



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales

Patrones de crecimiento y mortalidad en una población de *Persea lingue* en el Parque Nacional La Campana durante los últimos 100 años, evaluado mediante registros dendrocronológicos

Patrocinante: Sr. Duncan Christie B.
Co-patrocinante: Sr. Carlos Le Quesne G.

Trabajo de Titulación presentado como parte
de los requisitos para optar al Título de
Ingeniero en Conservación de Recursos Naturales

GONZALO ADRIÁN GRANIFO DONOSO

VALDIVIA

2025


	Índice de materias	Página
i	Calificación del Comité de Titulación	i
ii	Agradecimientos	ii
iii	Resumen	iii
1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	2
2.1.	Cambio climático en Chile central	2
2.2.	Ecosistemas mediterráneos	4
2.3.	Parque Nacional La Campana	5
2.4.	<i>Persea lingue</i>	7
3.	METODOLOGÍA	9
3.1.	Área de estudio	9
3.2.	Recolección de muestras y toma de datos	11
3.3.	Preparación de muestras	12
3.4.	Reconocimiento y descripción de anillos de crecimiento de <i>Persea lingue</i> .	12
3.5.	Medición de ancho de anillos, identificación tasas de crecimiento y construcción de cronología	12
3.6.	Análisis de correlación entre cronología y variables climáticas	13
4.	RESULTADOS	14
4.1.	Metodología	14
4.2.	Tasas de crecimiento	17
4.3.	Extensión de las series	18
4.4.	Cronologías de ancho de anillos	20
4.5.	Relaciones con variables climáticas	22
4.5.1.	Correlación con precipitación	23
4.5.2.	Correlación con temperatura	24

4.5.3.	Correlación con humedad del suelo	27
4.5.4.	Correlación con temperatura del suelo	29
5.	DISCUSIÓN	30
5.1.	Cronologías ancho de anillos	30
5.2.	Establecimiento y mortalidad de <i>Persea lingue</i>	31
5.3.	Tasas y patrones de crecimiento	31
5.4.	Relación clima-crecimiento	32
6.	CONCLUSIONES	32
7.	REFERENCIAS	34
Anexos	1 Diagrama climático Parque Nacional la Campana para el periodo de 1960-2021	38
	2 Individuos de <i>Persea lingue</i> desarraigados en el Parque Nacional La Campana.	
	3 Proceso de muestreo y lijado de rodela.	
	4 Claro formado a causa de la mortalidad en individuos de <i>Persea lingue</i> .	
	5 Brinzales de <i>P. lingue</i> , <i>Aristotelia chilensis</i> y <i>Cryptocarya alba</i> .	
	6 Tabla con la estadística descriptiva de cada serie individual de <i>P. lingue</i> .	
	7 Distribución de muestras formato rodela en el sitio de estudio.	
	8 Cronologías de ancho de anillos de <i>Persea lingue</i> en su versión estándar, residual, y profundidad de muestreo.	

Calificación del Comité de Titulación

		Nota
Patrocinante:	Sr. Duncan Christie Browne	<u>6,8</u>
Co-patrocinante:	Sr. Carlos LeQuesne Geier	<u>6,6</u>
Informante:	Sr. Moisés Rojas Badilla	<u>6,7</u>
Informante:	Sr. Felipe Flores Sáez	<u>6,8</u>

El patrocinante acredita que el presente trabajo de Titulación cumple con los requisitos de contenido y de forma contemplados en el Reglamento de Titulación de la Escuela. Del mismo modo, acredita que en el presente documento han sido consideradas las sugerencias y modificaciones propuestas por los demás integrantes del Comité de Titulación.



Sr. Duncan Christie B.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todas las personas que me han acompañado en este arduo camino que es la vida, y en particular en esta importante etapa profesional que es la culminación de mis estudios universitarios. Un agradecimiento muy especial a mi madre, María Alejandra Donoso Fernández, quien desde siempre ha hecho todo lo posible por ayudarme, y de quien sin duda parte de mis logros también son suyos.

Agradezco, a los compañeros que conocí desde primer año, con quienes se formaron amistades que hasta hoy perduran; a los profesores con los que tuve el privilegio de estar en sus clases y aprender, grandes académicos y mejores personas. Extiendo también mi gratitud a todas las personas del Laboratorio de Dendrocronología de la universidad, por su constante disposición a colaborar, lo cual fue un pilar fundamental en el desarrollo de este trabajo.

De manera especial, agradezco a los profesores e investigadores de la comisión académica. Al profesor Carlos LeQuesne, por la gran inspiración que me entrego desde el primer momento de la tesina y que desde luego era una motivación para no decaer, ya que desde sus primeras clases en primer año me permitió ver la naturaleza desde otro enfoque. Al profesor Duncan Christie, por todo el apoyo desde el inicio, desde la búsqueda del tema de investigación en Chile central, y durante todo el desarrollo y por las valiosas oportunidades académicas que me han enriquecido profesionalmente. Agradezco también a Moisés Rojas, por su gran disposición a resolver dudas y entregar consejos, y a Felipe Flores, por su importante rol en la asistencia de esta investigación, cuya paciencia y guía paso a paso fueron claves para mí.

Finalmente agradecer que el presente trabajo de titulación fue financiado por el Laboratorio de Dendrocronología de la Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales de la Universidad Austral de Chile. FONDECYT N°1221307 “Evolution of Late Frost Risk in Central Chile: 500 years of Variability and Changes”, Y FONDAP-ANID 1523A0002 “Center for Climate and Resilience Research (CR)2”.

Gracias a todos, y sobre todo gracias a Dios.

Resumen

En el presente trabajo se desarrolló una cronología de anillos de crecimiento de *Persea lingue* a partir de muestras colectadas en el sector Granizo del Parque Nacional La Campana, en los valles interiores de la Región de Valparaíso (comunas de Quillota y Olmué). La población estudiada se ubica en el límite norte de distribución para la especie. El estudio tuvo como objetivos determinar las tasas de crecimiento radial, establecer la fecha de muerte de individuos y analizar la relación entre el crecimiento de la especie y la variabilidad del clima local (precipitación y temperatura). La cronología alcanzó los 129 años de extensión, con un crecimiento radial promedio de $1,36 \pm 1,37$ mm/año. Los resultados muestran que el crecimiento radial de la población en La Campana presenta alta sincronía y señal común durante el siglo XX con una Intercorrelación entre series de $r > 0.5$. La distribución de los eventos de mortalidad se concentra desde 1996 hasta 2019, con un 76 % ocurridos entre 1996 y 2009, y 24% entre 2010 y 2019. lo que evidencia un importante decaimiento poblacional años previos al inicio de la megasequía en Chile central. Las correlaciones climáticas indican una relación positiva del crecimiento radial con la precipitación a lo largo del año en particular durante los meses de mayo a diciembre, y una relación negativa con la temperatura máxima entre mayo y diciembre. En contraste, la temperatura mínima se relaciona positivamente con el crecimiento entre diciembre y abril. También se detectó una relación positiva entre la humedad del suelo y el crecimiento en los meses de mayo a septiembre y de enero a abril, mientras que la temperatura del suelo presentó correlaciones negativas entre septiembre y diciembre, y relación positiva entre enero y abril. Estos resultados evidencian la fuerte dependencia de la especie con las condiciones climáticas en su distribución septentrional. Desde comienzos del siglo XXI se observa una marcada reducción en su crecimiento, lo que sugiere que la variabilidad climática asociada al cambio climático constituye un factor determinante en los eventos de mortalidad de *Persea lingue* en el Parque Nacional La Campana.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el cambio climático está alterando las condiciones climáticas aumentando la temperatura a nivel global y disminuyendo las precipitaciones en varias regiones, en especial los subtrópicos. Estos cambios en la temperatura y la disponibilidad de agua están alterando los ecosistemas, ejerciendo presión sobre la dinámica natural y supervivencia de estos. En latitudes subtropicales a lo largo de la costa de Sudamérica se ubica la región Mediterránea del continente en la zona de Chile central (32°-36°). En esta región el cambio climático ha propiciado una creciente aridez, sometiendo a los ecosistemas a una fuerte presión, la cual se combina con una intensa actividad antrópica en el territorio, y un exacerbado régimen de incendios. El clima local definido por lluvias de invierno contrasta con veranos secos y cálidos, determina características particulares de los ecosistemas boscosos, de gran diversidad y adaptaciones únicas a las extremas condiciones estacionales.

En estos ecosistemas algunas especies son capaces de registrar en su anatomía las alteraciones y condiciones climáticas a que estuvieron expuestas durante su desarrollo. Una aproximación muy detallada de como las fluctuaciones en la precipitación y la temperatura han afectado el crecimiento y desarrollo de los ecosistemas boscosos la entrega la dendrocronología. Esta disciplina ha demostrado ser una herramienta eficaz para construir series anuales de crecimiento y correlacionarlas con datos climáticos históricos. Estos registros entregan información relevante sobre la sensibilidad de las especies leñosas a la variabilidad y cambios en el clima.

Trabajos científicos de la última década sobre el decaimiento y mortalidad de los bosques mediterráneos a nivel global han evidenciado el impacto del cambio climático en estos ecosistemas. Sin embargo, aunque ha habido un aumento en la evidencia científica, la información disponible sigue siendo escasa, especialmente para Chile central. Esto plantea el desafío de investigar cómo la variabilidad y cambios en el clima están afectando a los ecosistemas y las especies de esta región.

En la presente investigación se analiza una población de *Persea lingue* en el Parque Nacional la Campana, en la región de Valparaíso. Esta especie no ha sido objeto de estudios dendroclimáticos en la región, y cuenta con escasa información disponible dentro de la distribución en Chile central. Este trabajo busca ampliar el conocimiento sobre la relación clima-crecimiento de *P. lingue* en los bosques mediterráneos de Chile central, considerando su potencial como indicador de la sensibilidad y vulnerabilidad de estos ecosistemas frente al cambio climático.

En este contexto, el estudio aplicará técnicas de la dendrocronología para evaluar la sensibilidad,

vulnerabilidad y respuesta de esta especie higrófila al cambio climático en el límite norte de su distribución, con especial atención a su comportamiento frente a la megasequía que afecta a Chile desde 2010.

Objetivo general

Determinar los patrones de crecimiento y mortalidad de una población de *Persea lingue* en el Parque Nacional La Campana durante los últimos 100 años evaluadas mediante registros dendrocronológicos.

Objetivos específicos

1. Evaluar los patrones de crecimiento radial anual de *Persea lingue* en Parque Nacional La Campana y su respuesta a la megasequía.
2. Datar la fecha de muerte de individuos de *Persea lingue* en los bosques estudiados.
3. Relacionar los patrones de crecimiento y la mortalidad de *Persea lingue* a la variabilidad climática regional.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Cambio climático Chile central

El cambio climático se refiere a cambios significativos y de largo plazo en los patrones estadísticos de temperatura, precipitación, viento u otros elementos del clima en el planeta o regiones específicas. En algunas regiones como Chile central, la variabilidad climática natural y cambios en el clima inducidos por la actividad humana se han acoplado. Según registros globales la temperatura de la superficie alcanzó 1,1 °C por encima del periodo 1850-1900 en 2011-2020 (IPCC, 2023). Actualmente, de acuerdo con Rojas *et al.* (2019), se han constatado impactos del cambio climático tanto en sistemas naturales como en las sociedades.

Chile presenta una alta vulnerabilidad frente al cambio climático, cuyos principales efectos se han manifestado en la reducción de la disponibilidad de recursos hídricos, producto de la disminución de las precipitaciones, el incremento de las temperaturas y el acelerado derretimiento de la criósfera (Garreaud *et al.* 2017). Además, existen impactos relacionados con otras amenazas climáticas, como aluviones, marejadas, incendios y olas de calor, cuyos efectos se han manifestado recientemente; siendo la megasequía en la zona central del país uno de los más severos del cambio climático en Chile (Rojas *et al.* 2019, Boisier *et al.* 2016; Boisier *et al.* 2018).

La región de Chile central (32-36°S) presenta un déficit de precipitaciones de entre 25% y 30% desde 2010 en adelante. Este periodo es considerado el más seco desde que existe registro instrumental y reconstruido con anillos de árboles para el último milenio (Garreaud *et al.* 2017). Trabajos científicos han demostrado que al menos un tercio de la megasequía se debe a la acción humana que afecta al cambio climático global (Boisier *et al.* 2016). Esta sequía, sumada al aumento de las temperaturas, han impactado con fuerza el régimen de caudales, cuyo déficit varía entre 70 % en los ríos de las regiones de Coquimbo y Valparaíso, a valores cercanos al 25 % hacia el sur durante el período 2010-2014 (Rojas *et al.* 2019; Masiokas *et al.* 2019). Estos resultados son consistentes con el fuerte impacto de la megasequía sobre el régimen hidrológico de Chile central, donde se han documentado descensos persistentes en los caudales andinos. Masiokas *et al.* (2019) destacan además que las tendencias de largo plazo muestran una disminución sostenida en los ríos de los Andes centrales, en particular en las cuencas del río Aconcagua y Maipo.

