I., Génova, M., Le Quesne, C., Rojas-Badilla, M., & Veas, C. (2019). Crecimiento radial de *Abies pinsapo* en el sur de Chile: relaciones con el clima local y su comparación con poblaciones naturales en España. *Bosque*, 40(2), 141-152. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002019000200141>
- Centro de Información de Recursos Naturales (2003). *Estudio agrológico. Descripciones de suelos, materiales y símbolos. X Región.* (Publicación CIREN n° 123). Ministerio de Agricultura de Chile. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/25572>
- Climate-data. (2018). *Datos climáticos mundiales.* <https://es.climate-data.org/>
- Cook, E. R. & Krusic, P. J. (2005). *A tree-ring standardization program based on detrending and autoregressive time series modeling, with interactive graphics.* Tree-Ring Laboratory, Lamont Doherty Earth Observatory of Columbia University. [Data set]. ICPSR. https://www.ltrr.arizona.edu/~sheppard/presession/arsreadme_135.doc
- Delmastro, R., Díaz-Vaz, J. E., & Schlatter, J.E. (1980). *Variabilidad de las características tecnológicas hereditarias de Pinus radiata (D. Don).* CONAF, ONU, FAO.
- Díaz-Vaz, J. E. (1985). *Duraminización de Pinus radiata creciendo en Chile.* En Facultad de Ciencias Forestales (Ed.). *Pinus radiata* investigación en Chile (pp. 162-177). Universidad Austral de Chile.
- Dirección Meteorológica de Chile. (2018). *Annuarios climatológicos.* <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/index/anuarios>
- Donoso, C. (2006). *Las especies de los bosques templados de Chile y Argentina, Autoecología.* Editorial Marisa Cuneo.
- Esteban, L. G., De Palacios, P., & Rodríguez-Losada Aguado, L. (2010). *Abies pinsapo* forests in Spain and Morocco: threats and conservation. *Oryx*, 44(2), 276-284. <https://doi.org/10.1017/S0030605310000190>
- Gale, M., & Grigal, D. (1987). Vertical root distributions of northern tree species in relation to successional status. *Canadian Journal of Forest Research*, 17(8), 829-834. <https://doi.org/10.1139/x87-131>
- Génova, M. (2007). El crecimiento de *Abies pinsapo* y el clima de Grazalema: aportaciones dendroecológicas. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 16(2), 145-157. <http://dx.doi.org/10.5424/srf/2007162-01005>
- Gómez-Zotano, M., Román Requena, F., Hidalgo-Triana, M., & Perez-Latorre, A.V. (2014). Biodiversidad y valores de conservación de los ecosistemas serpentínicos en España: Sierra Bermeja (provincia de Málaga). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 65, 187-206. <https://doi.org/10.21138/bage.1749>
- Guzmán, J. R. (2009). Los pinsapos de la otra orilla del Estrecho. El echouch o abeto del Rif. *Quercus*, 275, 36-44.
- Guswa, A. J. (2010). Effect of plant uptake strategy on the water-optimal root depth. *Water Resources Research*, 46(9), 1-5. <https://doi.org/10.1029/2010WR009122>
- Hartung, J., Elpelt, B., & Klösener, K.H. (2002). *Statistik. Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik* (13ª ed.). Oldenbourg Verlag.
- IBM Support. (2018). *SPSS Statistics 20.* <https://www.ibm.com/support/pages/spss-statistics-20-available-download>
- Jackson, R., Canadell, J., Ehleringer, J., Mooney, H., Sala, O., & Schulze, E. (1996). A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. *Oecologia*, 108, 389-411. <https://doi.org/10.1007/BF00333714>
- Lara, A., Amoroso, M., Bannister, J. R., Donoso, C., González, M. E., Vargas, R., Smith-Ramírez, C., Arellano, G., & Gutiérrez, A. G. (2014). Sucesión y dinámica de bosques templados en Chile. En C. Donoso, M. González, & A. Lara (Eds.), *Ecología Forestal. Bases para el manejo sustentable y conservación de los bosques nativos de Chile* (pp. 323-410). Ediciones UACh.

