

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

**ANÁLISIS DE LA DINÁMICA DE  
CRECIMIENTO DE *Pinus pinea* L. EN DOS  
PARCELAS BAJO RIEGO EN LA PROVINCIA  
DE MENDOZA**



TESIS DE GRADO

Luciano Díaz Dentoni

Director: Sergio Piraino  
Codirector: Fidel Roig

MENDOZA, ARGENTINA  
2024



**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



FACULTAD DE  
**CIENCIAS  
AGRARIAS**

## **ANÁLISIS DE LA DINÁMICA DE CRECIMIENTO DE *Pinus pinea* L. EN DOS PARCELAS BAJO RIEGO EN LA PROVINCIA DE MENDOZA**

### **Autor**

Díaz Dentoni Luciano

[ldiaz@est.fca.uncu.edu.ar](mailto:ldiaz@est.fca.uncu.edu.ar)

### **Director**

Piraino Sergio

[spiraino@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:spiraino@mendoza-conicet.gob.ar)

### **Codirector**

Fidel Alejandro Roig

[froig@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:froig@mendoza-conicet.gob.ar)

### **Comisión evaluadora**

1. Dr. Pablo Andrés, Meglioli; [pmeglioli@fca.uncu.edu.ar](mailto:pmeglioli@fca.uncu.edu.ar)
2. Dra. Verónica Loewe Muñoz; [vloewe@infor.cl](mailto:vloewe@infor.cl)
3. Ing. Lucas Gabriel, López; [glopez@fca.uncu.edu.ar](mailto:glopez@fca.uncu.edu.ar)

**AGOSTO 2024**

## RESUMEN

Los bosques, nativos e implantados, representan globalmente uno de los ecosistemas terrestres más extensos del planeta, siendo reconocidos por proveer múltiples servicios ecosistémicos, entre los cuales se destacan los productos forestales maderables y no maderables.

En los territorios de la República Argentina, debido a la gran variabilidad climática y ambiental, queda demostrada la posibilidad de implantación de diversas especies exóticas forestales, tanto de clima tropical, subtropical, y templado frío. En este sentido, se han introducido diferentes géneros de rápido crecimiento, siendo *Pinus* y *Eucalyptus* los más cultivados a nivel nacional. En la provincia de Mendoza, por otro lado, las especies de los géneros *Populus* y, en menor medida, *Salix*, componen casi la totalidad de los cultivos forestales. En dichos territorios provinciales, caracterizados por un clima semiárido con escasas precipitaciones, la utilización de estas especies de rápido crecimiento y de elevada exigencia hídrica, ha sido posible gracias al aporte de riego suplementario.

En el contexto de cambio climático, caracterizado por un constante aumento de condiciones de aridez en el centro-oeste argentino, se desprende la necesidad de evaluar la posibilidad de incorporar otros géneros a la matriz forestal provincial. Las especies del género *Pinus*, en este sentido, pueden representar una interesante alternativa, en particular por sus menores requerimientos hídricos en comparación con el género *Populus*. *Pinus pinea* L., vulgarmente conocido como pino piñonero, representa una especie con potencialidad para su instalación en los territorios de la Provincia de Mendoza debido a su adaptabilidad a condiciones ambientales. Además, el pino piñonero representa una de las especies más importantes en la obtención de frutos secos, ya que sus piñones se comercializan de manera significativa en el mercado internacional. La incorporación de este forestal a la matriz productiva podría en este sentido representar una interesante oportunidad para la obtención de productos forestales no madereros de elevado valor económico.

Hasta la fecha aún no se ha caracterizado la dinámica en el crecimiento de esta especie a escala anual, y su vinculación con las características ambientales en los territorios de la Provincia de Mendoza. Los métodos dendrocronológicos, basados en las mediciones de los anchos de anillos anuales, representan una herramienta de gran utilidad en la estimación de la potencialidad de una especie forestal en lo que corresponde a su crecimiento, que a su vez representa un proxy natural de la producción de PFM.

En esta Tesis se examinó la dinámica en el crecimiento radial y su vinculación con diferentes factores climáticos en dos plantaciones de pino piñonero localizadas en la zona oeste y sur de la Provincia de Mendoza. A través del análisis cuantitativo de la velocidad de incremento del ancho de anillo anual, representada por los patrones de variaciones de formación de leño, se evidenció en ambas locaciones una influencia preponderante de las temperaturas sobre las tasas de incremento radial, con un consecuente incremento de las condiciones de estrés hídrico traducido en un crecimiento radial menor. En lo que respecta al aporte hídrico meteorológico, los valores de precipitación mensual invernal determinaron las velocidades de formación del anillo anual en la plantación localizada en el sur provincial, posiblemente reflejo de la recarga del perfil edáfico y su posterior utilización en la formación del anillo anual. Las

diferencias intra-específicas relativas a la vinculación del desarrollo del anillo anual con los factores climáticos reflejaron a su vez la diversidad de condiciones edáficas y climáticas entre los sitios analizados. Los resultados indican una mayor potencialidad por lo que concierne al rodal ubicado en el sur provincial, lo cual sugiere la posibilidad de sumar a la matriz forestal plantaciones del pino piñonero en tales distritos. Este estudio representa la primera contribución al entendimiento de la dinámica anual en el crecimiento de *P. pinea*, proveyendo datos cuantitativos de interés para productores forestales de la Provincia de Mendoza.

## PALABRAS CLAVE

Ancho de anillo; incremento radial anual; *Pinus pinea*, relaciones clima-crecimiento

## ABSTRACT

Forests, both native and planted, represent one of the most extensive terrestrial ecosystems globally, recognized for providing multiple ecosystem services, notably timber and non-timber products.

In the territories of the Argentine Republic, the great climatic and environmental variability demonstrates the possibility of establishing plantations of diverse exotic tree species, ranging from tropical and subtropical to temperate and cold climates. In this regard, different fastgrowing genera have been introduced, with *Pinus* and *Eucalyptus* being the most widely cultivated nationally. In the Province of Mendoza, on the other hand, species of the genera *Populus* and, to a lesser extent, *Salix*, make up almost all the forest crops. In these provincial territories, characterized by a semi-arid climate with low precipitation, the use of these fastgrowing, high-water-demand species has been possible thanks to the application of supplemental irrigation

In the context of climate change, characterized by a constant increase in aridity conditions in central-western Argentina, there arises the need to evaluate the possibility of incorporating other genera into the provincial forest matrix. In this sense, species of the genus *Pinus* could represent an interesting alternative, particularly due to their lower water requirements compared to the *Populus* genus. *Pinus pinea* L., commonly known as stone pine, represents a species with potential for establishment in the territories of the Province of Mendoza due to its adaptability to environmental conditions. Additionally, stone pine is one of the most important species worldwide for nut production, as its pine nuts are traded on a significant global scale. The incorporation of this species into the productive forest matrix could thus represent an interesting opportunity for obtaining high-economic-value non-timber forest products.

To date, the annual growth dynamics of this species and its relationship with environmental characteristics have not yet been examined in the Province of Mendoza. Dendrochronological

methods, based on measurements of annual ring widths, represent a highly useful tool for estimating the growth potential of a forest species, which in turn serves as a natural proxy for the production of NTFPs

In this thesis, the radial growth dynamics and its relationship with different climatic drivers were examined through the quantitative analysis of radial growth rates, represented by wood formation patterns in two stone pine plantations located in the western and southern zones, respectively, of the Province of Mendoza. A predominant influence of temperature on the species radial growth rates was evidenced in both districts, reflecting likely increases in water stress conditions that could translate into lower radial growth. Regarding meteorological water input, winter monthly precipitation values determined the annual ring formation rates in the southern site, possibly reflecting the recharge of the topsoil layers and the subsequent use in annual ring development. The intraspecific differences relative to the relationship between climate and annual ring development likely reflected the edaphic and climatic differences between the analyzed sites. The results indicate a greater potential concerning the stand located in the southern province, suggesting the possibility of incorporating stone pine plantations into the forest matrix in such districts. This study represents the first contribution to understanding the annual growth dynamics of *P. pinea*, providing quantitative data of interest to forest producers in the Province of Mendoza

## KEYWORDS

Climate-growth relation; radial growth; *Pinus pinea*; tree-ring

## **AGRADECIMIENTOS**

Ante todo, quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a mi director, Sergio Piraino, quien, con su constante presencia, su inagotable paciencia y su valiosa orientación, fue fundamental y esencial en todo este largo proceso de investigación. Su apoyo y verdadera dedicación en este ámbito son, sin dudas, una motivación que deseo cultivar en mis futuros trabajos. También agradecerle a mi codirector Fidel Roig, quien demostró confiar en mi compromiso llevando a cabo el reconocimiento del manuscrito. Finalmente, un agradecimiento especial a Alberto Calderón y Guillermo Aguado, quienes me brindaron información de gran utilidad y estuvieron predispuestos a colaborar con esta investigación.

A mis amigos y mi familia, sobre todo a mis abuelos, quienes siempre me dieron su constante apoyo y la motivación necesaria para terminar la carrera. Y en especial a mi tío Enrique, quien no pudo estar presente en esta etapa final de mi recorrido, su apoyo incondicional y sus sabias palabras me trajeron hasta aquí.

A mis compañeros de la facultad, quienes estuvieron presentes todos estos años, estudiando a la par y compartiendo buenos momentos. Sin ellos, no hubiera podido llegar hasta donde estoy.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>5</b>
2.1 Área de estudio .....	5
2.2 Extracción y preparación de muestras para desarrollo de las cronologías de ancho de anillos .....	8
2.3 Análisis de la relación entre crecimiento radial y factores climáticos	
<b>3. RESULTADOS .....</b>	<b>11</b>
3.1 Características de las cronologías de ancho de anillos .....	11
3.2 Influencia de factores climáticos sobre el crecimiento radial anual .....	14
<b>4. DISCUSIÓN .....</b>	<b>15</b>
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>19</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>19</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Distribución natural de P. pinea. Fuente: Euforgen, 2004. ....	2
<b>Figura 2:</b> Ubicación geográfica de la primer parcela de estudio .....	5
<b>Figura 3:</b> Ubicación geográfica de la segunda parcela de estudio. ....	6
<b>Figura 4:</b> Climogramas representativos para el periodo 2000-2021 de la estación meteorológica INTA San Carlos y Malargüe Aero. ....	7
<b>Figura 5:</b> Ejemplares de P. pinea en los sitios Yaucha y Estancia LC .....	8
<b>Figura 6:</b> Extracción de tarugo con barreno Pressler.....	9
<b>Figura 7:</b> Ejemplo de tarugos de pino piñonero montados y lijados .....	10
<b>Figura 8:</b> Cronologías de valores de ancho de anillo anual bruto (mm/año) para los dos sitios de muestreo. ....	13
<b>Figura 9:</b> Gráfico de caja-bigote para los valores de incremento radial anual bruto para el periodo en común 1991-2020. ....	14
<b>Figura 10:</b> Coeficientes de correlación entre las cronologías residuales de P. pinea y los valores de precipitación total mensual y temperatura promedio mensual para los sitios Yaucha y Estancia LC .....	15