Actualmente es de gran relevancia evaluar los efectos de la variabilidad y los cambios en el clima sobre los distintos tipos de vegetación y sus especies dominantes. Esto es, especialmente crítico en regiones que representan un hotspot de biodiversidad como es el caso de Chile central, donde el cambio climático puede amenazar un gran número de especies (Hidalgo *et al.* 2023). La creciente frecuencia, duración e intensidad de las sequías, exacerbadas por el cambio climático, están provocando cambios ambientales significativos en muchas regiones subtropicales, afectando la distribución y dinámica de los ecosistemas boscosos (Allen *et al.* 2010, Garreaud *et al.* 2019). En el extremo norte del país se han registrados largos periodos sin floración y gran mortalidad de especies arbóreas. El bosque esclerófilo de Chile central muestra indicios de decaimiento y mortalidad producto de la megasequía (Garreaud *et al.* 2017) e hiper sequias (Garreaud *et al.* 2025). En contraste, en zonas de la región andina de la Patagonia argentina se han registrado indicios de un avance de la línea arbórea en la cordillera (Marquet *et al.* 2019).

En la última década se han llevado a cabo estudios que evalúan el impacto del cambio climático en los ecosistemas de Chile central, Venegas-González *et al.* (2022) destaca que la historia del bosque esclerófilo y sus relaciones con la sequía han sido poco estudiadas. Estudiando los anillos de crecimiento de dos especies endémicas del ecosistema esclerófilo *Cryptocaria alba* (Peumo) y *Beilschmiedia miersii* (Belloto del norte), evalúan la incidencia de la mega sequía en estos bosques.

En otro estudio, Miranda *et al.* (2022) analizaron el efecto del aumento de aridez sobre la productividad del bosque esclerófilo del ecosistema mediterráneo de Chile central entre los años 2000 y 2021, utilizando el análisis del índice de vegetación (NDVI) basado en satélites. Detectaron un

pronunciado decaimiento y disminución de la productividad de los bosques de esta región.

González-Reyes *et al.* (2024), por otra parte, estudiaron la influencia de la disponibilidad de agua en la superficie del suelo sobre el crecimiento de los bosques de Chile mediterráneo. Este estudio reveló la importancia de la humedad del suelo para el conjunto de especies arbóreas, y lo crucial de ello para comprender los impactos de la variabilidad del clima y la actual tendencia de aridificación sobre estos ecosistemas.

Con respecto a *Persea lingue*, Gipoulou-Zúñiga *et al.* (2025) evaluaron la sensibilidad al clima del crecimiento radial de *Persea lingue* junto a otras dos especies endémicas amenazadas de los bosques mediterráneos de Chile central. Mediante cronologías de anillos de la Reserva Nacional Roblería del Cobre de Loncha, se reveló que *P. lingue* presenta una alta dependencia de la disponibilidad hídrica, particularmente de la humedad del suelo entre octubre y enero. Y muestra una marcada respuesta a la variabilidad asociada al fenómeno de El Niño Oscilación del Sur (ENOS). Los autores encontraron que, en comparación con especies más tolerantes a la sequía, *P. lingue* experimenta mayores reducciones de crecimiento y menor resiliencia durante eventos de sequía severa, lo que sugiere una vulnerabilidad significativa en ambientes mediterráneos del límite norte de su distribución en Chile central. Estos resultados, que incluyen la primera cronología de ancho de anillos para la especie, aportan evidencia clave sobre su susceptibilidad a la megasequía y al cambio climático, reforzando la importancia de su conservación y el valor de utilizarla como indicador de la salud de los bosques y de la disponibilidad hídrica a escala regional.

2.2. Ecosistemas mediterráneos

Los ecosistemas mediterráneos se caracterizan por encontrarse en regiones subtropicales, generalmente situándose entre los 30° y 40° de latitud en ambos hemisferios. Estos climas se encuentran en cinco regiones del mundo: la cuenca del Mediterráneo, el suroeste de Australia, Chile central, el sur oeste de Sudáfrica y en partes de California, EE. UU. La característica distintiva de estos ecosistemas es su marcado contraste estacional, con una estación de lluvias concentrada en invierno y una estación seca y cálida durante los meses de verano (Blondel y Aronson, 1999, Gauquelin *et al.* 2018).

En América del Sur, los ecosistemas de tipo mediterráneo ocupan una franja estrecha a lo largo del margen occidental, específicamente entre los 30° y 36° de latitud sur en el centro de Chile. Esta región representa una transición desde uno de los desiertos más secos del mundo (Armesto *et al.* 2007). En términos de variación latitudinal del clima mediterráneo en Chile, varía desde semiárido en el norte hasta

húmedo en el sur con precipitaciones que cambian de 200mm hasta sobre 1000mm anuales y con un periodo seco durante la época estival que varía desde 8 meses en el norte, hasta 6 meses en el sur (Donoso, 1982).

Estos albergan una alta riqueza de especies de flora y fauna, por lo que se consideran como hotspots de biodiversidad (Vrahnakis, 2016, Miranda *et al.* 2022). Es considerado uno de los ecosistemas terrestres biológicamente más ricos y amenazados de la tierra. (González *et al.* 2024).

Miranda *et al.* (2022) documentaron un declive sincrónico a gran escala en los bosques mediterráneos de Chile, asociado a una aridez acelerada provocada por una sequía extrema y condiciones cálidas inéditas. Estos bosques muestran una vulnerabilidad muy alta al estrés hídrico, y su recuperación a largo plazo es incierta debido a un balance de agua regional decreciente. Este colapso podría ser una señal de alerta para otros ecosistemas mediterráneos frente al cambio climático. Estos ecosistemas constituyen un mosaico vegetal muy heterogéneo en Chile central. Los principales tipos de vegetación incluyen matorrales espinosos xerofíticos, comunidades mesófilas dominadas por árboles esclerófilos de hoja perenne en las estribaciones costeras y andinas, y bosques caducifolios en el sur de la zona mediterránea (Armesto *et al.* 2007). Dentro del hotspot de Chile Mediterráneo, las regiones Metropolitana y de Valparaíso se destacan por su abundante riqueza de flora vascular. Sin embargo, estas mismas regiones están entre las menos representadas en el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (Geomanejo Consultores, 2012).

2.3. Parque Nacional La Campana

El Parque Nacional La Campana, establecido por la Ley N.º 16.699 el 17 de octubre de 1967, forma parte del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) y destaca por su alto valor biológico, paisajístico y científico, además de su potencial turístico (Corporación Nacional Forestal, 1997). El interés por su protección surgió décadas antes, en 1936, durante el Congreso Científico General Chileno, el botánico Gualterio Looser instó a preservar el palmar de Ocoa el mayor remanente de *Jubaea chilensis* cercano a Valparaíso y las roblerías del cerro La Campana, consideradas límite norte de esta formación vegetal y relictos de condiciones climáticas más húmedas en el pasado. En 1964, Agustín Garaventa y Álvaro Valenzuela lideraron una campaña de conservación que motivó al diputado Eduardo Ballesteros a impulsar el proyecto de ley que oficializó la creación del Parque. Al año siguiente, Raúl Ovalle, propietario del fundo Las Palmas de Ocoa, cedió parte de su terreno al Estado con la condición de mantener temporalmente el aprovechamiento de miel y semillas de palma. Durante la década de 1970

se propuso ampliar el área protegida; aunque dicha iniciativa no prosperó, en 1974 la administración del Parque Nacional fue asumida por la Corporación Nacional Forestal (CONAF), momento en el cual se fortaleció la gestión mediante la instalación de guardaparques y, en 1985, la delimitación de sus actuales 8.000 hectáreas distribuidas en los sectores Ocoa, Cajón Grande y Granizo. Hoy, el Parque es un refugio clave para la biodiversidad del ecosistema mediterráneo de Chile central, reconocido como una de las regiones de mayor prioridad para la conservación a nivel mundial y Reserva de la Biosfera (Venegas, 2020).

El área que actualmente conforma el Parque posee una extensa historia de interacción humano-ambiente, en la que destacan actividades extractivas, productivas y de uso tradicional que han dejado una huella significativa en el paisaje. Desde la época colonial existen registros de explotación minera en el Cerro La Campana, con yacimientos de cobre, plata y oro trabajados de manera continua al menos desde mediados del siglo XVIII, especialmente en sectores como Granizo y Ocoa (González-Valencia, 2014). Durante el siglo XIX, la minería alcanzó gran relevancia en la económica local, con faenas como Veta Grande, Felicidad y Pronosticada, que aportaban miles de quintales de cobre al año, y con la instalación de fundiciones en Olmué a comienzos del siglo XX (Möder *et al.* 1992). De forma paralela, la zona fue utilizada intensamente para la ganadería extensiva, la agricultura de secano y la extracción de leña y madera. Según Catalán (2015), dichas actividades transformaron la estructura y composición del bosque nativo, favoreciendo la apertura de claros y la sustitución de especies. Incluso tras la creación del parque en 1967 y su designación como Reserva de la Biósfera en 1984, la explotación minera persistió hasta 1993, cuando, luego de conflictos legales y presiones ambientalistas, se decretó el cierre definitivo del yacimiento Balmaceda y otras faenas por razones ambientales. Ello, marcó un hito en la aplicación de la Ley de Bases del Medio Ambiente en Chile. Los vestigios de estas actividades antiguos socavones, relaves, senderos de acarreo y áreas clareadas permanecen como evidencia tangible de un pasado productivo que ha modelado tanto la ecología como la dinámica sociocultural del territorio.

En la figura 1 se representa una línea de tiempo con los acontecimientos de la historia minera del Parque.

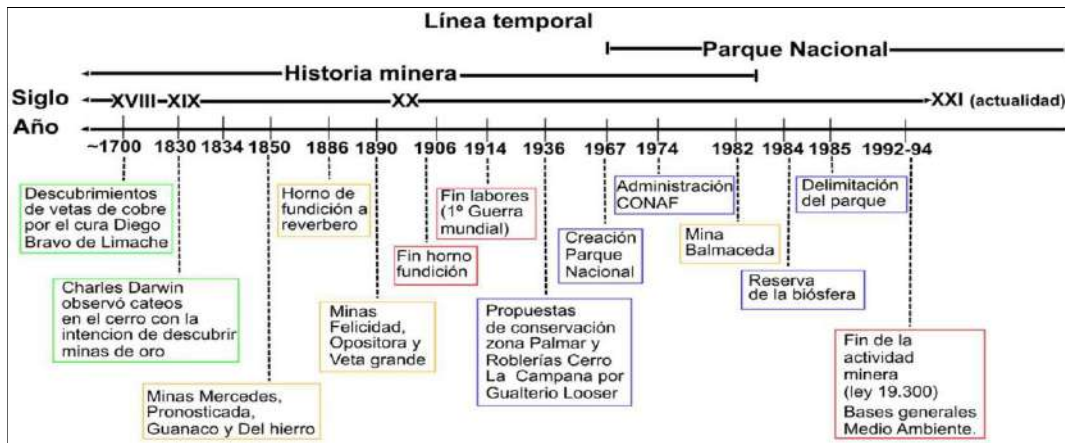


Figura 1. Línea temporal historia minera del Parque Nacional La Campana.

2.4. *Persea lingue*

Persea lingue o “Lingue” es una especie arbórea nativa siempreverde perteneciente a la familia Lauraceae. Puede alcanzar hasta 30 metros de altura, con una copa globosa y frondosa. Su tronco puede ser recto y cilíndrico tiene una corteza granulosa de color café a cenicienta (Pinilla-Suárez y Navarrete, 2015). Las hojas son simples, alternas, coriáceas y lustrosas, de 6-12 x 4-6 cm, elípticas a aovado-suborbiculares, con el haz verde lustroso y el envés generalmente pubescente. Presenta inflorescencias muy ramificadas de 3-6 cm. Sus flores hermafroditas son trímeras, pediceladas y amarillas pubescentes. El fruto es una baya uniseminada, de 12-18 mm de largo por 7-8 mm de diámetro, frecuentemente mucronado y negro-violáceo en la madurez. (Muñoz y Serra, 2006). A esta especie se le atribuye un crecimiento en general lento aun cuando esto puede ser muy variable según las condiciones del sitio (Pinilla-Suárez y Navarrete, 2015)

Según su distribución geográfica, se presenta en Chile y Argentina. Su distribución en Chile va desde la provincia de Valparaíso (Región de Valparaíso) hasta Chiloé (Región de Los Lagos). *Persea lingue* marca el límite austral del género *Persea* en el hemisferio sur y de las Lauraceae a nivel mundial. Esta especie no forma bosques puros (Pinilla-Suárez y Navarrete, 2015). En las formaciones septentrionales se encuentra mezclado con especies esclerófilas como Peumo (*Cryptocarya alba*) y Boldo (*Peumus boldus*). Mientras que, hacia el sur, en los bosques más húmedos, forma asociaciones con Laurel (*Laurelia sempervirens*), Tapa (*Laureliopsis philippiana*), Tineo (*Weinmannia trichosperma*), Canelo (*Drimys winteri*), y Radal (*Lomatia hirsuta*) (Rodríguez *et al.* 1983). Según Gajardo (1994), *P. lingue* participa en las comunidades *Persea lingue-Eucryphia cordifolia* y *P. lingue-Luma chequen*, siendo la

primera una comunidad relativamente escasa del bosque laurifolio valdiviano y la segunda una comunidad boscosa hidrófila frecuente en el bosque esclerófilo montano (Muñoz y Serra, 2006).