- Linares, J. C., & Carreira, J. A. (2006). El pinsapo, abeto endémico andaluz. O ¿Qué hace un tipo como tú en un sitio como éste? *Ecosistemas*, 15(3), 171-191. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/501>
- Linares, J. C., Camarero, J. J., & Carreira, J. A. (2010). Competition modulates the adaptation capacity of forests to climatic stress: Insights from recent growth decline and death in relict stands of the Mediterranean fir *Abies pinsapo*. *Journal of Ecology*, 98, 592-603. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2745.2010.01645.x>
- Linares, J. C., Carreira, J. A., & Ochoa, V. (2011). Human impacts drive forest structure and diversity. Insights from Mediterranean mountain forest dominated by *Abies pinsapo* (Boiss.). *European Journal of Forest Research*, 130, 533-542. <https://doi.org/10.1007/s10342-010-0441-9>
- Lozano, A. M., & Teillier, S. (2014). Frecuencia y abundancia de especies leñosas utilizadas en espacios públicos de la ciudad de Curicó-Región del Maule-Chile. *Chloris Chilensis*, 17(2). <http://www.chlorischile.cl>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2023). *Regiones de procedencia*. https://www.miteco.gob.es/en/biodiversidad/temas/recursos-geneticos/geneticos-forestales/rgf_regiones_procedencia.html
- Navarro Cerrillo, R. M., Sánchez, A., Arroyo, M., Plaza, L., Marchal, F., & Lara, M. A. (2012). *Abies pinsapo* Boiss. En J. Pemán, R. M. Navarro Cerrillo, J. L. Nicolás, M. A. Prada, R. Serrada (Eds.), *Producción y manejo de semillas y plantas forestales* (pp. 58-79). Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Omote, M., Sáez-Carrillo, K., Ananías, R. A., & Valenzuela-Hurtado, L. (2019). Variación del contenido de humedad verde y de la densidad básica de la madera en árboles de *Eucalyptus nitens* con dimensiones aserrables. *Maderas: Ciencia y Tecnología*, 21(3), 413-424. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2019005000313>
- Peguero-Pina, J. J., Sancho-Knapik, D., Cochard, H., Barredo, G., Villarroya, D., & Gil-Pelegrín, E. (2011). Hydraulic traits are associated with the distribution range of two closely related Mediterranean firs, *Abies alba* Mill. and *Abies pinsapo* Boiss. *Tree Physiology*, 31, 1067-1075. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpq092>
- Rodríguez, G., & Rodríguez, R. (1981). Las especies de Pinaceae cultivadas en Chile. *Bosque*, 4(1), 25-43. <https://doi.org/10.4206/bosque.1981.v4n1-03>
- Sadzawka, A., Carrasco, M. A., Demanet, F., Flores, H., Grez, R., Mora, M. L., & Neaman, A. (2007). *Métodos de análisis de tejidos vegetales*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Sadzawka, A., Carrasco, M. A., Grez, R., Mora, M. L., Flores, H., & Neaman, A. (2006). *Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Santibáñez Quezada, F. (2017). *Atlas agroclimático de Chile, Tomo V: Regiones de Los Ríos y Los Lagos*. Universidad de Chile.
- Schlatter, J. E., Grez, R., & Gerding, V. (2003). *Manual para el reconocimiento de suelos* (3a ed). Universidad Austral de Chile.
- Schlegel, F. (1985). *Arboretum de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Austral de Chile*. Universidad Austral de Chile.
- Vargas-Gaete, R., Salas-Eljatib, C., Penneckamp, D., Neira, Z., Diez, M.C., & Vargas-Picón, R. (2020). Estructura y regeneración de bosques de *Prumnopitys andina* en los Andes del sur de Chile. *Gayana Botánica*, 77(1), 48-58. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432020000100048>
- Voor Tech Consulting (2018). *The tree ring measuring program. Project J2X, Measure J2X Program*. [Data set]. ICPSR. <http://www.voortech.com/projectj2x/>
- Wang, C., McCormack, M. L., Guo, D., & Li, J. (2018). Global meta-analysis reveals different patterns of root tip adjustments by angiosperm and gymnosperm trees in response to environmental gradients. *Journal of Biogeography*, 2018, 1-11. <https://doi.org/10.1111/jbi.13472>
- Zamorano-Elgueta, C., Cayuela, L., González-Espinosa, M., Lara, A., & Parra-Vázquez, M. R. (2012). Impacts of cattle on the South American temperate forests: Challenges for the conservation of the endangered monkey puzzle tree (*Araucaria araucana*) in Chile. *Biological Conservation*, 152, 110-118. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2012.03.037>

Manuscrito recibido el 14 de noviembre de 2022

Aceptado el 19 de septiembre de 2023

Publicado el 20 de diciembre de 2023

Este documento se debe citar como:

Escàñez, E., Droppelmann, F., & Gerding, V. (2023). Características del crecimiento de una plantación adulta de *Abies pinsapo* en un sitio de Valdivia, Chile. *Madera y Bosques*, 29(3), e2932556. <https://doi.org/10.21829/myb.2023.2932556>



Madera y Bosques por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercialCompartirIgual 4.0 Internacional.