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Características geográficas y edáficas de los sitios examinados .....	6
<b>Tabla 2:</b> Características dendrocronológicas de P. pinea en los dos sitios analizados.....	12
<b>Tabla 3:</b> Características dendrocronológicas de bosques de P. pinea localizados en la Provincia de Mendoza y en la zona del Mediterráneo .....	16



## 1. INTRODUCCIÓN

A nivel global, los bosques, nativos e implantados, representan los ecosistemas terrestres más extensos, ocupando alrededor de 4.000 millones de hectáreas, correspondientes a aproximadamente el 31% de la superficie del planeta (FAO, 2020). Los ecosistemas forestales son hábitat para diferentes especies animales, representando por otro lado fuente de subsistencia para cientos de millones de personas, particularmente en los países menos desarrollados (Pimentel et al., 1997; Byron y Arnol, 1999). En este sentido, las masas boscosas son reconocidas como proveedoras de servicios ecosistémicos, entre los cuales pueden mencionarse por ejemplo la regulación hídrica, almacenamiento de carbono, la conservación de suelos y los diferentes productos forestales (Camacho y Ruiz, 2011). En relación a estos últimos, los mismos pueden clasificarse según las características de las materias primas en dos categorías: 1) los productos forestales maderables (PFM), definidos como aquellos derivados provenientes directamente de la utilización de la madera; 2) los productos forestales no maderables (PFNM), referidos a los bienes de origen biológico que proceden de bosques, áreas forestales y sistemas agroforestales (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2005; Aguirre y Aguirre, 2021). Ejemplos de los PFNM son, entre otros, productos alimenticios (frutas y aceites), industriales (látex, taninos, resinas), farmacológicos (alcaloides y saponinas) y artesanales (hojas y fibras) (Cordero, 2011).

En la República Argentina, los bosques implantados cubren una superficie de alrededor de 1.200.000 hectáreas, y están constituidos principalmente por rodales monoespecíficos de especies exóticas de rápido crecimiento pertenecientes a los géneros *Pinus*, *Eucalyptus*, *Salix* y *Populus* (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2023). Estas masas forestales se distribuyen en su mayoría en los territorios del NE argentino (provincia de Entre Ríos, Corrientes y Misiones), Patagonia, y Provincia de Buenos Aires (Sanchez-Acosta y Vera, 2005). Dichos bosques proveen madera de diferente calidad que se utiliza para la producción de embalajes industriales (pallets y cajones), pulpa para papel de diario, postes, tableros de fibras, tableros de partículas, molduras, muebles, machimbre, entre otros (Sanchez-Acosta y Vera, 2005; Cobas et al., 2013).

En la Provincia de Mendoza, los bosques implantados están representados casi exclusivamente por rodales de especies pertenecientes al género *Populus* (álamo; Calderón et al., 2000). Los elevados requerimientos hídricos de este forestal (aproximadamente 1200 ml/año; Riu et al., 2008), en combinación con las características climáticas de tipo semiárido de la Provincia de Mendoza, implican que el éxito de estas plantaciones depende estrictamente del aporte de elevados caudales de agua suplementaria (Morello, 1958). Los procesos de cambio climático que proyectan modificaciones atmosféricas hacia condiciones de mayor aridez en el centro-oeste argentino, puede entonces influir negativamente sobre la productividad futura de estas plantaciones (Labraga y Villalba, 2009). Por ello, sería recomendable ampliar la matriz productiva forestal de la Provincia de Mendoza incluyendo otras especies arbóreas de menor demanda de agua de riego, diversificando por otro lado la obtención de productos forestales.

Las plantaciones con especies del género *Pinus* corresponden a nivel mundial, aproximadamente, al 50% del total de bosques implantados (FAO, 2006). En lo que concierne a los territorios de la República Argentina, la mayor superficie de forestaciones con pináceas se registra en el NEA y sur de nuestro país, conformadas por plantaciones de pinos de clima

tropical y subtropical, y templado frío, respectivamente (Misiones y Corrientes: *P. elliotii*, *P. taeda*; Patagonia: *P. ponderosa*; Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2021). En Mendoza, por otro lado, la presencia de especies pertenecientes a este género es prácticamente nula en la matriz forestal local (Calderón et al., 2004). Sin embargo, existen en nuestra Provincia experiencias puntuales de forestaciones de especies de pino originarias de clima mediterráneo, implantadas con el objetivo de examinar la supervivencia y el crecimiento de estos forestales (Calderón et al., 2004). En este sentido, investigaciones preliminares han evaluado la potencialidad de individuos de *P. pinea*, *P. halepensis*, *P. nigra*, *P. pinaster*, y *P. radiata* instalados en parcelas bajo riego en la zona de Valle de Uco, indicando en la primera la especie con mejor comportamiento, expresado este último en términos de crecimiento en diámetro y altura del árbol (Calderón et al., 2004).

*P. pinea*, vulgarmente conocido como pino piñonero, es una conífera originaria de la región mediterránea (Mutke et al., 2012), Los bosques de esta especie se distribuyen de manera discontinua desde el oeste (península Ibérica) hacia el este (Turquía) de esta área, en una franja altitudinal que va desde el nivel del mar hasta los 1.400 m.s.n.m (Mutke et al., 2012). En su área de distribución natural, el pino piñonero crece en territorios caracterizados por valores de precipitación total anual y temperatura promedio anual que oscilan entre 250 y 800 mm y 11,7 y 17,7 °C, respectivamente (Mutke et al., 2012). El pino piñonero es considerado una especie heliófila, xerófila, y relativamente termófila (Gutiérrez, 2007). Representa un forestal caracterizado por una elevada plasticidad, rusticidad y tolerancia a un amplio rango de tipos de suelo, no pudiendo sobrevivir sobre suelos anegadizos. Sus características autoecológicas han permitido su exitosa difusión en territorios extra-mediterráneos, como ha sido atestiguado por experiencias locales en Argentina y, más recientemente en los territorios chilenos (Gordo et al., 2009).



Figura 1. Distribución natural de *P. pinea*. Fuente: Euforgen, 2004.

En Europa, el pino piñonero ha sido cultivado desde la época romana, periodo en el que se utilizaba principalmente como especie maderera para la construcción de edificios y barcos (Mutke et al., 2012). Actualmente, su leño es considerado de mediana/baja calidad, y se destina fundamentalmente a producción de embalajes, y se aprovecha para la obtención de diferentes PFNM, entre otros resina, corteza para extracción de taninos, y brácteas de los conos como fuente de combustible (Loewe y Delard, 2012). Sin embargo, su semilla, el piñón, representa el PFNM de mayor importancia a nivel económico y sitúa a este forestal como una de las nueve especies arbóreas más importantes a nivel mundial para la producción de frutos secos (Fady et al., 2008). La elevada demanda de piñones genera unos valores monetarios elevados de estos frutos, lo cual se traduce en precios de los conos cosechados de entre 2050 € por kilogramo, y de productos finales de hasta 100 € (De la Peña y Illsley, 2001; Loewe Muñoz y González González, 2012).

Como ha sido mencionado anteriormente, investigaciones previas evaluaron las variaciones en las tasas de incremento diametral de *P. pinea* en la Provincia de Mendoza (Calderón et al. 2004). No obstante dicha pesquisa haya otorgado información cuantitativa de gran interés para explorar su potencialidad forestal a escala local, hasta la fecha no ha sido analizada aún su dinámica en el crecimiento a escala anual y la respuesta de este último a las condiciones climáticas de los territorios provinciales. Tales estudios pueden brindar información de utilidad para una posible incorporación de esta especie a la oferta forestal del secano del centro-oeste argentino. En este sentido, es menester subrayar que estudios previos desarrollados en plantaciones de *P. pinea* localizadas en Chile indican que el crecimiento radial anual representa un proxy de la productividad de frutos secos de los rodales de *P. pinea* (LoeweMuñoz et al., 2016).

El estudio del crecimiento radial anual y su vinculación con diferentes factores externos, puede llevarse a cabo examinando la estructura de la madera a través de métodos dendrocronológicos (del griego dendron –árbol-, crono –tiempo- y logos –estudio; Speer, 2009). Esta disciplina examina los eventos que influyen sobre el desarrollo del ancho del anillo, representando un registro natural de los diferentes factores ambientales que, directa o indirectamente, modulan el crecimiento radial de una especie leñosa (Speer, 2009).

Bajo el contexto actual global de disminución de precipitaciones y paralelo incremento de los procesos evapotranspirativos, consecuencia del fenómeno del cambio climático, se ha evidenciado una disminución de la productividad de los frutos del pino piñonero en su área de distribución natural (Loewe-Muñoz et al., 2015). Esto sugiere entonces la importancia de ubicar áreas con potencialidad para el establecimiento de plantaciones de esta especie en territorios extra-mediterráneos. En pos de definir un manejo adecuado de estos rodales, es menester obtener datos cuantitativos del comportamiento de la especie en términos de crecimiento radial y su vinculación con la variabilidad ambiental. Comprender cómo es la dinámica de las poblaciones de los árboles de una especie y lograr predecir sus patrones de crecimiento, y por ende su productividad, es crucial al momento de realizar una correcta toma de decisiones y llevar a cabo un adecuado plan de manejo forestal (Zúñiga Carrillo, 2012)

En base a lo previamente expuesto, en esta Tesis se evaluaron mediante métodos dendrocronológicos las tasas anuales del crecimiento radial, y su relación con diferentes factores climáticos (precipitaciones y temperatura media mensual) de individuos de pino piñonero instalados en dos sitios bajo riego y caracterizados por diferencias ambientales (climáticas y edáficas) en la Provincia de Mendoza. Este estudio apunta a proveer a los

productores locales información de utilidad para una posible incorporación de este forestal al sistema productivo del territorio provincial.

## Objetivos

### Objetivo general

- ❖ Analizar la dinámica anual en el crecimiento radial de *P. pinea* en dos parcelas con aporte de irrigación y localizadas en la Provincia de Mendoza.