Se identifican ciertas variaciones entre las subpoblaciones septentrionales y las del sur de *Persea lingue*. En su hábitat natural, los árboles del norte (*P. lingue* forma meyeniana) tienen ramas que crecen en ángulo agudo respecto al tronco. En cambio, los individuos del sur (*P. lingue* en su forma típica) presentan un crecimiento horizontal y hasta decumbente de sus ramas. Los árboles del sur exhiben un fenómeno particular de secamiento de hojas aisladas que, en cierta época del año, adquieren un color café metálico, destacándose entre las hojas verdes de las copas. (Muñoz y Serra, 2006). Las poblaciones que dieron origen a la propuesta de *Persea meyeniana* están restringidas a la parte septentrional de las provincias centrales de Chile, creciendo preferentemente a bajas altitudes en ambas cordilleras, desde Quillota, en la provincia de Valparaíso, hasta Colchagua en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins (Muñoz y Serra, 2006). Sus subpoblaciones se encuentran representadas en el Parque Nacional La Campana y Reserva Nacional Río Clarillo (Serra *et al.* 1986, Del Fierro *et al.* 1998). En la figura 2 se puede observar una la distribución de *Persea lingue* en Chile.

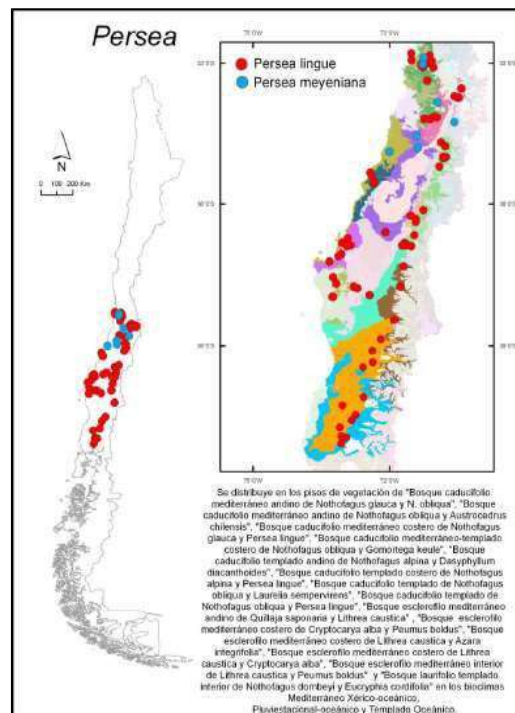


Figura 2: Distribución de *Persea lingue* en Chile. (Muñoz y Serra, 2006).

3. Metodología

3.1. Área de estudio

El área de estudio se localizó en el Parque Nacional La Campana en el sector Granizo, comuna de Olmué, Región de Valparaíso. El sitio de estudio se ubicó en la parte baja del parque, en los alrededores y a lo largo de los senderos Los Peumos y La Canasta. Comprende las quebradas la Campana y las Cañas. A los $32^{\circ}58'35.3''$ latitud sur y $71^{\circ}07'39.7''$ longitud oeste. El muestreo de campo se realizó durante el mes de abril del año 2024.

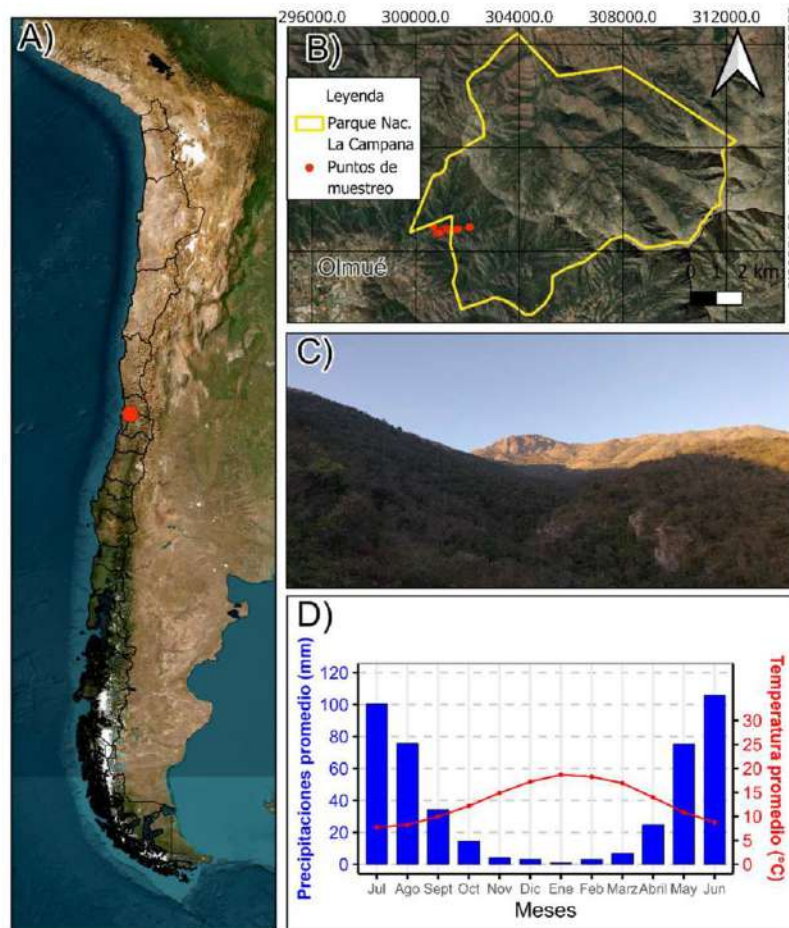


Figura 3. (A) Mapa de ubicación del área de estudio, (B) Distribución de los puntos de muestreo en el sitio de estudio, (C) Fotografía sitio de muestreo en Sector Granizo PN. La Campana. (D) Climograma del área de estudio en base a datos climáticos obtenidos del CR2MET para el periodo de 1979 a 2019, donde se representan los valores mensuales promedio de precipitaciones (mm) en barras azules, y de temperaturas a 2 metros del suelo en línea roja (°C). En Anexo 1 climograma zona de estudio ampliado.

La zona de estudio ubicada dentro del tipo climático mediterráneo. Se caracteriza por la presencia de una estación lluviosa en invierno (mayo-agosto) y un periodo cálido y seco más prolongado, entre los

meses de septiembre y abril. Las temperaturas promedio se ubican alrededor de los 18° C, pero producto de la influencia de la corriente de Humboldt, disminuyen alrededor de 4 °C. En esta zona el elemento que juega un rol clave en su climatología es el relieve, ya que el parque está ubicado dentro del cordón montañoso de la Cordillera de la Costa, que posee elevaciones hasta los 1500 metros sobre el nivel del mar. Este cordón montañoso actúa como un biombo climático, es decir actúa como barrera natural, afectando el clima de las áreas que se encuentran a ambos lados de dicha barrera. En este caso la cordillera aumenta las precipitaciones en el lado de la costa (barlovento) esto por el efecto del ascenso de masas de aire húmedas que provienen del océano. En cambio, al otro lado del cordón (sotavento) la situación es inversa lo que hace que las precipitaciones sean menores y lo que también afecta es a la humedad relativa del aire que resulta menor igualmente. En este caso particular, la climatología local del sitio de estudio se encuentra influenciada por condición de Barlovento (Elórtegui y Moreira, 2002).

El Parque Nacional La Campana presenta una notable diversidad de formaciones vegetacionales distribuidas a lo largo de gradientes altitudinales y de humedad. En altitudes superiores a 1.000 m predominan los bosques deciduos de roble de Santiago (*Nothofagus macrocarpa*), mientras que en sectores más secos se desarrollan bosques esclerófilos de gran diversidad, que incluyen comunidades como peumo-boldo (*Cryptocarya alba* y *Peumus boldus*), quillay-litre (*Quillaja saponaria* y *Lithrea caustica*), quillay-peumo (*Q. saponaria* y *P. boldus*) y boldo-litre (*P. boldus* y *L. caustica*). El parque también destaca por la presencia de palmares de *Jubaea chilensis* (palma chilena), presentes de manera prominente, aunque no constituyan una comunidad vegetal distinta. En terrenos llanos previamente cultivados se encuentran los espinales, dominados por espino-maitén (*Acacia caven* y *Maytenus boaria*). En laderas de exposición norte entre 300 y 800 m se desarrollan matorrales xerófilos dominados por *Retanilla trinervia* y *Colliguaja odorifera* (tebo-colliguay), mientras que el matorral esclerófilo, característico de zonas semiáridas o áreas con alto grado de degradación, presenta especies como *Escallonia pulverulenta* (corontillo) y *Aristiguietia salvia* (salvia macho). Los puyales, formaciones de arbustos bajos dominados por chaguales (*Puya spp.*), se establecen sobre suelos graníticos en laderas norte, y sobre los 1.700 m, en los cerros La Campana y El Roble, se desarrolla la estepa de altura, compuesta por arbustos bajos espinosos y una estrata herbácea de florecimiento estival, constituyendo una formación única en el parque (Geomanejo Consultores, 2012).

En el sitio de estudio, la vegetación está compuesta principalmente por formaciones de bosque esclerófilo, complementadas con la presencia de bosque laurifolio higrófilo en las quebradas y matorral espinoso en las laderas de exposición norte (Elórtegui y Moreira, 2002). Estos bosques higrófilos se desarrollan principalmente en fondos de quebrada y laderas húmedas entre los 300 y 1.100 m s.n.m.,

albergando comunidades de alta relevancia ecológica como patagua-canelo (*Crinodendron patagua* y *Drimys winteri*), lingue (*Persea lingue*), y tayú/palo santo-belloto del norte (*Archidasphyllum excelsum* y *Beilschmiedia miersii*).

De acuerdo con el Plan de Manejo del Parque Nacional La Campana de 2017 (Corporación Nacional Forestal, 2017) en estas formaciones higrófilas se ha evidenciado una creciente mortalidad de especies clave como *P. lingue*, *C. patagua*, *D. winteri* y *A. excelsum*. La coincidencia entre la ubicación de estas comunidades y las áreas con mortalidad creciente refuerza la pertinencia de enfocar el presente estudio en la evaluación de la sensibilidad, vulnerabilidad y respuesta de *P. lingue* frente a condiciones climáticas extremas, particularmente la megasequía que afecta a la zona desde el año 2010.



Figura 4: Fotografía sitio de estudio correspondiente a un bosque esclerófilo laurifolio de *Cryptocarya alba*, *Peumus boldus*, y *Persea lingue*. En la sección inferior derecha detalle de la corteza y fruto de *P. lingue*. Véase en anexo 2 imágenes de los individuos de *P. lingue* desarraigados

3.2. Recolección de datos y toma de muestras

El muestreo dendrocronológico fue llevado a cabo en el límite norte de la distribución de *P. lingue*, en una de las dos subpoblaciones más septentrionales de esta especie. Este consistió en la colecta de rodelas de individuos que sufrieron mortalidad y desmoronamiento en el sitio de estudio. Complementariamente, se realizó la extracción de testigos de madera con taladros de incremento a un total de 30 individuos adultos vivos de la especie. La codificación asignada a las muestras formato rodelas fue GRA (Granizo), y para las en formato de tarugos de incremento fue GRT. La elección de los árboles a muestrear en este caso para la extracción de testigos de madera, se basó principalmente encontrar

individuos longevos esto con el propósito de contar con un registro completo de los patrones de crecimiento de la especie. Y para el caso de obtención de rodela se basó principalmente en los criterios de accesibilidad y condiciones de conservación del material leñoso. Véase anexo 3 con imágenes acerca de obtención de las muestras.

3.3. Preparación de las muestras

Las muestras se procesaron siguiendo los procedimientos dendrocronológicos estándar descritos por Stokes y Smiley (1968). Inicialmente, se dejaron secar a temperatura ambiente. Los testigos de madera fueron posteriormente montados en molduras de madera, mientras que las rodela fueron curadas mediante la aplicación de cola fría. Luego, el proceso de lijado se efectuó utilizando una lijadora orbital en el caso de los testigos. Para las rodela, se empleó inicialmente una lijadora de banda con lija de 100 granos/cm², para luego continuar con un pulido progresivo mediante una lijadora orbital, utilizando lijas desde 100 hasta 600 granos/cm². Este procedimiento permitió obtener superficies adecuadamente preparadas para la identificación y análisis de los anillos de crecimiento bajo lupa estereoscópica.

3.4. Reconocimiento y descripción de anillos de crecimiento de *P. lingue*

Después de lijar las muestras, se eligieron las más representativas y se fotografiaron en el Laboratorio de Dendrocronología de la Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales. Esto facilitó una mejor observación de las características anatómicas del corte transversal de los anillos de crecimiento en corte transversal.

Para llevar a cabo el análisis de las muestras, es fundamental realizar un conteo preciso de los anillos de crecimiento. Este procedimiento se llevó a cabo utilizando lupa estereoscópica Nikon x80. se identificaron y marcaron los límites de los anillos de crecimiento siguiendo la convención de Schulman (1956) para el hemisferio sur. Este enfoque permite obtener datos precisos sobre la edad y el crecimiento de las muestras analizadas, esenciales para estudios dendrocronológicos.

3.5. Medición de los anillos de crecimiento, identificación tasas de crecimiento y construcción de la cronología

Las series de crecimiento fueron medidas bajo lupa con precisión de 0.0001 mm. Para verificar la calidad del fechado realizado se utilizó el software COFECHA, el cual nos permite calcular y reconocer los coeficientes de correlación entre las series individuales de anillos de árboles. Con las mediciones se estimaron las tasas de crecimiento radial anual acumulado a través de la edad.

Una vez completada la medición, identificación de las tasas de crecimiento y de las 37 series

cofechadas a partir de rodelas y testigos de madera colectados, se agregaron 14 series adicionales provenientes de muestras de *Persea lingue* recolectadas y analizadas en campañas anteriores por la investigadora Rocío Urrutia. Ello, con el fin de robustecer el número de individuos vivos analizados. Posteriormente, se procedió a la construcción de la cronología mediante el software ARSTAN. En este programa, cada serie individual de crecimiento radial fue estandarizada solo con el método de curvas exponencial negativa o línea recta, con el objetivo de homogeneizar la varianza y eliminar los efectos asociados a la disminución progresiva de la tasa de crecimiento debido al progresivo aumento de longevidad (Cook y Holmes 1986).