### Objetivos específicos

- ❖ Reconstruir las variaciones en las tasas de crecimiento radial anual.
- ❖ Comparar los incrementos radiales anuales de los dos rodales en función de las diferencias ambientales entre los sitios examinados.
- ❖ Analizar la relación entre factores climáticos (precipitación y temperatura promedio) y el crecimiento radial anual de la especie.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Área de estudio

Se consideraron dos sitios ubicados en la Provincia de Mendoza, respectivamente en el departamento de San Carlos y en el departamento de Malargüe. El primer sitio se encuentra localizado en el dique Yaucha (de ahora en más; sitio Yaucha) en cercanía del Arroyo de los Papagayos a orillas de la ruta provincial 101 ( $34^{\circ}00'03''S$  -  $69^{\circ}07'03''O$ ), creciendo a una elevación de 1.213 m.s.n.m. (Calderon et al., 2004). La parcela analizada presenta un suelo de pedregoso a arenoso con buena permeabilidad (Calderon et al., 2004)

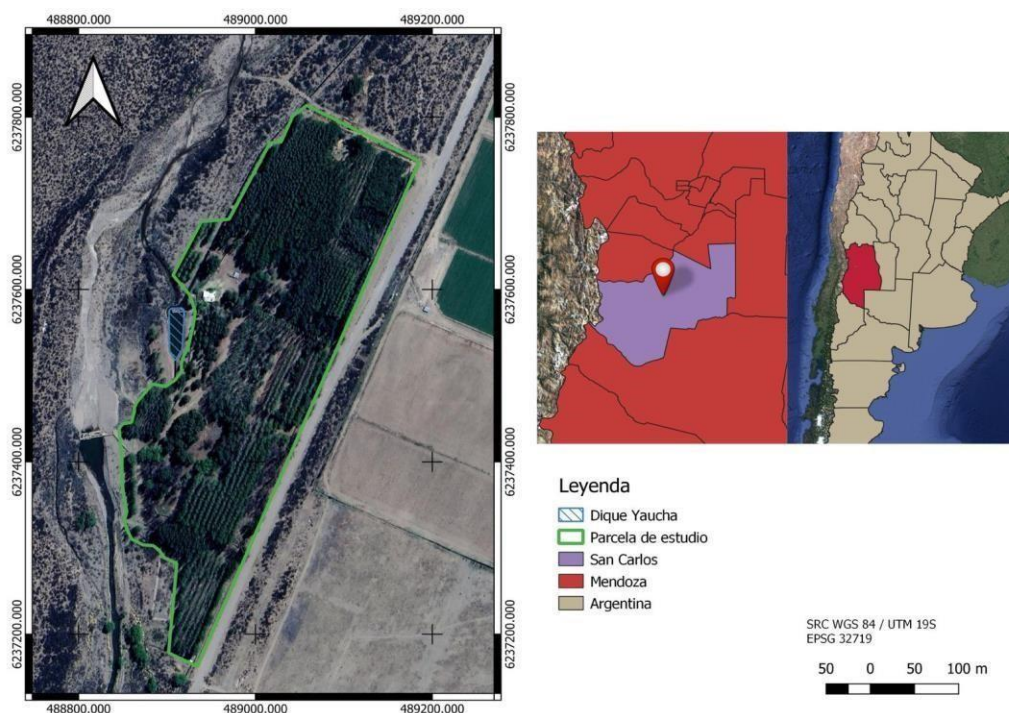


Figura 2. Localización geográfica de la plantación forestal localizada en el sitio Yaucha (línea verde; izquierda), situada en el Departamento de San Carlos, Mendoza, Argentina (derecha).

Por lo que concierne a la parcela ubicada en el Departamento de Malargüe, la misma está localizada en la Estancia Las Chacras (de ahora en más: Sitio Estancia LC) ( $35^{\circ}35' 55''S$  -  $69^{\circ}31' 37''O$ ) en cercanía de la ruta 40, a una altitud de 1.470 msnm (Millán, 2021). El perfil edáfico se caracteriza por poseer una textura franco/franco-arcillosa de origen aluvial (G. Aguado, *comunicación personal*).

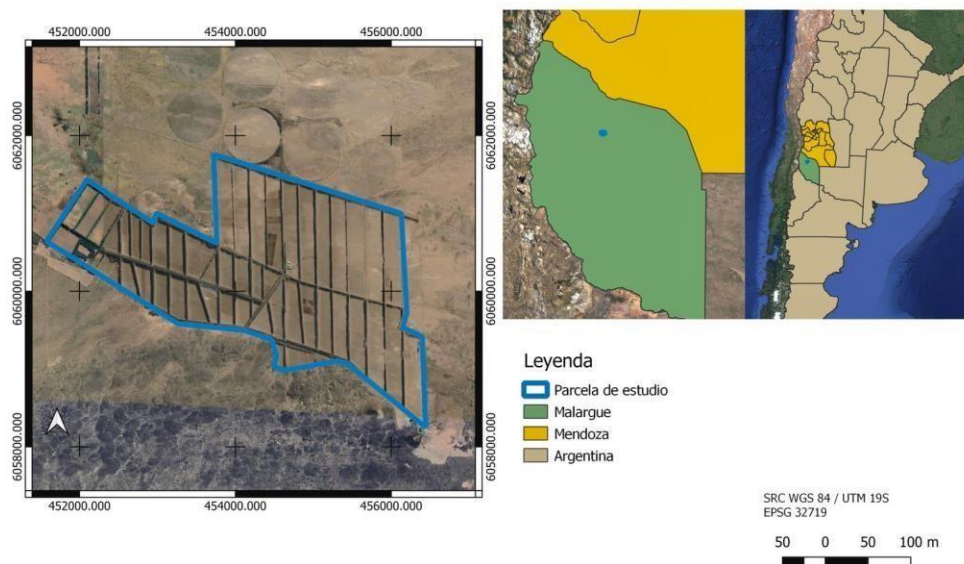


Figura 3. Localización geográfica de la plantación forestal localizada en el sitio Estancia LC (línea azul; izquierda), situada en el Departamento de Malargüe, Mendoza Argentina (derecha).

Tabla 1: Características geográficas y edáficas de los sitios examinados

Sitio	Latitud (S)	Longitud (O)	Altitud (m.s.n.m)	Suelo
Yaucha	34°00'03"	69°07'03"	1.213	Pedregoso/arenoso
Estancia LC	35°35'55"	69°31'37"	1.470	Franco/arcilloso

En relación al riego suplementario realizado, en el sitio Yaucha se implementó un riego por surcos con una frecuencia semanal de una hora, durante todo el año exceptuando los meses de junio y julio (J. Ferreyra, *com. pers.*). Sin embargo, se desconoce con exactitud los milímetros anuales de lámina de riego aplicada. Con respecto al sitio Estancia LC, en esta parcela se aplicó un riego por inundación tres veces al año (ene-feb/sep-oct/mar-abr), irrigando aproximadamente 500 mm anuales (G. Aguado, *com. pers.*).

Desde un punto de vista climatológico, el sitio Yaucha se caracteriza por valores de temperatura media de 7,6 °C en invierno y 22,4 °C en verano, respectivamente. En esta área pueden registrarse precipitaciones de carácter níveo en invierno, y lluvias durante otoño y verano cuyos valores oscilan entre los 30 y los 45 mm mensuales (Fig. 4). En lo respecta al sitio Estancia LC, se registran valores de temperatura media de 5,7 °C en invierno y 19,4 °C en verano, y



precipitaciones uniformes entre 20 y 50 mm mensuales a lo largo de todo el año, exceptuando los meses de invierno que, debido a precipitaciones de carácter nival, presentan valores superiores llegando a registrar hasta 145 mm en un mes (Fig. 4)

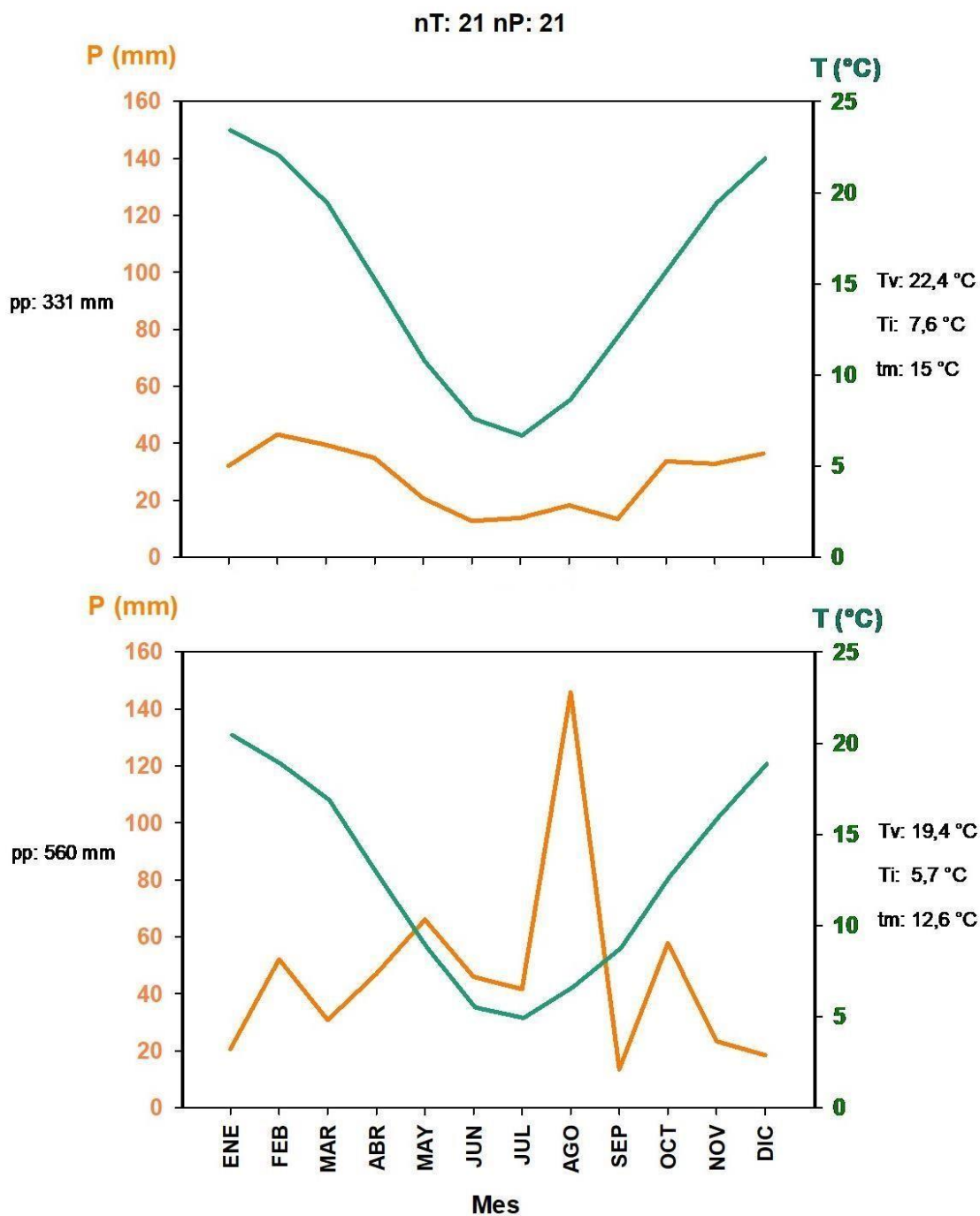


Figura 4. Climogramas representativos para el periodo 2000-2021 de la estación meteorológica INTA San Carlos: 33.73 S; 69.1 O (datos obtenidos desde la página: <http://siga.inta.gob.ar/#/>), y Malargue Aero: 35.48 S; 69.58 O (datos obtenidos desde la página: <http://www.meteomanz.com/>) nT = número de años registrados de las temperaturas; nP = número de años registrados de las precipitaciones; Tv:

temperatura media de verano; Ti: temperatura media de invierno; tm: temperatura media anual.

Por lo que concierne al material forestal examinado en esta investigación, en ambas forestaciones se estableció un marco de plantación de 3 x 3 m, utilizando plantines de 2 años de edad (Fig. 5). Del número total de plantas utilizadas, el porcentaje de supervivencia fue del 84,5 % y 95% en los sitios Yaucha y Estancia LC, respectivamente (Calderón et al., 2004; Ing. A. Calderón, *comunicación personal*). En ambas parcelas, los individuos de pino piñonero se encuentran sometidos a riego por surco. En el sitio Yaucha, el recurso hídrico suplementario proviene del Arroyo Yaucha, mientras que en Estancia LC, se obtiene desde el Río Malargüe (Calderon et al., 2004; M. Pandolfo, *comunicación personal*). En relación a la lámina de riego, en los dos sitios no se ha procedido a registrar los valores de aporte de agua suplementaria. Esto impidió evaluar en esta Tesis la influencia ejercida por los valores de irrigación sobre la dinámica de crecimiento radial de la especie.



Figura 5. Ejemplares de *P. pinea* en los sitios Yaucha (izquierda) y Estancia LC (derecha) Fotos:

Luciano Diaz Dentoni y Juan Bustamante.

## **2.2 Extracción y preparación de muestras para desarrollo de las cronologías de ancho de anillos**

En ambos sitios, el muestreo dendrocronológico se llevó a cabo extrayendo tarugos del tronco principal y a altura de pecho (aproximadamente 1,30 m sobre el nivel del suelo; Fig. 6) mediante un barreno de incremento tipo Pressler de 5mm de diámetro (Stokes & Smiley, 1996).

En el sitio Yaucha, se procedió a extraer en septiembre de 2022 una muestra por individuo de un total de 32 árboles, seleccionados en función de su estado fitosanitario. Por otro lado, se evitó muestrear individuos de *P. pinea* localizados en los bordes de la parcela, en pos de



minimizar el efecto borde y, contemporáneamente, la influencia ejercida sobre el crecimiento radial por procesos de competencia inter-específica. En lo que respecta al sitio Estancia LC, en mayo de 2021 se seleccionaron 12 individuos, correspondientes al 90% del total de los pinos piñoneros implantados en este ensayo.



Figura 6. Extracción de tarugo con barreno Pressler Foto: Luciano Diaz Dentoni

Una vez secadas en laboratorio, las muestras dendrocronológicas fueron montadas y fijadas con pegamento vinílico sobre regletas de madera, para luego proceder con el lijado de las mismas. El material leñoso fue pulido mediante papel de lija de granulometría creciente de 60 a 400, con el objetivo de obtener superficies lisas que permitieran la correcta visualización de la anatomía de la madera, facilitando de tal manera la identificación de los anillos de crecimiento (Fig. 7).



Figura 7. Ejemplo de tarugos de pino piñonero montados y lijados. Foto: Luciano Diaz Dentoni.

Se procedió luego a realizar un fechado visual de los anillos anuales desde la corteza hacia la médula, mediante lupa binocular en el laboratorio de la facultad de Ciencias Agrarias. Tras ello, los tarugos fueron digitalizados mediante un scanner HP Deskjet 3050 con una resolución de 1200x. Las imágenes JPG obtenidas fueron utilizadas para medir los incrementos radiales anuales mediante el programa CooRecorder (Maxwell y Larsson, 2021).

Las mediciones anuales de las tasas de incremento radial fueron validadas estadísticamente a través del software COFECHA (Holmes, 1983). Dicho programa permite calcular el coeficiente de correlación entre series individuales, determinando de tal manera el grado de sincronía entre las fluctuaciones anuales en el crecimiento radial (Speer, 2009). Luego de esta corroboración estadística, se procedió a excluir de los análisis posteriores 10 muestras del sitio Yaucha, y 2 de la parcela Estancia LC, respectivamente. Tras haber validado la calidad de las mediciones, se analizaron los siguientes índices estadísticos: intercorrelación entre series (IC), expresión de la relación entre los valores de crecimiento radial en individuos muestreados; sensibilidad media (SM), correspondiente a la diferencia relativa que existe entre el ancho del anillo con el desarrollado en el año siguiente; coeficiente de autocorrelación de primer orden (AC1), reflejo de la influencia de crecimiento radial del año previo sobre el crecimiento del año corriente. Finalmente, se procedió a calcular el incremento medio radial (IMA), correspondiente al crecimiento promedio anual de los anchos de anillos (Speer, 2009).

En pos de inferir posibles diferencias en las fluctuaciones del crecimiento radial en función de las características de los sitios examinados, las series dendrocronológicas de datos brutos fueron comparadas estadísticamente mediante análisis de la varianza no paramétrico de Kruskal-Wallis para el periodo en común 1991-2020, mediante el programa INFOSAT/P (2008).

## **2.3 Análisis de la relación entre crecimiento radial y factores climáticos**

Con el objetivo de comparar la vinculación en las fluctuaciones en el crecimiento radial con diferentes factores climáticos, se procedió a remover la señal de baja frecuencia relacionada, entre otros, a la edad del árbol y a eventos de disturbio, presente en las series dendrocronológicas brutas (Speer, 2009). A tal fin, se llevó a cabo un proceso de estandarización de los valores anuales de ancho de anillo, aplicando a cada serie dendrocronológica individual una función polinomial de tercer grado (*spline*: Cook, 1987; Speer, 2009), mediante el programa ARSTAN40c (Cook y Krusic, 2006). Se utilizó la versión “residual” de las cronologías promedio obtenidas luego del proceso de estandarización, en pos de evitar una posible sobreestimación de la influencia de los factores climáticos sobre la dinámica del crecimiento radial (Villalba y Veblen, 1997).

La relación entre tasas de incremento radial anual y factores climáticos fue examinada a través del cálculo de funciones de correlación simple (Speer, 2009). A tal fin, las dos series dendrocronológicas estandarizadas fueron consideradas como variables dependientes, mientras que los valores mensuales de precipitación total y temperatura promedio representaron las variables independientes. Los datos climáticos locales utilizados fueron obtenidos de las estaciones meteorológicas INTA La Consulta, ubicada en el departamento de San Carlos (33.73 S; 69.1 O) y perteneciente al repositorio SIGA (Sistema de Información y Gestión Agrometeorológica; datos disponibles en la página web <http://siga.inta.gob.ar/#/>; Fig. 4) y de la estación MALARGUE AERO, situada en el departamento de Malargüe (35.48 S; 69.58 O), perteneciente al repositorio MATEOMANZ (datos disponibles en la página web <http://www.meteomanz.com/>; Fig. 4). Las funciones de correlación fueron calculadas para cada sitio por el periodo en común 2000-2020, considerando una ventana temporal de 12 meses, desde abril del año previo al crecimiento radial hasta marzo del año corriente. En tales cálculos, se empleó el programa DENDROCLIM2002 (Biondi y Waikul, 2004).

## **3. RESULTADOS**

### **3.1 Características de las cronologías de ancho de anillos**

En la Tabla 2 se presentan las características dendrocronológicas para las dos plantaciones de pino piñonero examinadas en esta Tesis. Las cronologías de ancho de anillos fueron construidas a partir de 22 y 10 individuos de *P. pinea*, respectivamente para los sitios Yaucha y Estancia LC. Por lo que concierne a la extensión temporal de las series analizadas, emergió una pequeña diferencia entre sitios, siendo mayor el intervalo relativo al rodal localizado en Estancia LC (1987-2020 vs 1991-2021).

En lo relativo a los valores de incremento medio anual (IMA), se registró un valor más elevado para el sitio Estancia LC, si es comparado con el sitio Yaucha (6,78 mm/año, n = 33; 4,14 mm/año, n = 31; Tabla 2). En lo que concierne a los índices estadísticos IC y AC1 los mismos presentaron valores similares entre los dos rodales. En este sentido, emergieron para las plantaciones localizadas en los sitios Yaucha y Estancia LC, valores de IC = 0,62 - 0,60, y AC1 = 0,78 - 0,75, respectivamente (Tabla 2). Finalmente, la cronología Yaucha

exhibió un valor de sensibilidad media (SM) superior a la del sitio Estancia LC (SM = 0,37 vs 0,20; Tabla 2).

Tabla 2: características dendrocronológicas de *P. pinea* en los dos sitios analizados. N: número de individuos utilizados para la construcción de la cronología de ancho de anillos; Periodo: extensión temporal de cada cronología; IC: correlación entre series; IMA: incremento medio anual; AC1: coeficiente de autocorrelación de primer orden; SM: sensibilidad media.

Sitio	N	Periodo	IMA (mm)	IC	AC1	SM
Yaucha	22	1991-2021	4,14	0,62	0,78	0,37
Estancia LC	10	1987-2020	6,78	0,60	0,75	0,20

Las cronologías de valores bruto de ancho de anillo evidenciaron en ambos sitios cambios abruptos en los primeros años biológicos de crecimiento (Fig. 8). A partir de los años 1995/1997 aproximadamente, la variabilidad en las fluctuaciones radiales anuales se estabilizó exhibiendo un crecimiento con tendencia exponencial negativa (Fig. 8).