La calidad de la cronología se evaluó mediante el estadístico Expressed Population Signal (EPS), que estima qué tan bien un conjunto finito de series representa la señal común poblacional en función del número de series y de la correlación media entre ellas (RBAR) (Wigley *et al.* 1984). El EPS se calculó a lo largo del tiempo con ventanas móviles de 50 por 25 años para evaluar su estabilidad y la suficiencia muestral (Cook y Kairiukstis, 1990). Como guía operativa ampliamente utilizada, se consideró un umbral $> 0,85$ para indicar una señal común adecuada; sin embargo, este valor proviene de una sugerencia tentativa en la literatura clásica y debe interpretarse de forma orientativo más que como un criterio absoluto (Briffa, 1995; Wigley *et al.* 1984; Buras, 2017).

3.6. Análisis de correlación entre la cronología y variables climáticas

Completada la construcción de la cronología, se procedió a analizar las relaciones clima-crecimiento por medio de funciones de correlación de Pearson entre el crecimiento radial de *P. lingue* y un conjunto de variables climáticas y edáficas, incluyendo precipitación, temperatura del aire, humedad y temperatura del suelo.

Para este análisis, se utilizaron datos climáticos históricos de CR2MET 2.5 para el período 1960-2021. Los registros de humedad y temperatura del suelo se obtuvieron de ERA5-Land, que dispone de registros desde 1950 hasta la actualidad.

4. RESULTADOS

4.1. Metodología, representación y procesamiento de las muestras

Mediante el procesamiento de las muestras en el laboratorio se pudo establecer los anillos de crecimiento anual de *P. lingue*, además se observan las diferentes características de los anillos. A continuación, se presentará las características con mayor relevancia en este estudio.

En la figura 5 se representan los anillos de crecimiento de *P. lingue* en tres segmentos de la muestra tipo rodela código GRA019. El segmento A corresponde al interfaz entre anillos de crecimiento y corteza. El segmento B corresponde a la parte intermedia de los anillos de crecimiento entre la medula y corteza. Y el segmento C corresponde a los últimos anillos de crecimiento que solo se desarrollaron en ciertas partes de la rodela.

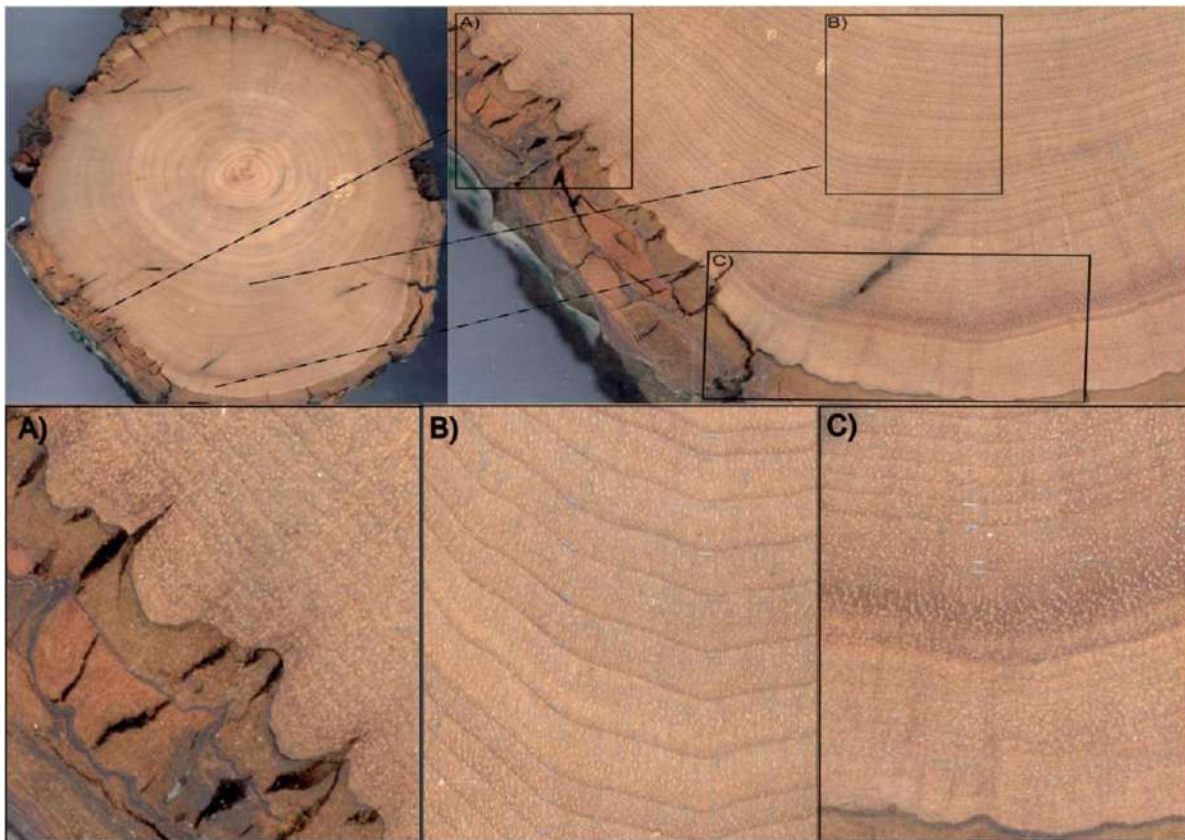


Figura 5: Rodela de *P. lingue* y la comparación de sus anillos en sus distintos segmentos.

En la figura 6 se presenta los anillos de crecimiento de una muestra en formato de testigo de madera bajo la lupa estereoscópica. De izquierda a derecha se aprecia la interfaz de madera temprana a madera tardía.

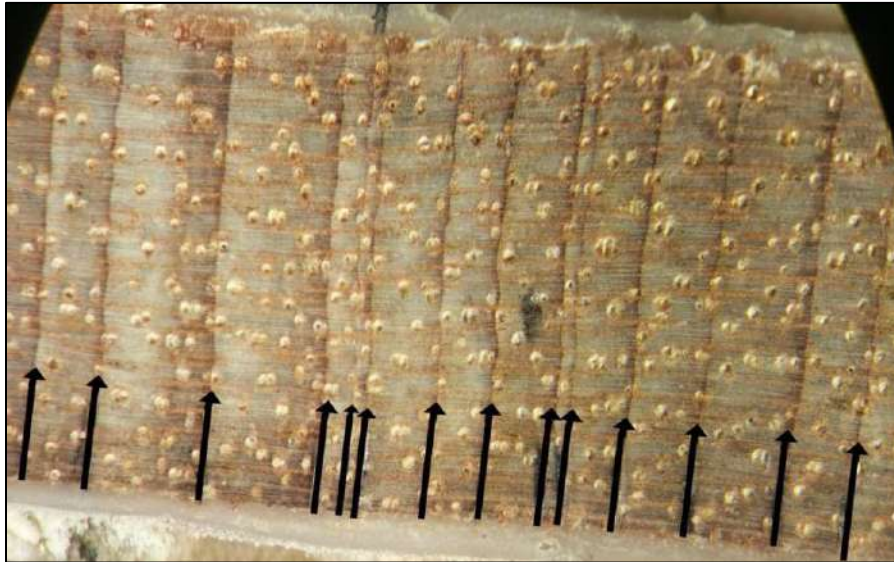


Figura 6: Anillos de crecimiento de *Persea lingue* bajo lupa estereoscópica, flechas negras indican anillos de crecimiento.

En la figura 7 se representan los últimos anillos de crecimiento previo a la corteza en las muestras en formato de testigos de madera de la especie en estudio. Se observa el segmento final de las muestras. Hacia la izquierda de la imagen se encuentra la corteza. En la parte inferior del panel se representan acuñamientos de anillos.

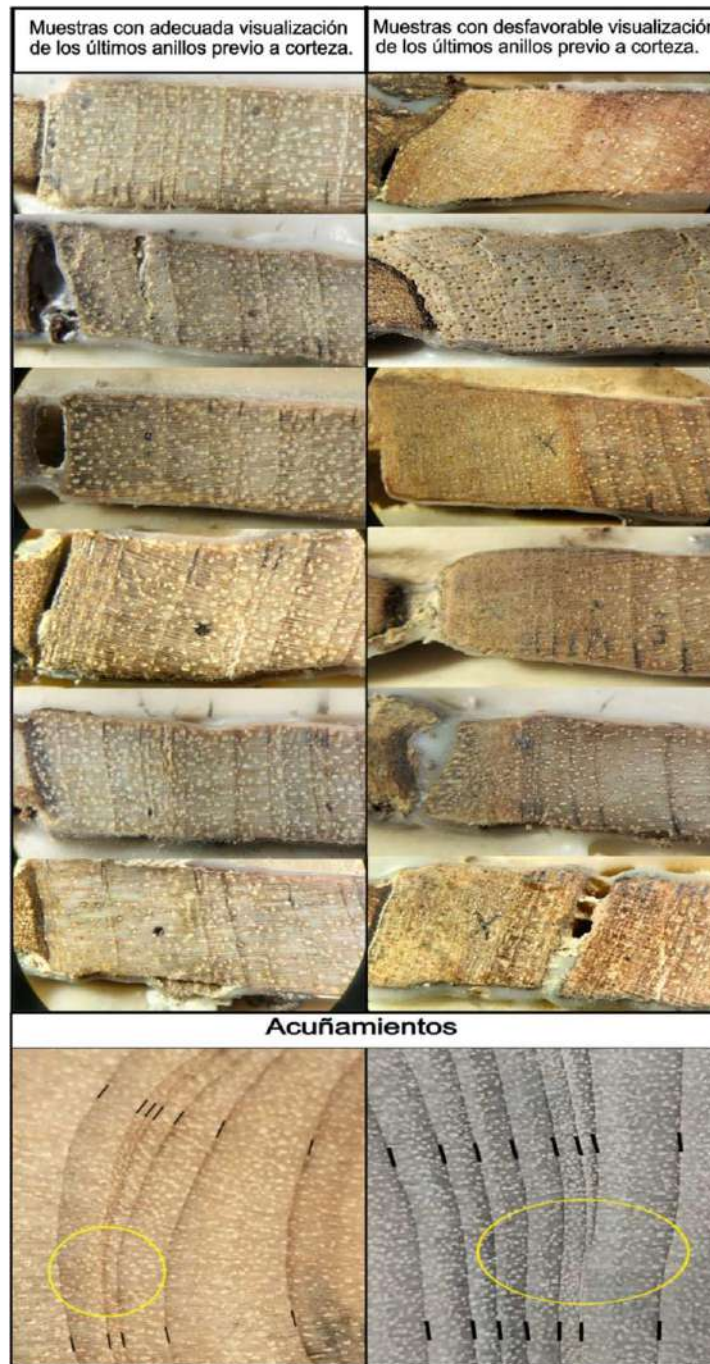


Figura 7: Anomalías en la madera; paquete de anillos difusos y acuñaciones.

4.2. Tasas de crecimiento radial anual y acumulado de acuerdo con la edad

Las tasas de crecimiento radial de *Persea lingue* expresadas en función de la edad en el Parque Nacional La Campana (Figura 8). En el gráfico (A) se observa que el crecimiento radial anual es máximo durante los primeros años de vida, alcanzando en promedio valores cercanos a 4 mm/año durante los primeros 5 años, para luego disminuir progresivamente con la edad y estabilizarse en torno a 1 mm/año después de los 40 años. En el gráfico (B), el crecimiento radial acumulado evidencia un patrón de incremento sostenido con la edad, alcanzando en promedio 50 mm a los 20 años, 80 mm a los 40 años y más de 110 mm a los 60 años. La línea negra en ambos gráficos representa el número de muestras disponibles por edad, disminuye progresivamente en representación hacia edades más avanzadas.

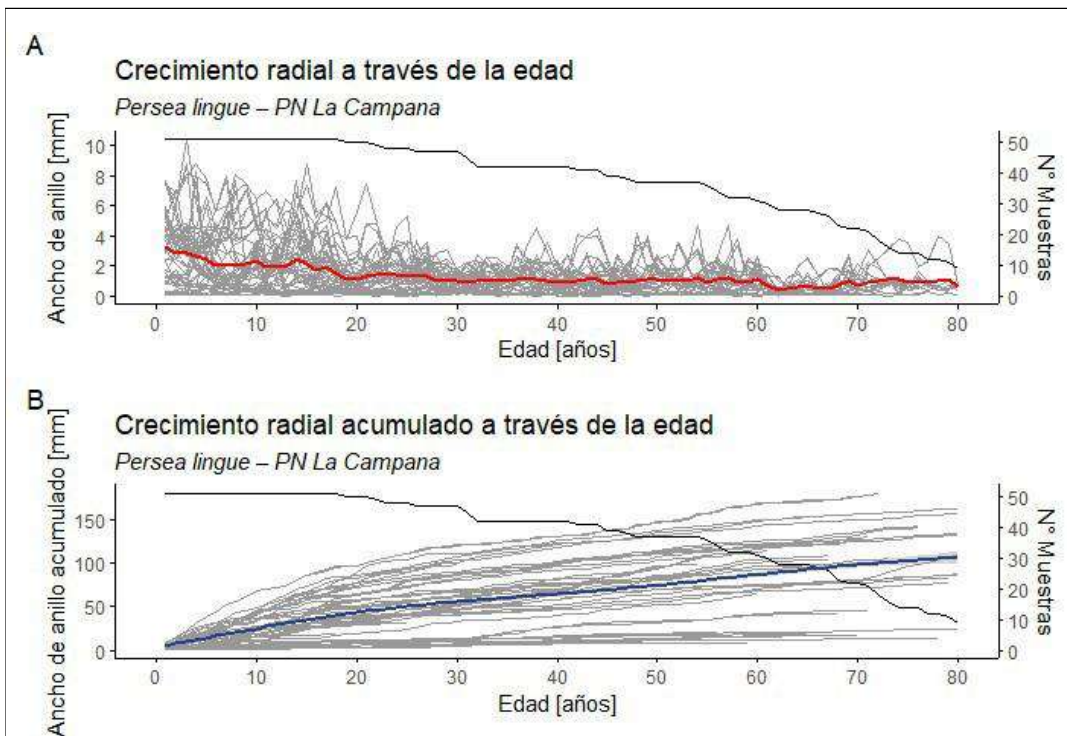


Figura 8. Crecimiento radial anual (A) y crecimiento radial acumulado (B) de *Persea lingue* en el Parque Nacional La Campana en función de la edad. Líneas grises: series individuales; línea roja (A) y azul (B): promedio; línea negra: número de muestras por edad.

4.3. Fechado de establecimiento y muerte de individuos de *P. lingue*

A partir de las muestras procesadas se determinó el año de establecimiento y muerte de los individuos de *Persea lingue* analizados. El establecimiento se estimó sólo para las muestras que contenían centro, en particular rodela.

Los primeros establecimientos se registran a inicios de la década de 1890 y alcanzan su mayor concentración entre los años 1925 y 1935. El gráfico de extensión muestra series que abarcan desde pocas décadas hasta más de un siglo. En cuanto a la mortalidad, los eventos se concentran principalmente a partir del año 2000, con la mayor frecuencia registrada entre 2000 y 2009.

En la figura 9 se observa la extensión temporal de todas las series procesadas de *Persea lingue* en el Parque Nacional La Campana. En el eje Y se presentan los códigos de cada serie analizada, mientras que el eje X los años calendario. Las letras sobre las líneas señalan eventos clave: “E” corresponde al año de establecimiento determinado, y “M” al año de muerte del individuo. En el gráfico, las barras negras corresponden a individuos muertos; las barras verdes, a los tramos de individuos vivos con patrón reconocido; y las barras azules representan series añadidas provenientes de temporadas anteriores. Por otro lado, en las muestras de testigos de madera de individuos vivos se identificó un tramo de crecimiento cuyo patrón no pudo ser reconocido, por lo que dicho segmento no pudo ser correctamente cofechado. Este tramo se encuentra representado mediante una barra de color naranja.

Véase en anexo 6 tabla con año inicio y final de cada serie individual que respalda la figura 8, junto a la estadística descriptiva que entrega el software COFECHA.

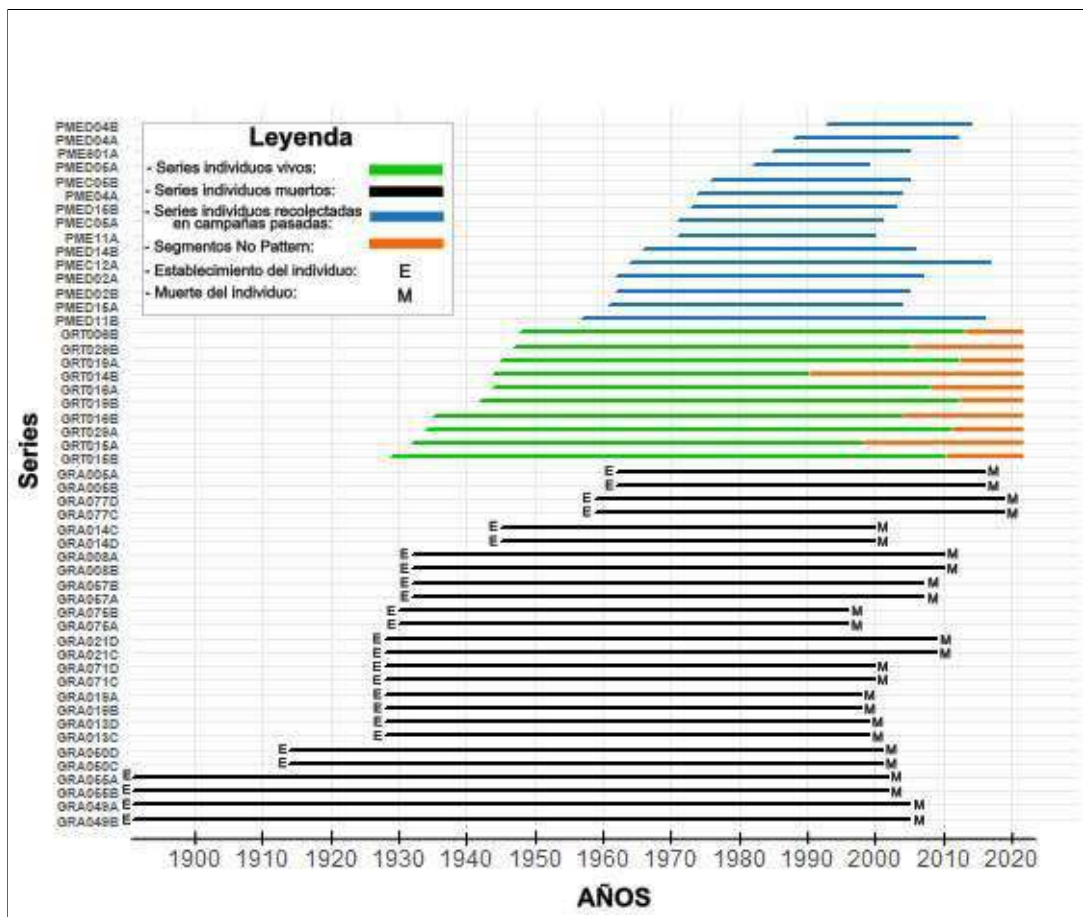


Figura 9: Extensión temporal de las series de *Persea lingue* en el Parque Nacional La Campana. Líneas verdes: individuos vivos; segmentos naranjas: porción sin patrón definido (No Pattern); líneas negras: individuos muertos, y líneas azules extensión series *P. lingue* provenientes de muestras recolectadas en campañas pasadas por el laboratorio de Dendrocronología. “E” indica el año de establecimiento, y “M” el año de muerte de cada individuo.

Con respecto a los eventos de establecimiento y mortalidad, solo se pudieron determinar a partir de las muestras con médula y corteza, que corresponden a 13 rodelas. Los establecimientos se evidencian desde 1891 a 1970 y están concentrados en su mayoría en los años 1921-1930 y 1931-1940. En cuanto a los eventos de mortalidad, estos comienzan a manifestarse desde fines del siglo XX hasta el año 2019. Durante el periodo 1995-1999 se registró un 23,1% de mortalidad; entre 2000 y 2004, un 30,8%; entre 2005 y 2009, un 23,1%; entre 2010 y 2014, un 7,7%; y finalmente, entre 2015 y 2019, un 15,4%.

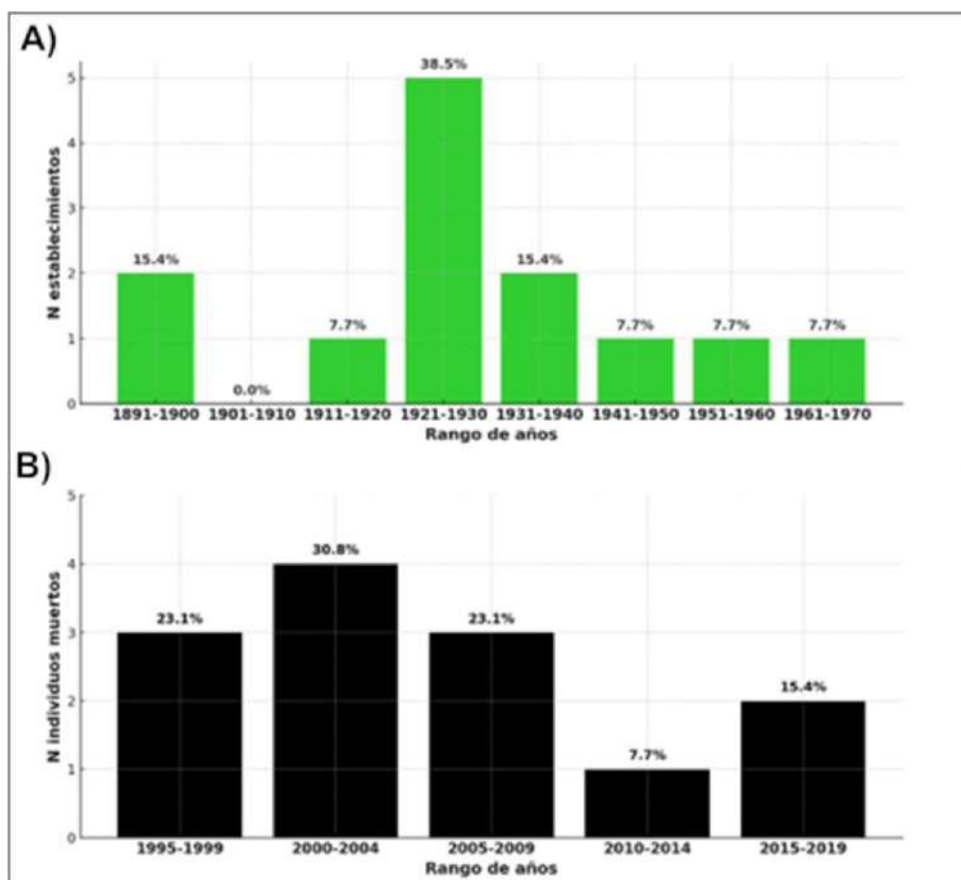


Figura 10: Distribución de establecimientos de *P. lingue* (A) y distribución de muertes de *P. lingue* (B).

4.4. Cronologías de ancho de anillos

A partir de las muestras obtenidas en el área de estudio, se logró cosechar un total de 51 series entre ellas provenientes de 13 rodela y 25 tarugos de crecimiento, se obtuvo una cronología de ancho de anillo con una extensión de 129 años que abarca el periodo 1891 a 2019.

Cuadro 1. Estadísticos de la cronología de ancho de anillos de *P. lingue* en el Parque Nacional La Campana.

Parámetro	Valor
Número de series	51
Número de árboles	30
Período de tiempo (años)	129
Edad Min- Media- Máx. (años)	46 – 73- 114
Intercorrelación de series	0.493
Autocorrelación de primer orden	0.679
Sensibilidad media	0.479
Crecimiento radial promedio (mm año ⁻¹)	1,36 ± 1,37
Anillos totales de todas las series	3215
EPS	0.934

La Figura 11 muestra las cronologías de índice de ancho de anillos de *P. lingue*, en su versión estándar (A) y residual (B) para el periodo 1891–2019. En ambas series se observa la variación interanual del índice de ancho de anillo (RWI, línea negra) junto a la curva suavizada mediante spline de 50 años (línea roja). La cronología estándar presenta fluctuaciones amplias en diferentes periodos, con máximos de crecimiento alrededor de las décadas de 1910, 1960 y 1990, y mínimos hacia los años 1920, 1980 y posterior a 2010. La cronología residual, al remover la autocorrelación, conserva el patrón general, pero resaltando los periodos con menor amplitud en las oscilaciones interanuales mostrando menos variabilidad de baja frecuencia decadal y multidecadal. En ambos gráficos, la profundidad de muestreo (área gris) aumenta progresivamente hasta mediados del siglo XX, manteniéndose alta hasta cerca de 2010, para luego decrecer hacia el final de la serie.