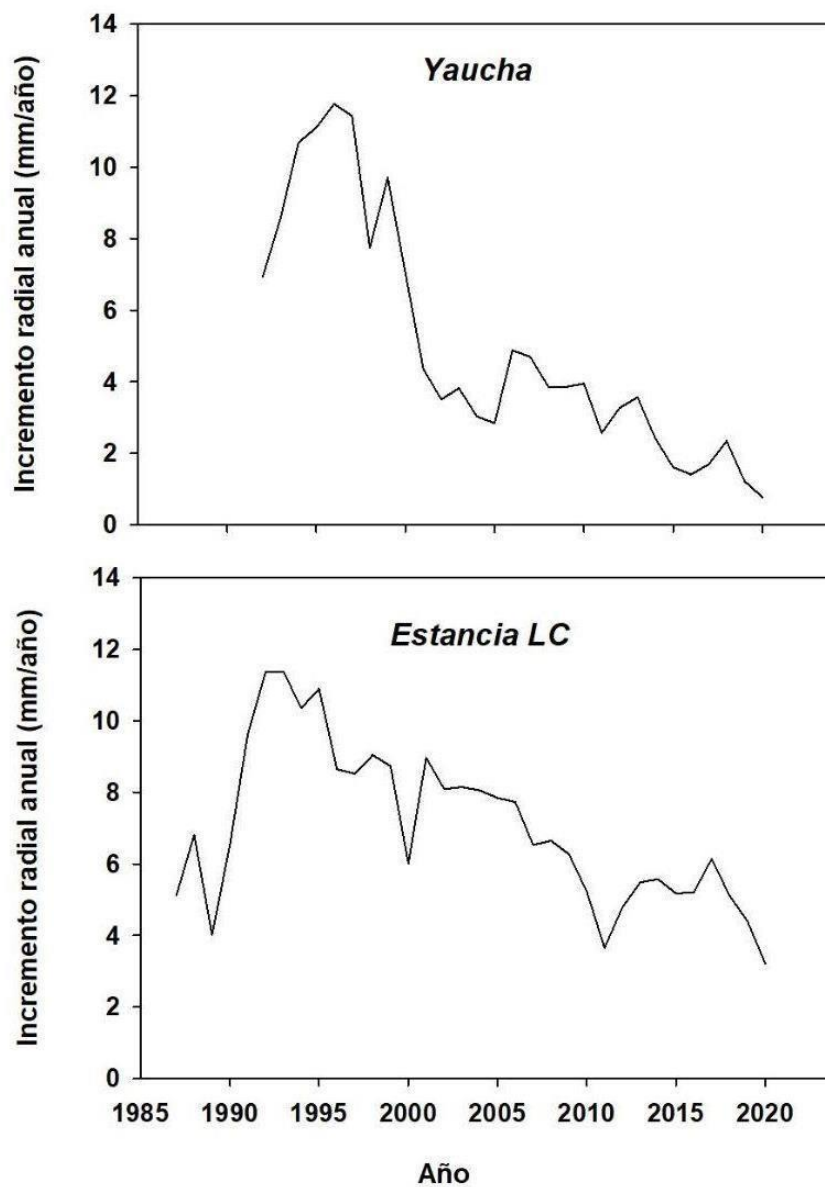


Figura 8. Cronologías de valores de ancho de anillo anual bruto (mm/año) para los dos sitios de muestreo.

El análisis de ANOVA no-paramétrico indicó diferencias estadísticamente significativas por lo que concierne a la variabilidad anual en el crecimiento radial bruto. En este sentido, las tasas de incremento anual en el sitio Estancia LC fueron significativamente mayores respecto a las fluctuaciones anuales registradas para el sitio Yaucha ( $H= 9,43$ ;  $p = 0,0021$ ;  $n = 30$ ; Fig. 9).

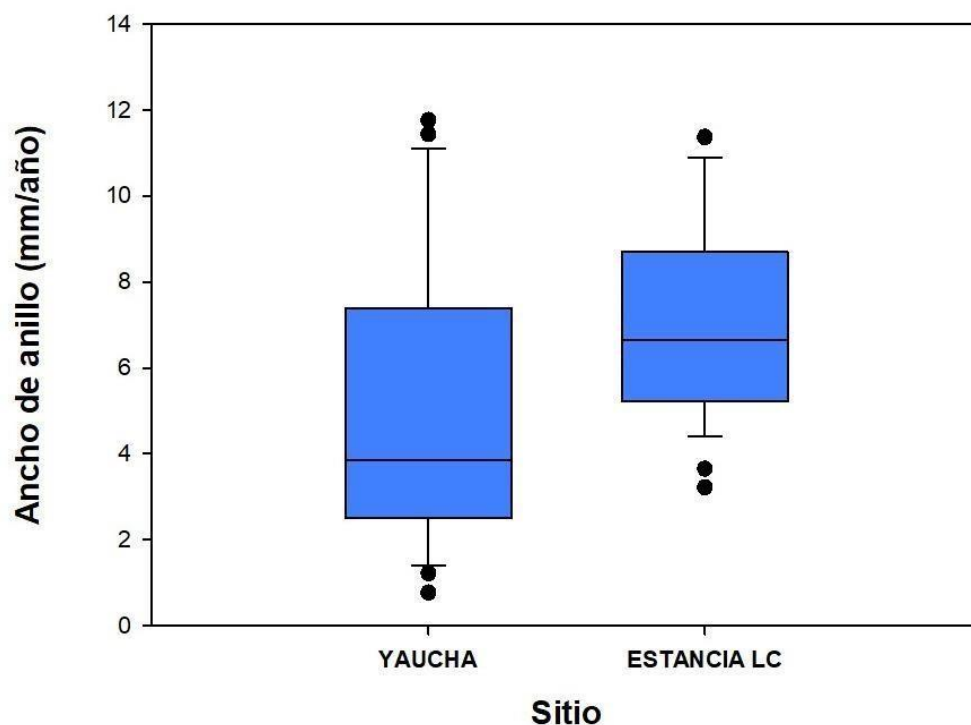


Figura 9. Gráfico de caja-bigote para los valores de incremento radial anual bruto para el periodo en común 1991-2020. Cada caja muestra los valores comprendidos en la distancia de un intercuartil (25% por encima y por debajo del promedio). El promedio se representa como línea negra. Los bigotes corresponden a un valor de 1,5 veces la distancia de un intercuartil, y se muestran como líneas negras verticales. Los círculos negros representan los valores atípicos.

### **3.2 Influencia de factores climáticos sobre el crecimiento radial anual**

En la figura 10, se muestran los resultados de las funciones de correlación entre las cronologías de datos estandarizados de ancho de anillo y las variables climáticas referidas a valores locales de precipitación total mensual y temperatura media mensual.

En lo que refiere a la cronología de *P. pinea* del sitio Yaucha, no se encontraron correlaciones estadísticamente significativas entre el crecimiento radial y los valores de precipitación total mensual (Fig.10). Por otro lado, emergió una relación negativa y estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ) entre las fluctuaciones en el incremento radial y las temperaturas de agosto previo al crecimiento radial y de marzo del año de crecimiento ( $r = - 0,50$  y  $r = - 0,42$ ; Fig.10).

Por lo que concierne al sitio Estancia LC, emergió una relación positiva y estadísticamente significativa entre las variaciones de crecimiento anual y las precipitaciones del mes de septiembre del año corriente ( $r = 0,32$ ; Fig.10). Por otro lado, se registraron correlaciones

positivas y estadísticamente significativas entre las tasas de incremento radial y las temperaturas promedio de los meses de junio, julio y agosto previo al desarrollo del anillo anual ( $r = 0,27$ ,  $r = 0,59$  y  $r = 0,44$ ; Fig.10).

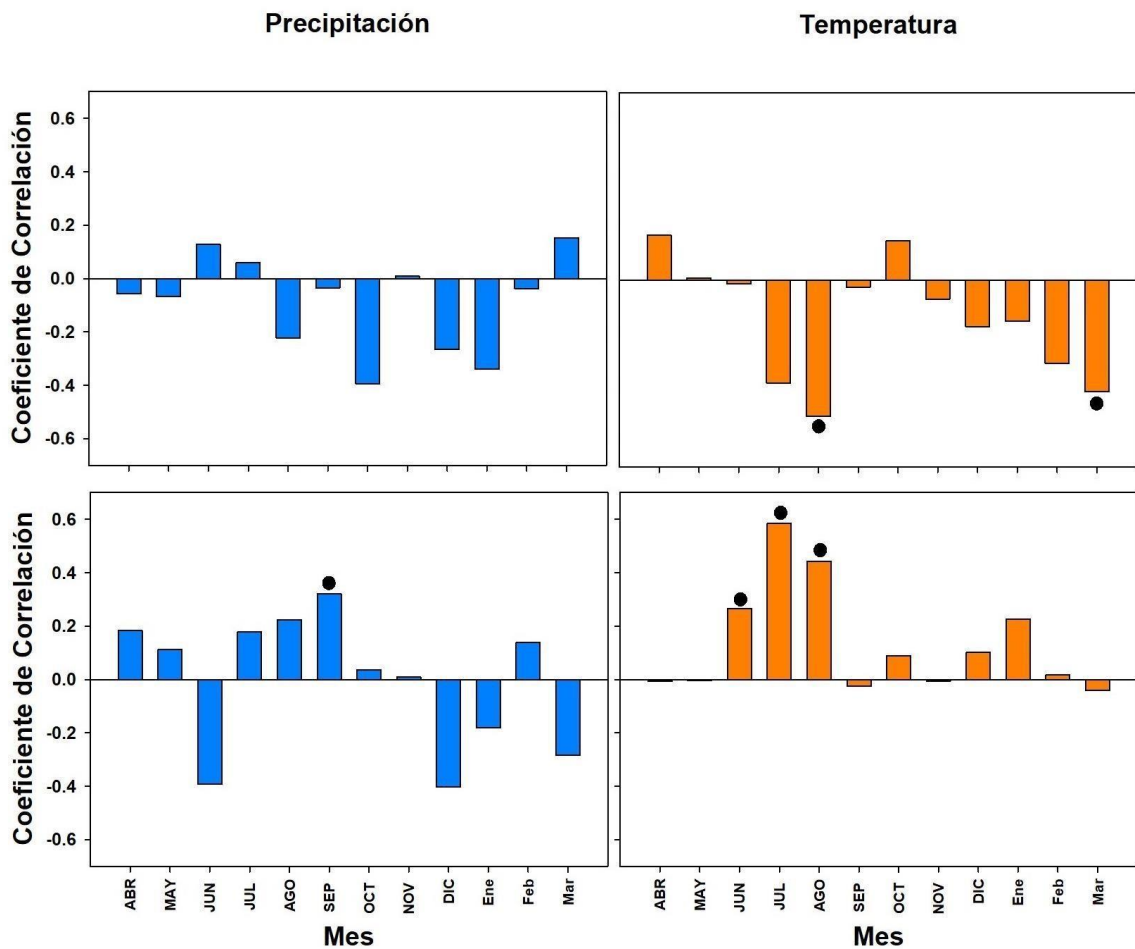


Figura 10. Coeficientes de correlación entre las cronologías residuales de *P. pinea* y los valores de precipitación total mensual y temperatura promedio mensual para los sitios Yaucha (arriba) y Estancia LC (abajo). Los círculos negros representan valores estadísticamente significativos por  $p < 0,05$ .

#### 4. DISCUSIÓN

En la presente Tesis, se examinó por primera vez la dinámica en el crecimiento radial a escala anual en individuos de *P. pinea* en dos sitios localizados en la Provincia de Mendoza. Esta investigación proporciona información novedosa a la literatura existente sobre la auto-ecología y dendroclimatología del pino piñonero, representando el primer estudio dendrocronológico en zonas de la especie en territorios de distribución extra-mediterránea.



En relación a los valores de los índices estadísticos IC, AC1, y SM, además de los valores de IMA, se muestra en la Tabla 3 una comparación con los emergidos en investigaciones previas desarrolladas en la zona de distribución natural de *P. pinea*, en pos de ubicar los hallazgos de esta pesquisa en un contexto más global.

Tabla 3: Características dendrocronológicas de bosques de *P. pinea* localizados en la Provincia de Mendoza y en la zona del Mediterráneo. IMA: incremento medio anual; IC: correlación entre series; SM: sensibilidad media. AC1: autocorrelación de primer orden. NE: valor no especificado.

Sitio	Autores	Edad (años)	IMA (mm)	IC	SM	AC1
Yaucha	Este trabajo	34	4,1	0,6	0,4	0,8
Estancia LC	Este trabajo	36	6,8	0,6	0,2	0,7
Túnez	Bachtobji Bouachir et al., 2018	50 - 90	1,2 - 3,2	0,8 - 0,9	0,4 - 0,5	0,2 - 0,3
Italia	Mazza y Manetti, 2013	53 - 150	1,3 - 3,3	0,5 - 0,8	0,2 - 0,3	NE
España	Natalini et al., 2015	60 - 147	1,4 - 3,7	0,5 - 0,7	0,2 - 0,4	NE
Portugal	Campelo et al., 2006	86 - 108	2,8 - 3,3	0,5 - 0,6	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5
Turquía	Akkemik, 2000	109	2	0,6	0,3	NE

La comparación estadística de las fluctuaciones anuales en los valores del ancho del anillo anual entre los dos rodales analizados, indicó para el pinar ubicado en el sitio Estancia LC valores promedio de crecimiento radial (IMA) estadísticamente superiores a los registrados en el sitio Yaucha de hasta el 50%. Este resultado puede entenderse considerando las diferencias climáticas y edáficas entre los sitios de muestreo. En este sentido, es menester subrayar que los pinos establecidos en el sitio Estancia LC reciben un aporte de precipitación más elevado que los ubicados en el sitio Yaucha, particularmente en el periodo invernal, inmediatamente anterior al comienzo de la temporada vegetativa (234 mm/año vs 45 mm/año; Fig. 4). Por otro lado, es posible hipotetizar que las variaciones edáficas entre los sitios a su vez hayan modulado la velocidad de incremento radial de la especie. El pino piñonero posee un sistema radicular compuesto por una raíz pivotante en conjunto con una red superficial radicular capaz de captar el recurso hídrico meteórico (Loewe Muñoz y González González, 2012). Es posible hipotetizar que las características edáficas del sitio Yaucha, de suelo mayormente arenoso con abundancia de canto rodado, se traduzcan en una menor capacidad de aprovechamiento de las precipitaciones si comparado con la composición edáfica del rodal localizado en Estancia LC, donde los individuos de *P. pinea* crecen sobre suelo de textura franca/franca-arcillosa, caracterizada por una mejor capacidad de retención del recurso hídrico meteórico (Noy-Meir, 1973; Austin et al., 2004; Piraino et al., 2015).

Estudios previos realizados en la zona del Mediterráneo indicaron valores de IMA inferiores a los obtenidos en esta investigación (Mechergui et al. 2021 y Tabla 3). Los valores de IMA en rodales



localizados en el área de distribución natural del pino piñonero oscilan entre 1,2 y 3,3 mm/año (Tabla 3). La mayor velocidad de crecimiento radial registrada por las plantaciones analizadas en esta Tesis puede entenderse considerando que los pinares aquí examinados presentan edades menores en relación a las poblaciones naturales de *P. pinea*, caracterizadas por un rango etario edad entre 50 y 150 años de edad (Mazza y Manetti, 2013; Piraino et al., 2013). En este sentido, se puede hipotetizar que los individuos de los rodales muestreados en este trabajo estén aun atravesando la etapa de crecimiento juvenil, la cual se caracteriza por elevadas tasas de incremento radial, previas a la natural tendencia en el crecimiento de tipo exponencial negativo característica de la etapa adulta de una especie leñosa (Speer, 2009).

Los valores de inter-correlación entre series (IC) emergidos en esta Tesis se ubican en el rango de los encontrados en la literatura relativa a la especie. En este sentido, si consideramos los valores de IC reportados para los rodales jóvenes analizados en la cuenca del Mediterráneo, cuya edad promedio es de aproximadamente 50 años, los mismos oscilan entre 0,5 y 0,9 (Akkemik, 2000; Mazza y Manenti, 2013; Piraino y Roig, 2013; Natalini et al., 2015; Bachtobji Bouachir et al., 2018). Los resultados de esta investigación entonces, si comparados con los hallazgos previamente citados, indican que las cronologías de ancho de anillo aquí desarrolladas son estadísticamente confiables para su posterior utilización en la comparación de la variabilidad entre sitios del crecimiento radial, y su vinculación con la variabilidad climática a escala local.

En relación al índice de sensibilidad media (SM), emergieron para las plantaciones examinadas valores de SM = 0,37 y 0,20, respectivamente para los sitios Yaucha y Estancia LC. Los mismos se ubican en el rango conocido para la especie en el Mediterráneo (SM = 0,20 - 0,47; Mechergui et al., 2021). Por otro lado, emergen diferencias entre los dos sitios de muestreo en relación a este índice estadístico. El menor valor de SM emergido para el sitio Estancia LC podría reflejar una posible diferencia de caudales de láminas de riego entre las plantaciones examinadas, si se supone un mayor valor para el sitio Estancia LC (Rigling et al., 2003). Estudios previos desarrollados en cultivos de *P. pinea* localizados en Chile evidenciaron una menor sensibilidad del crecimiento de la especie a los estímulos ambientales como consecuencia de la aplicación de riego superficial (Loewe-Muñoz et al., 2015, 2021). Sin embargo, es necesario subrayar que esta interpretación es altamente especulativa. Por ello, estudios futuros que presenten un preciso seguimiento del volumen de agua de riego aplicado a parcelas de pino piñonero podrán aportar información útil para incrementar nuestra comprensión de estos resultados.

En lo que corresponde al coeficiente de autocorrelación de primer orden (AC1), emergieron valores similares para las parcelas examinadas (AC1= 0,78 y 0,75), a diferencia de lo encontrado para el índice SM. Por otro lado, y análogamente a lo emergido por la sensibilidad media, los valores de AC1 encontrados en esta Tesis son similares a los hallados en pinares de la zona mediterránea (AC1 = 0.61 - 0.98; Piraino et al., 2013; Nabais et al., 2014; Garfi y Garfi, 2023).

Mediante el cálculo de las funciones de correlación, fue posible obtener información cuantitativa en relación a la influencia de los factores climáticos sobre las fluctuaciones en el crecimiento anual de la especie en el centro-oeste argentino. En ambos sitios de muestreo, emergió una vinculación entre tasas de crecimiento y valores mensuales de temperatura, a diferencia de la precipitación, que ejerció una influencia sobre el desarrollo del ancho de anillo exclusivamente para los pinos localizados en Estancia LC. La señal dendroclimatológica del sitio Yaucha indica que la variabilidad climática modula el crecimiento de la especie en el período anterior al comienzo de la actividad vegetativa y al finalizar el crecimiento radial. Por otro lado, el desarrollo del ancho de anillo de los individuos localizados en el sitio Estancia LC está vinculado con las

características climáticas del invierno anterior al incremento radial y a principios del periodo primaveral.

Por lo que respecta a los individuos localizados en la parcela ubicada en el sitio Yaucha, emergió una relación negativa y estadísticamente significativa entre los valores de crecimiento radial estandarizado y los valores promedio de las temperaturas del mes de agosto previo al desarrollo del ancho de anillo y de marzo del año de crecimiento radial. En relación a la primera señal dendroclimatológica, estudios previos indicaron una influencia negativa de las condiciones térmicas del periodo invernal sobre el desarrollo del ancho de anillo de *P. pinea* en los territorios del Mediterráneo (Mechergui et al., 2021). Desde un punto de vista ecofisiológico, estos resultados pueden entenderse considerando que elevadas temperaturas en los periodos tardoinvernal y otoñal pueden traducirse en un aumento de los procesos de evaporación del agua disponible en el suelo y transpiración de la planta (Awada et al., 2003). Este último proceso, en particular, conduce a una disminución de la actividad fotosintética como consecuencia del cierre estomático, lo cual resulta a su vez en una reducción de la capacidad de almacenamiento de fotoasimilados de reserva. Todos estos fenómenos finalmente se traducen en menores tasas de crecimientos radiales (Liphshitz et al., 1984; Mutke et al., 2003; Teobaldelli et al., 2004). Resultados similares emergieron para los bosques ubicados en la zona de distribución natural de *P. pinea*, donde elevadas temperaturas, en conjunto con escasas precipitaciones durante el periodo de crecimiento vegetativo, ejercieron un efecto negativo sobre la actividad cambial de la especie (Akkemik, 2000; Campelo et al., 2006; De Luis et al., 2009; Mazza y Manetti, 2013; Natalini et al. 2015).

Por lo que concierne a la señal dendroclimatológica emergida para la parcela establecida en el sitio Estancia LC, se aprecian correlaciones estadísticamente significativas tanto para temperaturas como precipitaciones. En relación a la influencia del primer factor abiótico, se registraron correlaciones positivas entre esta variable y el crecimiento radial en el transcurso del periodo invernal. Dicho resultado puede interpretarse considerando que elevadas temperaturas en tal temporada pueden provocar el derretimiento de las precipitaciones níveas características de esta zona, influyendo por ende sobre la recarga hídrica del perfil edáfico (Pascual Flores et al., 2018). Por otro lado, diferentes autores han indicado que elevadas temperaturas invernales pueden provocar un comienzo temprano de la actividad cambial, mediante una interrupción del periodo de dormancia del árbol (Campelo et al., 2006; Natalini et al., 2015). Estudios futuros podrían analizar el crecimiento de la especie en el centro-oeste argentino a escala intra-anual mediante el uso de dendrómetro, permitiendo examinar con exactitud la extensión temporal del desarrollo del tejido del leño (Loewe-Muñoz et al., 2021). En relación a las precipitaciones, emergió una correlación positiva entre los valores del mes de septiembre de esta variable abiótica y el crecimiento radial. Este resultado, sí interpretado en función de lo previamente expuesto relativo a la relación crecimiento-temperaturas invernales, sugiere la importancia de un balance hídrico positivo en el perfil del suelo sobre el crecimiento radial de *P. pinea* durante el comienzo de la temporada de crecimiento para los pinos localizados en el sitio Estancia LC (Piraino et al., 2013). Investigaciones previas han registrado resultados similares a los emergidos subrayando la importancia de las condiciones climáticas tardío-invernales y de comienzo de la primavera en la región del Mediterráneo (Mechergui et al., 2021).