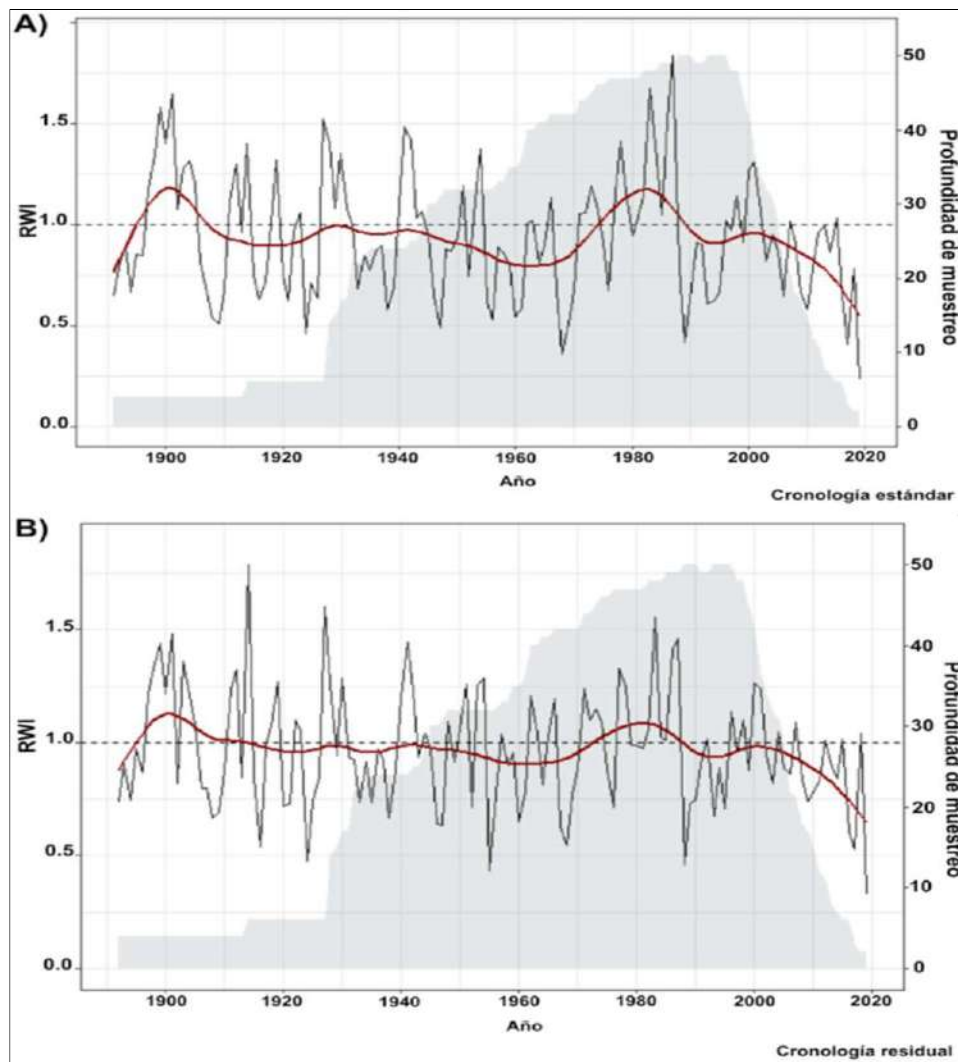


Figura 11: Cronologías de ancho de anillos de *Persea lingue* en su versión estandarizada (A) y residual (B) para el periodo 1891–2019. La línea negra corresponde al índice de ancho de anillo (RWI). El área gris indica la profundidad de muestreo indicado por el número de series de ancho de anillos para cada año calendario.

4.5. Relaciones entre variables climáticas y el crecimiento radial

Se aplicaron funciones de correlación entre la cronología estándar de ancho de anillos de *P. lingue* y las variables climáticas de precipitación y temperatura (máxima y mínima), con el fin de identificar los periodos y meses en los que las condiciones meteorológicas presentan una relación estadísticamente significativa con el crecimiento radial. Solo se utilizó la cronología estándar para este análisis porque presentó mayores correlaciones con las variables climáticas en comparación a la cronología residual.

Los resultados se presentan a continuación, diferenciados por variable climática y señalando los meses o periodos con correlaciones positivas o negativas significativas. Se considera un periodo de análisis que abarca desde el año anterior a la formación del anillo (meses con prefijo P-) hasta el año de crecimiento.

4.5.1. Correlación con precipitaciones

Las condiciones hídricas constituyen un factor climático fundamental que regula la disponibilidad de agua en el suelo y, por ende, influyen en los patrones de crecimiento radial de los árboles. En este análisis se evaluó la relación entre la cronología estándar de *P. lingue* y las precipitaciones a distintas escalas temporales mediante funciones de respuesta y series de anomalías normalizadas.

En la figura 12 y 13 se observa el análisis de correlación entre la cronología estándar de *P. lingue* y las precipitaciones. La figura 12 muestra la matriz de meses junto a sus correlaciones. Esta presenta asociaciones positivas y consistentes, alcanzando un coeficiente de hasta $r = 0.60$, $p < 0.001$ para una ventana de 11 meses. En la figura 13 se presenta la comparación temporal de ambas series, donde las fluctuaciones de la cronología coinciden estrechamente con las variaciones en las precipitaciones en el periodo 1960 - 2019.

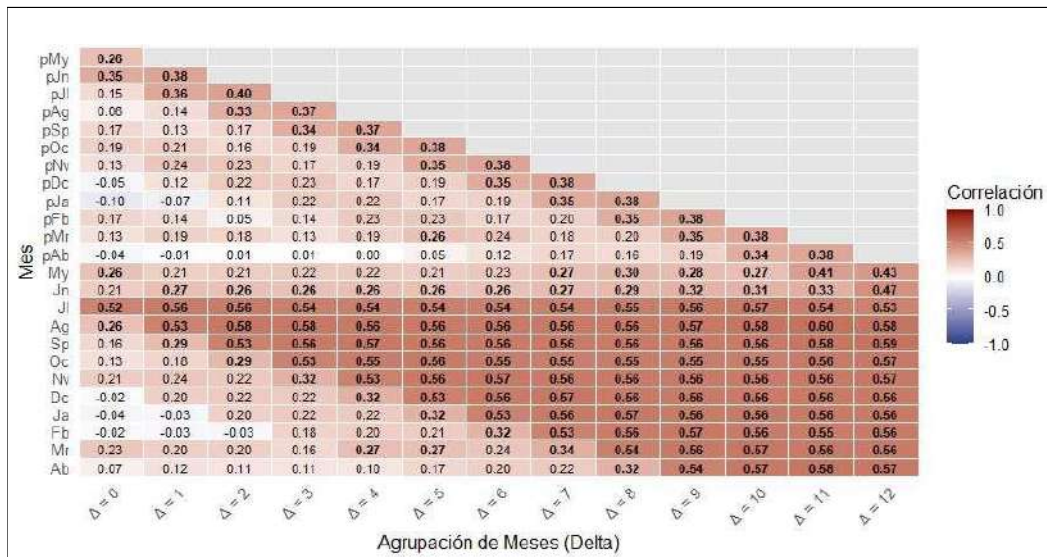


Figura 12: Matriz de correlaciones entre la cronología y las precipitaciones para diferentes ventanas de agrupación mensual (Δ).

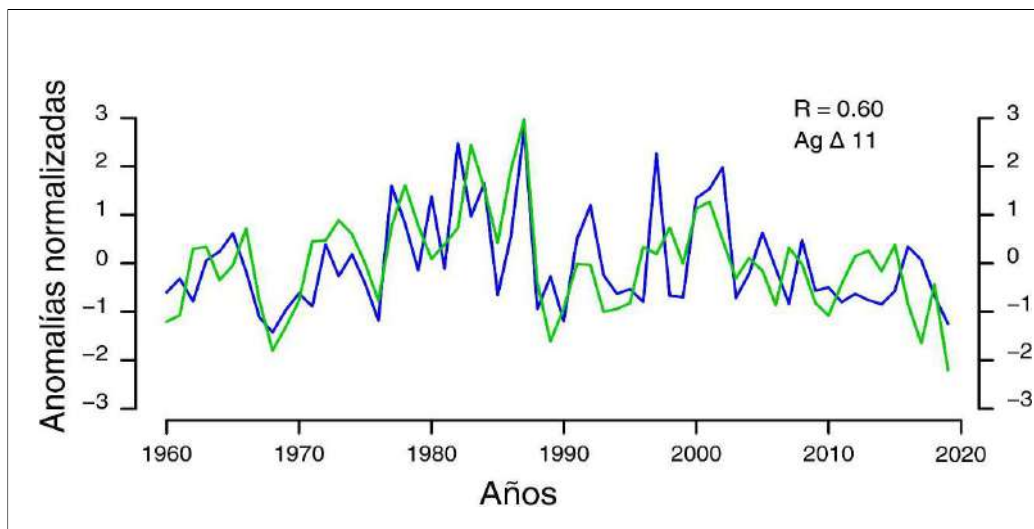


Figura 13: Gráfico comparación de anomalías normalizadas de la cronología (verde) y las precipitaciones (azul) para un periodo de 11 meses, incluyendo agosto y los 10 meses previos entre 1960 y 2019.

4.5.2. Correlación con temperatura

La temperatura constituye un factor climático clave que regula los procesos fisiológicos de los árboles y, en consecuencia, influye directamente en sus patrones de crecimiento radial. En este estudio se evaluó la relación entre la cronología estándar de *Persea lingue* y las temperaturas máxima y mínima mediante funciones de respuesta y series de anomalías normalizadas, considerando distintas ventanas de agregación mensual (Δ) para identificar los periodos del año con mayor asociación entre estas variables térmicas y el crecimiento.

En la figura 14 y 15 se observa el análisis de correlación entre la cronología estándar de *P. lingue* y la temperatura máxima. La figura 14 muestra la matriz de correlaciones para para diferentes ventanas de agrupación mensual, este análisis entrega asociaciones negativas, destacándose valores significativos en los meses de agosto a diciembre, con coeficientes que alcanzan hasta $r = -0.41$. En la figura 15 se presenta la comparación temporal de ambas series, donde los aumentos en la temperatura máxima se corresponden con descensos en la cronología para el periodo 1960 - 2019.

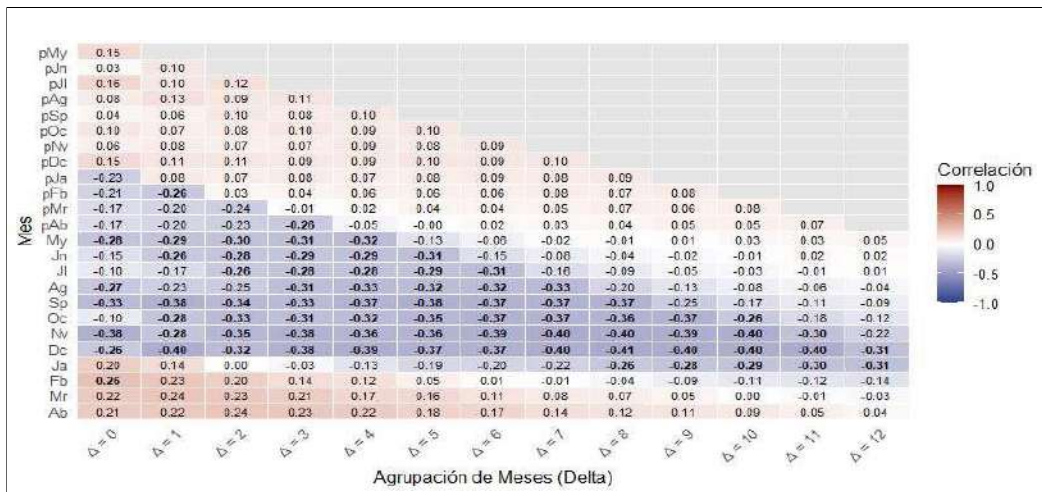


Figura 14: Matriz de correlaciones entre la cronología y la temperatura máxima para diferentes ventanas de agrupación mensual (Δ).

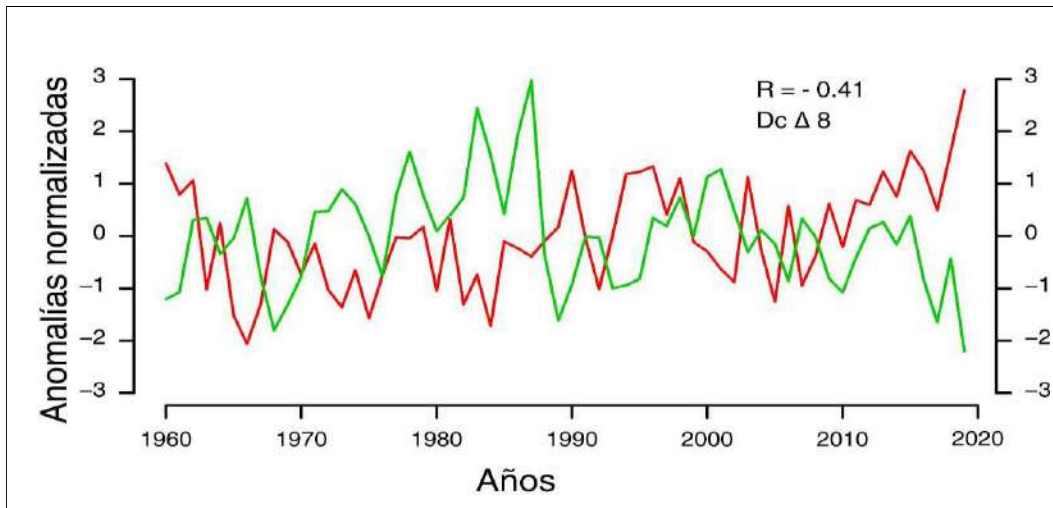


Figura 15: Gráfico comparación de anomalías normalizadas de la cronología (verde) y la temperatura máxima (rojo) para un periodo de 8 meses, incluyendo diciembre y los 7 meses previos entre 1960 y 2019.

En la figura 16 y 17 se observa el análisis de correlación entre la cronología estándar de *P. lingue* y la temperatura mínima. La figura 16 muestra la matriz de correlaciones para para diferentes ventanas de agrupación mensual, esta muestra asociaciones positivas, destacándose valores significativos en los meses de primavera y verano, con coeficientes que alcanzan hasta $r = 0.37$ en febrero. En la figura 17 se muestra la comparación temporal de ambas series, donde la reducción en la temperatura mínima se corresponde con aumentos en la cronología.