Finalmente, no es posible excluir la influencia del aporte de agua de riego sobre el desarrollo del ancho de los anillos en el área de estudio. Nuevamente, la falta de registros de esta variable no permitió incluirla en el desarrollo de modelos estadísticos, y por ende, evaluar su efecto sobre la dinámica en el crecimiento de la especie. Según Perulli et al. (2022), el riego suplementario

debería implicar un desacoplo de los procesos fisiológicos relativos a la actividad del cambium meristemática, con consecuente ausencia de señales dendroclimatológicas estadísticamente significativas. Por ello, la presencia de valores significativos en el cálculo de las funciones de correlación entre incremento radial estandarizado y variabilidad climática, podría sugerir que el volumen de agua aportado no fue lo suficiente para desvincular el crecimiento de la especie de la influencia de la variabilidad ambiental, similarmente a lo señalado para pinares centroeuropeos (Feichtinger et al., 2014).

## 5. CONCLUSIONES

Este estudio examinó por primera vez la dinámica del crecimiento radial anual de *P. pinea* y su vinculación con los factores climáticos en territorios extra-europeos, aportando información cuantitativa sobre la autoecología en los territorios del centro-oeste argentino. Estos resultados representan un punto de partida para una posible incorporación futura de *P. pinea* a la matriz forestal de la Provincia de Mendoza, considerando en particular la búsqueda de especies forestales exóticas resistentes a las condiciones de mayor aridez proyectadas para los territorios provinciales (Labraga y Villalba, 2009).

En relación a los hallazgos de esta Tesis, y a su posible utilidad para emprendimientos forestales locales, es menester subrayar que el pinar ubicado en el sitio Estancia LC exhibió un desarrollo de leño notablemente superior a los pinos localizados en el sitio Yaucha. Esto se debe, probablemente, a que las condiciones climáticas del sitio Estancia LC se asemejan a las características del clima mediterráneo con régimen de lluvias mayoritariamente invernal, si son comparadas con las del sitio Yaucha de clima típicamente semiárido. En este sentido entonces, el área meridional de la Provincia de Mendoza puede representar un distrito con potencialidad para el cultivo de esta especie. Por último, como se mencionó anteriormente en diferentes puntos a lo largo de esta pesquisa, estudios futuros deberán incluir un seguimiento riguroso y adecuado del volumen de agua suministrado a estos cultivos forestales, permitiendo de tal manera proporcionar a los productores valores precisos de lámina de riego necesarios para una correcta gestión de *P. pinea* en Mendoza.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Aguirre, Z. & Aguirre, L. (2021). *Estado actual e importancia de los Productos Forestales No Maderables*. Latindex. Bosques Latitud Cero, 11(1), 71-82.

Akkemik, Ünal. (2000). *Dendroclimatology of Umbrella Pine (Pinus pinea L.) in Istanbul, Turkey*. Tree-Ring Bulletin. 56.

Austin, A.T., Yahdjian, L., Stark, J.M., Belnap, J., Porporato, A., Norton, U., Ravetta, D.A., & Schaeffer, S.M. (2004). *Water pulses and biogeochemical cycles in arid and semiarid ecosystems*. Oecologia, 141(2), 221-235.

- Awada, T., Radoglou, K., Fotelli, M. & Constantinidou, H. (2003). *Ecophysiology of seedlings of three Mediterranean pine species in contrasting light regimes*. *Tree Physiology*, 23(1), 33–41. <https://doi.org/10.1093/treephys/23.1.33>
- Bachtboji Bouachir, B., Khorchani, A., Guibal, F., El Aouni Hédi, M. & Khaldi, A. (2018). *Dendroecological study of Pinus halepensis and Pinus pinea in northeast coastal dunes in Tunisia according to distance from the shoreline and dieback intensity*. *Dendrochronologia*, 45, 62-72. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2017.06.008>
- Barbieri, C. M., Grassino, D. & Lupano, H. (1978). *Características tecnológicas de la madera de Pinus pinea L. (pino piñonero) de Miramar*.
- Biondi, F., & Waikul, K. (2004). *DENDROCLIM2002: program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies*. *Computers & Geosciences*, 30(3), 303-311. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2003.11.004>
- Biro, Y. & Gracia, C. (2011). *Water for Forests and People in the Mediterranean Region: A Challenging Balance*. European Forest Institute
- Byron, R.N. & Arnold, J.E.M (1999). *What futures for the people of the tropical forests?*. *World Development*, 27(5), 789-805
- Calama, R., Gordo, F.J., Montero, G., Piqué, M., García-Nieto, O., Pastor, A., Herrero, J., Arias, M.J., Pardos, M. & Mutke, S. (2020). *El piñón mediterráneo*. INIA: Serie Forestal.
- Calderón, A.D & Mastrantonio, L. (2000). *Rendimiento de rollizos de álamo según clases diamétricas*. *Biblioteca digital UNCUIYO*, 32 (1), 89-94. <https://bdigital.uncu.edu.ar/11071>
- Calderón, A. D., Bustamante, J. A., Riu, N. E., & Perez, S. A. (2004). *Comportamiento de coníferas bajo riego en dique yaucha Provincia de Mendoza, Argentina*. *Biblioteca digital UNCUIYO*, 36(2), 1-6. <https://bdigital.uncu.edu.ar/2676>.
- Camacho Valdez, V. & Ruiz Luna, A. (2011). *Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos*. *Revista BioCiencias*
- Campelo, F., Nabaisa, C., Freitas, H. & Gutierrez, E. (2006). *Climatic significance of tree-ring width and intra-annual density fluctuations in Pinus pinea from a dry Mediterranean area in Portugal*. *Ann. For. Sci.* 64 (2006) 229–238 229 c INRA, EDP Sciences, 2007 DOI: 10.1051/forest:2006107.
- Campo García, ADD., Gualberto Fernandes, TJ. & Molina Herrera, A. (2014). *Hydrology-oriented (adaptive) silviculture in a semiarid pine plantation: How much can be modified the water cycle through forest management?*. *European Journal of Forest Research*. 133(55):879-894. doi:10.1007/s10342-014-0805-7.
- Cherubini, P., Gartner, B.L, Tognetti, R., Braker, O.U, Schoch, W. & Innes, JL (2003) *Identification, measurement and interpretation of tree rings in woody species from Mediterranean climates*. *Biol Rev* 78:119–148

- Cobas, A. C, Area, M. C, & Monteoliva, S. (2013). *Juvenile to mature wood transition in one clone of Populus deltoides implanted in Buenos Aires, Argentine*. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 15(2), 223-234. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2013005000018>
- Cook, E. R. (1987). *The decomposition of tree-ring series for environmental studies*. *Tree-Ring Bulletin* 47:37-59
- Cook, E.R., & Krusic, P.J. (2006). *ARSTAN 41: a tree-ring standardization program based on detrending and autoregressive time series modeling, with interactive graphics*. TreeRing Laboratory, Lamont Doherty Earth Observatory of Columbia University, New York.
- Cook, E. R. & Pederson, N. (2011). *Uncertainty, Emergence, and Statistics in Dendrochronology*. *Dendroclimatology: Progress and Prospects*
- Cordero, D. (2011). *Los bosques en América Latina*. Fundación Friedrich Ebert, FES-ILDIS.
- De la Peña, G. & Illsley, C. (2001). *Los productos forestales no maderables: su potencial económico, social y de conservación*. *Ecológica*. <http://www.jornadaunam.mx/2001/08/27eco-a.html>.
- De Luis, M., Cufar, K., Novak, K. & Raventós, J. (2009). *Size mediated climate–growth relationships in Pinus halepensis and Pinus pinea*. *Trees*. 23. 1065-1073. 10.1007/s004680090349-5.
- De Luis, M., Čufar, K., Di Filippo, A., Novak, K., Papadopoulos, A. et al (2013) *Plasticity in Dendroclimatic Response across the Distribution Range of Aleppo Pine (Pinus halepensis)*. *PLoS ONE* 8, e83550. doi:10. 1371/journal.pone.0083550
- Fady, B., Fineschi, S. & Vendramin, G.G. (2008). *Guía técnica para la conservación genética y utilización del pino piñonero (Pinus pinea)*. EUFORGEN.
- FAO (2006). *Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2005. Hacia la ordenación forestal sostenible*. FAO. Roma
- FAO (2007). *Los productos forestales no madereros*. Departamento Forestal
- FAO (2020). *Global Forest Resources Assessment 2020 – Main report. (Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2020 – Informe completo)* Roma.
- FAO & PNUMA (2020). *El estado de los bosques del mundo. Los bosques, la biodiversidad y las personas*. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca8642es>
- Feichtinger, L.M., Eilmann, B., Buchmann, N. & Rigling, A. (2014). *Growth adjustments of conifers to drought and to century-long irrigation*. *For Ecol Manag* 334:96–105
- Fitzgerald, J., Jacobsen, J.B., Blennow, K., et al. (2013) *Climate change in European forests: how to adapt*. European Forest Institute, Joensuu, Finland.
- Fritts, H.C. (1976). *Climate from tree rings*. Academic Press, London. 567 pags

García Güemes, C. (1999). *Modelo de simulación selvícola para Pinus pinea L. en la provincia de Valladolid*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.

García, M.P, Dávalos-Sotelo, R., Rodríguez-Tellez, E., Aguirre, O.A, & Treviño-Garza, E. (2014). *Sensibilidad climática de tres versiones dendrocronológicas para una conífera mexicana*. *Madera y Bosques*, 20 (3), 139-151.

Garfi, V. & Garfi, G. (2023). *Differential Tree Growth Response to Management History and Climate in Multi-Aged Stands of Pinus pinea L.* *Plants* (13),61. <https://doi.org/10.3390/plants13010061>

Gordo, A.J., Mutke S., Prada A. & Gil, L (1999). *El Pino Piñonero (Pinus pinea L.) Mejora genética y masas productoras de semillas de los pinares Españoles*. CIFOR INIA-DGCONA

Gordo, A.J., Álvarez, D., Mutke, S. & Gil, L. (2009). *Selección y usos de materiales de base en el Pino piñonero*. V Congreso Forestal Español. SECF. España, 2-7

Gutiérrez, P. (2007). *Análisis del sector de la piña y el piñón y sus aprovechamientos en Andalucía*. Universidad de Córdoba, España.

Gutiérrez, E. (2008). *La dendrocronología: métodos y aplicaciones*.

Hillel, D. (1982). *Introduction to soil physics* (Vol. 364). New York: Academic press.

Holmes, R.L. (1983). *Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement*. *Tree-Ring Bulletin*, 43, 69–78.

INFOSTAT/P. (2008). Infostat profesional. UNC, FCA, Córdoba, Argentina.

Instituto Federal de Investigación sobre Bosques, Nieve y Paisaje. Research WSL (2024). Recuperado de [https://www.wsl.ch/dendro/products/dendro\\_glossary/index\\_EN](https://www.wsl.ch/dendro/products/dendro_glossary/index_EN)

Labraga, J.C. & Villalba, R. (2009). *Climate in the Monte Desert: past trends, present conditions, and future projections*.73(2), 154–163. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2008.03.016>

Lindner, M., Maroschek, M., Netherer, S., et al. (2010). *Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems*. Adapt For For Manag Chang Clim Sel Pap Conf “Adaptation For For Manag Change Clim Emphas For Health Rev Sci Policies Pract Umeå Swed August 25-28 2008 259:698–709. doi: 10.1016/j.foreco.2009.09.023

Liphschitz, N., Lev-Yadun, S., Rosen, E. & Waisel, Y. (1984). The annual rhythm of activity of the lateral meristems (cambium and phellogen) in *Pinus halepensis* Mill. and *Pinus pinea* L. *IAWA Bulletin*, 5,263-274. <https://doi.org/10.1163/22941932-90000413>

Loewe Muñoz, V. & Delard, R. (2012). *Un nuevo cultivo para Chile, el pino piñonero (Pinus pinea L.)*. Instituto Forestal. <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/59350>

Loewe Muñoz, V. & González González, M. V. (2012). *Apuntes sobre una gira de estudio sobre el Piñón del Pino piñonero (Pinus pinea) a Italia, España y Portugal*. Ciencia & Investigación Forestal, 18(1), 77–92. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2012.382> Loewe-Muñoz, V., Delard Rodríguez, C., Balzarini, M., Álvarez-Contreras, A. & NavarroCerrillo, R. (2015). *Impact of climate and management variables on stone pine (Pinus pinea L.) growing in Chile*. Agricultural and Forest Meteorology, 214-215 (2015) 106-116.

Loewe-Muñoz, V., Balzarini, M., Álvarez-Contreras, A., Delard-Rodríguez, C. & NavarroCerrillo, R. (2016). *Fruit productivity of Stone pine (Pinus pinea L.) along a climatic gradient in Chile*. Agricultural and Forest Meteorology, 223, 203-216.

Loewe-Muñoz, V., Del Río, R., Delard, C. & Balzarini, M. (2021). *Short term stem diameter variations in irrigated and non irrigated stone pine (Pinus pinea L.) trees in a xeric non-native environment*. Annals of Forest Science. 78-99

McDowell, N., Pockman, W.T., Allen, C.D., Breshears, D.D., Cobb, N., Kolb, T., Sperry, J., West, A., Williams, D. & Yepez, E.A. (2008). *Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought?* Tansley review. New Phytol. 178. 719-739.

Maxwell, R. S., & Larsson, L. A. (2021). *Measuring tree-ring widths using the CooRecorder software application*. Dendrochronologia, 67.

Mazza, G. & Manetti, M.C. (2013). *Growth rate and climate responses of Pinus pinea L. in Italian coastal stands over the last century*. Climatic Change (2013) 121:713–725 DOI 10.1007/s10584-013-0933-y

Mechergui, K., Saleh Altamimi, A., Jaouadi, W. & Naghmouchi, S. (2021). *Climate change impacts on spatial distribution, treeing growth, and water use of stone pine (Pinus pinea L.) forests in the Mediterranean region and silvicultural practices to limit those impacts*. iForest 14: 104-112. – doi: 10.3832/ifor3385-013 [online 2021-03-01]

Millán, E. (2021). *Geología de la Ruta 40: Un aporte de la FCEN para Malargüe Cruce del Río Malargüe*. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación. (2022). *Segundo Inventario Nacional de Bosques Nativos: Informe Nacional*. Buenos Aires: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación.

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2005). *Plataforma Digital Única del Estado Peruano para Orientación al Ciudadano*.

Ministerio de Economía Argentina (2023). *Plantaciones forestales - Sistemas de Monitoreo, Inventario y Acceso a la Información*. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Pesca.

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. (2021). *Informe del estado del ambiente*

Morello, J. (1958). *La Provincia Fitogeográfica del Monte*. Opera Lilloana 2, 5-115

- Mutke, S., Gordo, J., Climent, J. & Gil, L. (2003). *Shoot growth and phenology modelling of grafted Stone pine (Pinus pinea L.) in Inner Spain*. Ann. For. Sci. 60, 527-537.
- Mutke, S., Calama, R., Gonzalez-Martinez, S.C., Montero, G., Javier-Gordo, F., Bono, D & Gil, L. (2012). *Mediterranean stone pine: botany and horticulture*. In Horticultural Reviews, J. Janick (Ed.). <https://doi.org/10.1002/9781118100592.ch4>
- Nabais, C., Campelo, F., Vieira, J. & Cherubini, P. (2014). *Climatic signals of tree-ring width and intra-annual density fluctuations in Pinus pinaster and Pinus pinea along a latitudinal gradient in Portugal*. Forestry. doi:10.1093/forestry/cpu021
- Natalini, F., Alejano Monge, R., Vázquez Piqué, J. & Cañellas, I. (2013). *Growth trends and sensitivity to climate of declining Mediterranean open woodlands exhibiting widespread mortality in Southern Spain*. En: Ameridendo at Tucson, USA .Póster
- Natalini F., Correia, A.C., Vázquez-Piqué, J. & Reyes, A. (2015). *Tree rings reflect growth adjustments and enhanced synchrony among sites in Iberian stone pine (Pinus pinea L.) under climate change*. Annals of Forest Science (2015) 72:1023–1033 DOI 10.1007/s135950150521-6
- Novak, K., De Luis, M., Čufar, K. & Raventós, J.(2011). *Frequency and variability of missing tree rings along the stems of Pinus halepensis and Pinus pinea from a semiarid site in SE Spain*. Journal of Arid Environments 75 (5),494-498. ISSN 0140-1963, <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2010.12.005>.
- Novak, K., De Luis, M., Raventós, J. & Čufar, K. (2013). *Climatic signals in tree-ring widths and wood structure of Pinus halepensis in contrasted environmental conditions*. Trees-Struct Funct 27:927–936
- Noy-Meir, I. (1973). *Desert ecosystems: environment and producers*. Annual review of ecology and systematics, 4, 25-51.
- Ota, S., Jobbágy, E.G., Vich, A., Viglizzo, E.F., Lauro, C., Vaccarino, E. & Bastidas, L. (2022). *Dinámica de las tierras irrigadas en el centro oeste de Argentina durante el período 1986-2018: Análisis a partir de la anomalía del índice de vegetación mejorado*. GEOACTA, 44 (1), 35-55. <https://revistas.unlp.edu.ar/geoacta/article/view/14496/13410>
- Pascual-Flores, R., Ruggeri, M.F., López-Noreña, A. I., Fernandez, R., Bolaño-Ortiz, T. & Puliafito, E. S. (2018). *Análisis de la relación entre la deposición potencial de aerosoles atmosféricos y el caudal del río Mendoza en la subcuenca Tupungato en la Provincia de Mendoza, Argentina*.
- Perulli, G.D., Peters, R.L., von Arx, G., Grappadelli, L.C., Manfrini, L. & Cherubini, P. (2022). *Learning from the past to improve in the future: tree-ring wood anatomy as retrospective tool to help orchard irrigation management*. Acta Hortic. 1335, 179-188. DOI: 10.17660/ActaHortic.2022.1335.21
- Pimentel, D., McNair, M., Back, L., Pimentel, M. & Kamil, J. (1997). *The value of forests to world's food security*. Human Ecology 25: 92-120.



- Piraino, S., Camiz, S., Di Filippo, A., Piovesan, G. & Spada, F. (2013). *A dendrochronological analysis of Pinus pinea L. on the Italian Mid-tyrrhenian Coast*. *GEOCHRONOMETRIA* 40(1): 77-89.
- Piraino, S., & Roig-Juñent, F.A. (2013). North Atlantic Oscillation influences on radial growth of *Pinus pinea* on the Italian mid-Tyrrhenian coast. *Plant Biosystems- An International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology*, 148(2), 279-281.
- Piraino, S., Abraham, E.M., Diblasi, A. & Roig Junent, F.A. (2015). *Geomorphological-related heterogeneity as reflected in tree growth and its relationships with climate of Monte Desert Prosopis flexuosa DC woodlands*. *Trees* 29, 903–916. <https://doi.org/10.1007/s004680151173-8>
- Quiróz, I., González, M., García, E., & Charlín, G. (2008). *Ensayos de germinación para semillas de Pinus pinea L. colectadas en dos plantaciones de la comuna de Pichilemu*. *Cien Invest For*, 14(2), 239-246.
- Quiroga, A. & Bono, A. (2012). *Manual de fertilidad y evaluación de suelos*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Raddi, S., Cherubini, P., Lauteri, M. & Magnani, F. (2009). *The impact of sea erosion on coastal Pinus pinea stands: a diachronic analysis combining tree-rings and ecological markers*. *For Ecol Manag* 257(3):773–781
- Riu, N., Sanjurjo, V. & Settepani, V. (2008). *Requerimiento hídrico en álamos de siete años de edad: Rivadavia, Mendoza, Argentina*. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, Vol. 40, no. 2, p. 19-24.
- Rigling, A., Bruhlhart, H., Bräker, O.U, Forster, T. & Schweingruber, F.H. (2003). *Effects of irrigation on diameter growth and vertical resin duct production in Pinus sylvestris L. on dry sites in the central Alps, Switzerland*. *Forest Ecology and Management* 175, 285-296
- Ruiz Pérez, C., García Fernández, C. & Sayer, J.A (2007). *Los servicios ambientales de los bosques*. *Ecosistemas*, 16 (3), 81-90.
- Sanchez-Acosta, M. & Vera, L. (2005). *Situación foresto-industrial de Argentina al 2005*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
- Speer, J.H. (2009). *Fundamentals of Tree-Ring Research*. University of Arizona.
- Stokes, M.A. & Smiley, T.L. (1996). *An Introduction to Tree-ring Dating*. University of Arizona Press, Tucson, EUA.
- Teobaldelli M., Mencuccini, M. & Piussi, P. (2004). *Water table salinity, rainfall and water use by umbrella pine trees (Pinus pinea L.)*. *Plant Ecology*; 171(1-2): 23-33
- Vergarechea, M., Calama, R., Pretzsch, H., Alday, J. G. & Del Río, M. (2021). *Short and long term growth response to climate in mixed and monospecific forests of Pinus pinea and Pinus pinaster*. *European Journal of Forest Research* (2021) 140:387–402

Villalba, R. & Veblen, T.T. (1997) *Spatial and temporal variation in Austrocedrus growth along the forest-steppe ecotone in northern Patagonia*. Can J For Res 27:580–597

Villalba, R., Villagra, P.E., Boninsegna, J.A., Morales, M.S & Moyano, V. (2000). *Dendroecología y Dendroclimatología con especies del género Prosopis en Argentina*. Multequina,9(2),01-18.

Zúniga- Carrillo, C. (2012). *Aplicación de la dendrocronología para evaluar la influencia de la precipitación y la temperatura en el crecimiento de Tectona grandis L.f. procedente del Fundo Génova - Junín*. ResearchGate.