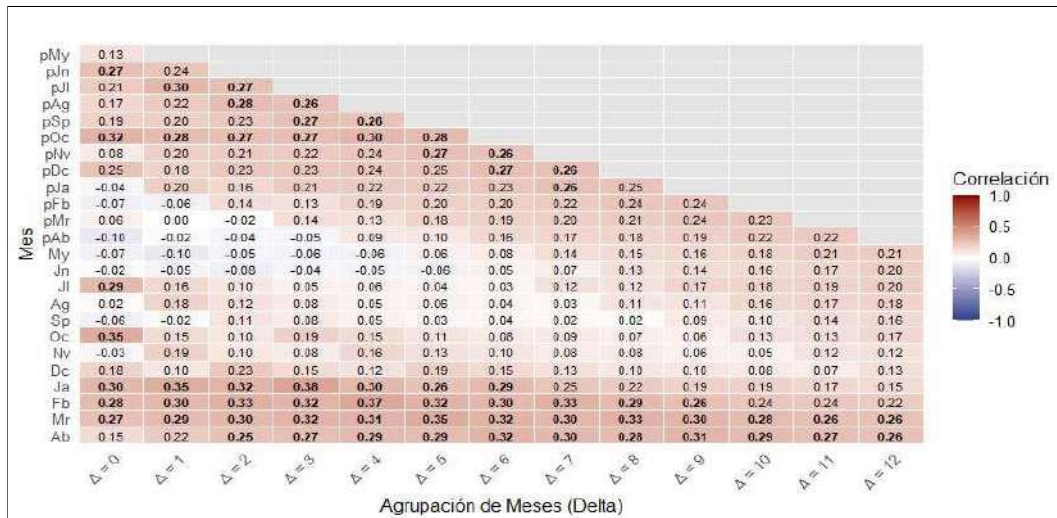


Figura 16: Matriz de correlaciones entre la cronología y la temperatura mínima para diferentes ventanas de agrupación mensual (Δ).

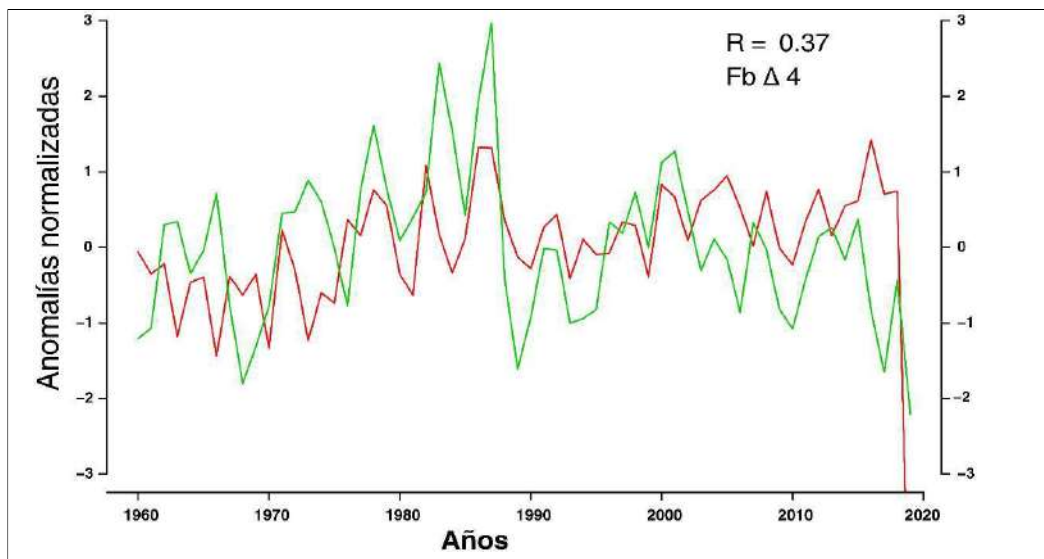


Figura 17: Gráfico comparación de anomalías normalizadas de la cronología (verde) y la temperatura mínima (rojo) para un periodo de 4 meses, incluyendo febrero y los 3 meses previos entre 1960 y 2019.

4.5.3. Correlación con humedad del suelo

La relación entre la cronología de crecimiento de *P. lingue* y la humedad superficial del suelo (0 - 7 cm de profundidad) se evaluó mediante funciones de respuesta y series temporales de anomalías normalizadas. Este análisis permite identificar la influencia de la disponibilidad hídrica sobre la dinámica de crecimiento radial en el Parque Nacional La Campana.

En la figura 18 se observa el análisis de correlación mediante la matriz de respuesta, en esta se aprecia asociaciones positivas y significativas entre la cronología estándar y la humedad superficial del suelo. Los valores más altos se concentran en los meses de agosto a abril, con coeficientes que alcanzan hasta $r = 0.45$, $p < 0.001$. La figura 19 presenta la correlación entre la cronología y humedad del suelo para la agrupación de meses abril $\Delta 12$, se evidencia una coherencia en las fluctuaciones interanuales entre ambas variables, donde los periodos de mayor crecimiento coinciden con condiciones más húmedas en el suelo.

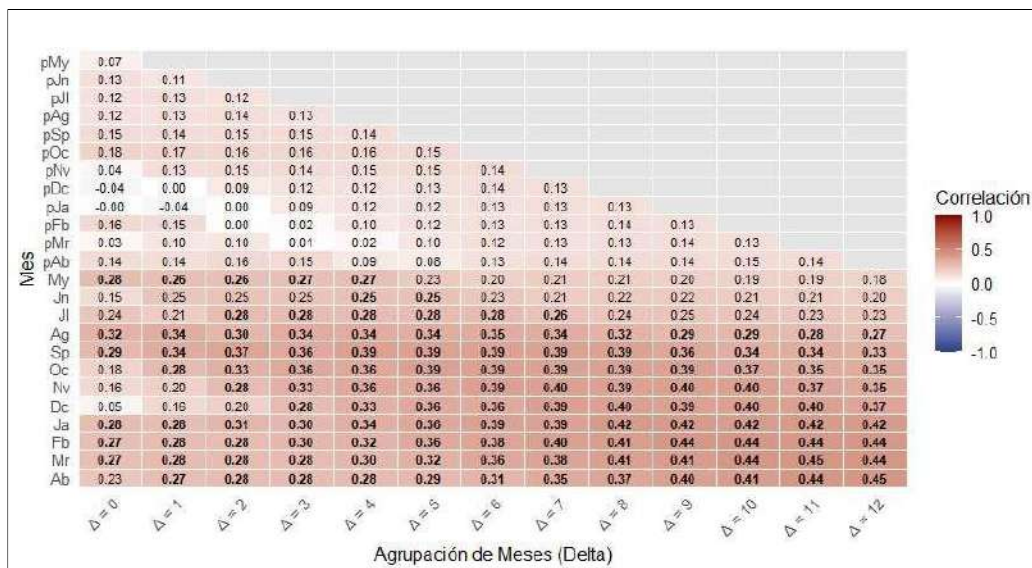


Figura 18: Matriz de correlaciones entre la cronología y la humedad del suelo para diferentes ventanas de agrupación mensual (Δ).

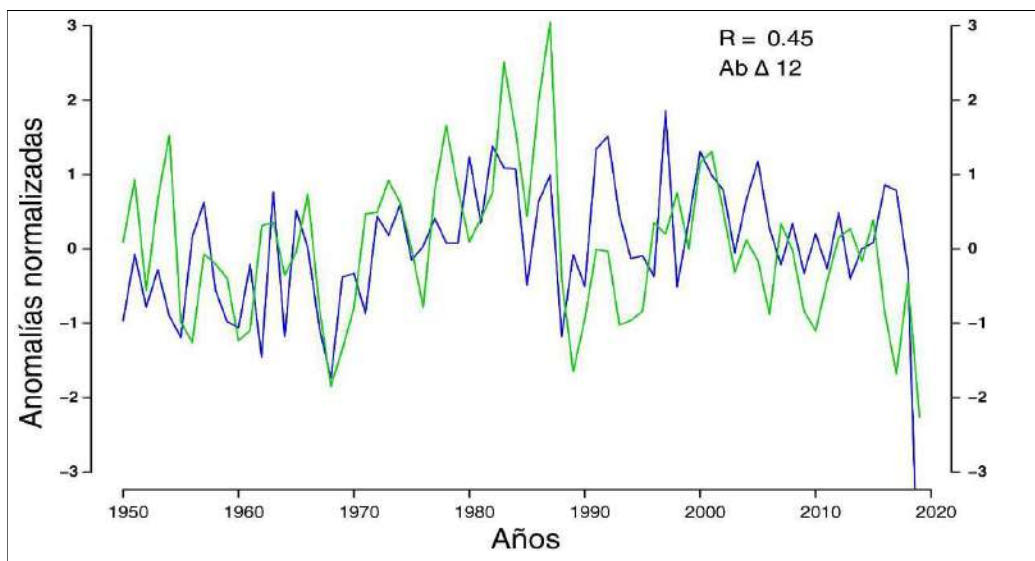


Figura 19: Gráfico comparación de anomalías normalizadas de la cronología (verde) y la humedad del suelo (azul) para un periodo de 12 meses, incluyendo abril y los 11 meses previos entre 1950 y 2019.

4.5.4. Correlación con temperatura del suelo

La relación entre la cronología de *Persea lingue* y la temperatura del suelo (0 - 7 cm de profundidad) se analizó con el fin de evaluar cómo las condiciones térmicas subterráneas influyen en el crecimiento radial de la especie en el Parque Nacional La Campana. Este enfoque permite identificar posibles efectos limitantes de la temperatura sobre la disponibilidad hídrica y el desempeño de los árboles.

En la figura 20 se observa el análisis de correlación mediante matriz de respuesta, el cual revela asociaciones negativas entre la cronología estándar y la temperatura del suelo, alcanzando un valor máximo de $r = -0.37$, $p = 0.001$. La figura 21 presenta la correlación entre la cronología y temperatura del suelo, donde en varios periodos se evidencia que los incrementos en la temperatura del suelo coinciden con reducciones en el crecimiento de *P. lingue*.

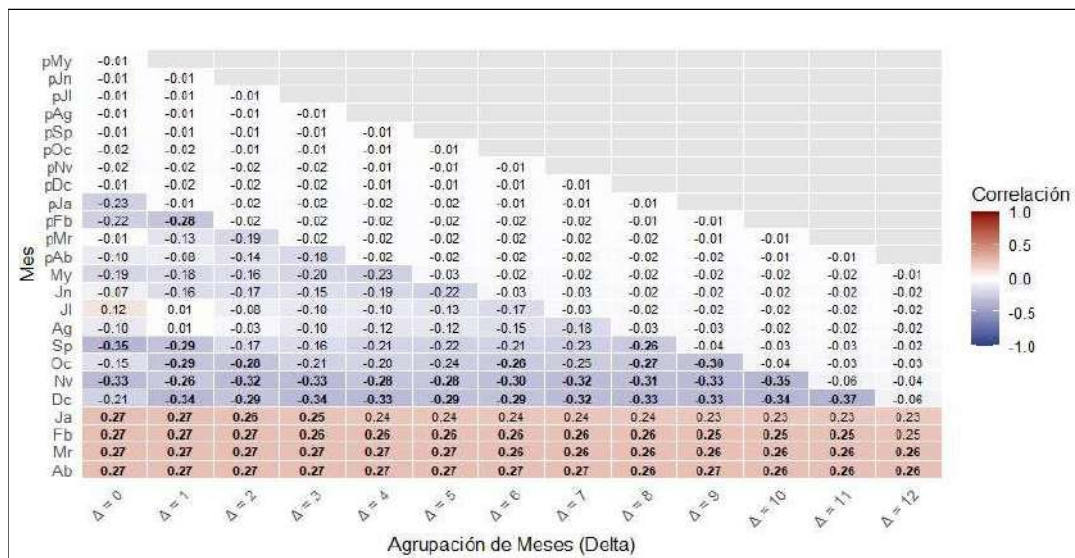


Figura 20: Matriz de correlaciones entre la cronología y la temperatura del suelo para diferentes ventanas de agrupación mensual (Δ).

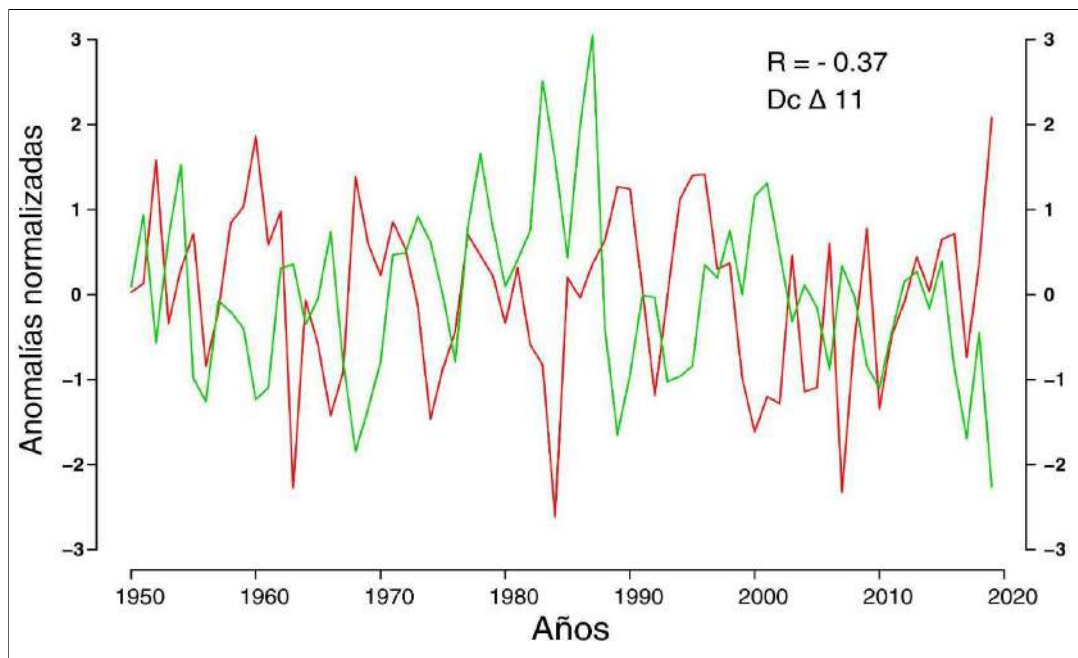


Figura 21: Gráfico comparación de anomalías normalizadas de la cronología (verde) y la temperatura del suelo (rojo) para un periodo de 11 meses, incluyendo diciembre y los 10 meses previos entre 1950 y 2019.

5. DISCUSIÓN

5.1. Cronologías ancho de anillo

La cronología de *Persea lingue* resultó de una extensión de 129 años y muestra un valor EPS de 0.934 correspondiente al periodo comprendido entre 1891 y 2019, lo que evidencia una señal común suficientemente robusta entre las series que la componen. Además, se evidenció que durante el siglo XX hubo amplias fluctuaciones en el crecimiento y que, a inicios del siglo XXI, el crecimiento radial mostró una disminución sostenida, esta última coincidente con un periodo de déficit hídrico prolongado. En este periodo se observó una disminución marcada en el índice de ancho de anillo, lo que confirma la alta sensibilidad de la especie a condiciones de aridez sostenida. Este comportamiento es consistente con lo reportado por Gipoulou-Zúñiga *et al.* (2025), quienes identificaron que *P. lingue* presenta una fuerte dependencia de la humedad del suelo, especialmente en primavera y verano, y una baja resiliencia frente a sequías extremas en comparación a otras especies arbóreas del bosque esclerófilo. De forma similar, González-Reyes *et al.* (2024) documentaron una disminución multiespecífica del crecimiento en bosques

mediterráneos de Chile central, atribuyendo este patrón a un cambio severo en la disponibilidad hídrica regional.

5.2. Establecimiento y mortalidad de *Persea lingue*

La datación del establecimiento mostró que la mayor concentración de nuevos individuos se produjo entre las décadas de 1920 y 1940. Este máximo podría coincidir con el receso paulatino de la actividad minera en la zona producto de la segunda guerra mundial (Venegas. 2020; González. 2014), junto con las iniciativas sociales de conservación por parte de ciudadanos, como las acciones de conservación promovidas por el eminente botánico Gualterio Looser y otros actores. Fue precisamente, en el año 1936, durante el Congreso Científico General Chileno, donde se propuso formalmente la preservación del palmar de Ocoa y las roblerías del cerro La Campana por su alto valor científico, estético y turístico, impulsando así el interés por la protección del área antes de su declaración oficial como Parque Nacional (Venegas, 2020). Si bien existe un desfase de años, los resultados sugieren que el contexto histórico-social de la época pudo haber incidido en una menor presión de uso sobre los bosques. Su consiguiente recuperación, coincidiría con el establecimiento de nuevos individuos de *P. lingue* en el área de estudio.

La datación de muerte reveló que los eventos de mortalidad comienzan desde fines de la década de 1990, con una máxima concentración entre 2000 y 2009. Un 23% de la mortalidad detectada ocurrió a partir del período de la megasequía (2010 en adelante). La ausencia de una mayor concentración de mortalidad en este período podría explicarse en que las muestras utilizadas provinieron de rodajas de árboles desarraigados. Es muy probable que los árboles que permanecen muertos en pie, no muestreado en este estudio por razones de seguridad, hayan sufrido mortalidad durante el periodo de la megasequía, lo que refuerza la necesidad de futuros trabajos que incorporen este tipo de material. En cualquier caso, los resultados sugieren que el estrés hídrico prolongado fue un factor determinante en la mortalidad de individuos, sin descartar que otros agentes como plagas o enfermedades hayan contribuido, dada la mayor susceptibilidad fisiológica de los árboles debilitados por sequía.

5.3. Tasas y patrones de crecimiento

Las tasas de crecimiento radial de *Persea lingue* muestran un patrón caracterizado por un incremento acelerado durante los primeros años de vida, seguido de una marcada desaceleración en etapas adultas. Este comportamiento sugiere que gran parte del desarrollo del radio se concentra en las primeras décadas, mientras que los individuos maduros mantienen un crecimiento más limitado y estable. La superposición temporal de los patrones de crecimiento reducido y mortalidad reciente indica una relación estrecha entre el desempeño de *P. lingue* y la variabilidad climática regional. La disminución de precipitaciones y el

aumento de temperaturas han generado condiciones de déficit hídrico crítico, reduciendo la capacidad de crecimiento de la especie. Esto es consistente con lo planteado por Venegas-González *et al.* (2022) y González-Reyes *et al.* (2024), quienes advierten que las especies de los bosques mediterráneos en el límite norte de su distribución enfrentan riesgos significativos de retracción poblacional bajo escenarios de mayor aridez.

5.4. Relación clima-crecimiento

Las precipitaciones presentaron una relación positiva con el crecimiento radial desde el inicio de primavera (octubre) que se mantienen a través del verano-otoño hasta mediados del invierno (agosto). En contraste, la temperatura máxima se asocia negativamente durante el otoño-invierno y al inicio del verano. La temperatura mínima se asocia positivamente con el crecimiento desde mediados de la primavera hasta fines de verano, desde los meses de noviembre hasta febrero. La humedad del suelo muestra correlaciones positivas a lo largo de todo el año, especialmente desde los meses de inicio de latencia invernal (mayo) hasta casi el término de la estación de crecimiento (abril). Por su parte, la temperatura del suelo exhibe correlaciones negativas desde fines del verano, a través del otoño y hasta la primavera.

El análisis de las correlaciones entre la cronología de *Persea lingue* y las variables climáticas confirma que la disponibilidad hídrica constituye el principal factor que regula el crecimiento radial en el límite norte de su distribución. La especie mostró una relación positiva con la precipitación y la humedad del suelo, lo que refleja su fuerte dependencia de condiciones húmedas durante gran parte del ciclo anual. En contraste, se observaron correlaciones negativas con la temperatura máxima, indicando que los eventos de calor intenso limitan el crecimiento, especialmente en los meses de primavera y verano cuando la demanda evaporativa es más alta.

En conjunto, los resultados evidencian que el crecimiento de *P. lingue* responde de manera integrada a la interacción entre disponibilidad hídrica y temperatura, siendo particularmente vulnerable a déficits prolongados de agua y a condiciones de calor extremo.

6. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se desarrolló una cronología de ancho de anillos de *Persea lingue* con una extensión de 129 años en el Parque Nacional La Campana, la cual evidenció una disminución sostenida del crecimiento radial posterior al año 2007, coincidiendo con años previos al inicio y persistencia de la

megasequía en Chile central. El establecimiento mostró que la mayor concentración de nuevos individuos se registra entre las décadas de 1920 y 1940, mientras que la datación de eventos de mortalidad indica que en las muestras colectadas se manifiesta a partir del año 1996, alcanzando su máximo entre 2000 y 2009. La coincidencia entre el crecimiento reducido y la elevada mortalidad reciente confirma la alta sensibilidad de *P. lingue* a la disponibilidad hídrica y su vulnerabilidad en el límite norte de su distribución. Así mismo la considerable relación observada entre el crecimiento de la especie con las precipitaciones y temperatura aluden la fuerte dependencia de la población en estudio a las condiciones ambientales. En síntesis, los resultados sugieren que la mortalidad registrada entre 1996 y 2009 no es contradictoria con la megasequía, sino complementaria. Esto evidencia que la población de *P. lingue* ya estaba bajo un estrés hídrico progresivo desde los eventos de sequía de 1996 y 1998. Dada la ubicación de esta población en el límite norte de distribución, su mayor sensibilidad climática explica la alta vulnerabilidad observada.

Finalmente, frente a la proyección de una aridez creciente para Chile central, la conservación de las poblaciones remanentes de *P. lingue* requerirán medidas de manejo adaptativo orientadas a favorecer la regeneración natural, restaurar áreas degradadas, y mantener la integridad de ese tipo de bosque higrófilo. Asimismo, la implementación de monitoreo dendrocronológico a largo plazo permitirá evaluar la respuesta de la especie frente a futuros eventos climáticos extremos y ajustar las estrategias de manejo de manera oportuna.

7. REFERENCIAS

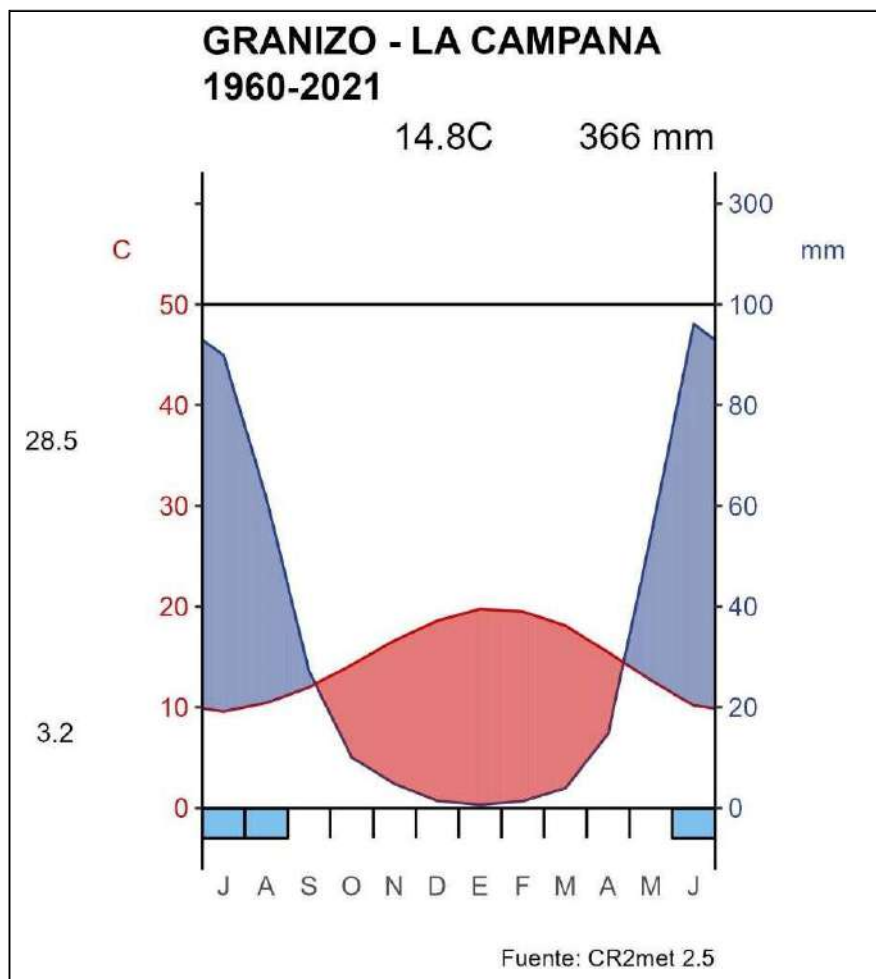
- Allen C, A Macalady, H Chenchouni, D Bachelet, N McDowell, M Vennetier, T Kitzberger, A Rigling, D Breshears, EH Hogg, P González, R Fensham, Z Zhang, J Castro, N Demidova, JH Lim, G Allard, S Running, A Semerci, N Cobb. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management* 259(4):660-684.
- Armesto JJ, MTK Arroyo, FL Hinojosa. 2007. The Mediterranean environment of central Chile. In TT Veblen, KR Young, AR Orme eds. *The Physical Geography of South America*. Oxford, Inglaterra. Oxford University Press. pp. 184–199. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/120061>
- Blondel J, J Aronson. 1999. *Biology and wildlife of the Mediterranean region*. Oxford, Inglaterra. Oxford University Press. 328 p.
- Boisier JP, C Alvarez-Garretón, RR Cordero, A Damiani, L Gallardo, RD Garreaud, F Lambert, C Ramallo, M Rojas, R Rondanelli. 2018. Anthropogenic drying in central-southern Chile evidenced by long-term observations and climate model simulations. *Elementa: Science of the Anthropocene* 6:74. <https://doi.org/10.1525/elementa.328>
- Boisier JP, R Rondanelli, RD Garreaud, F Muñoz. 2016. Anthropogenic and natural contributions to the Southeast Pacific precipitation decline and recent megadrought in central Chile. *Geophysical Research Letters* 43(1):413–421. Disponible en <https://doi.org/10.1002/2015GL067265>
- Briffa KR. 1995. Statistical aspects of the interpretation of high-resolution proxy climate data: The example of dendroclimatology. In H von Storch, A Navarra eds. *Analysis of Climate Variability: Applications of Statistical Techniques*. Berlin, Alemania. Springer. pp. 77–94.
- Buras A. 2017. A comment on the expressed population signal. *Dendrochronologia* 44(1):130–132.
- Catalán, E. 2015. *Relaciones humano-ambiente en el Parque Nacional La Campana: Una trayectoria de encuentros y desencuentros entre comunidades locales y el área protegida*. Memoria para optar al título profesional de Antropóloga Social. Santiago, Chile. Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Chile. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/136136>
- Cook ER, Holmes RL. 1986. User manual for program ARSTAN. Chronology Series VI. University of Arizona. Tucson, Arizona, Estados Unidos.
- Cook ER, LA Kairiukstis. 1990. *Methods of dendrochronology: Applications in the environmental sciences*. Dordrecht, Países Bajos. Kluwer Academic Publishers. 183 p.

- CONAF (Corporación Nacional Forestal, CL). 1997. Plan de manejo. Parque Nacional La Campana. 152 p.
- CONAF (Corporación Nacional Forestal, CL). 2017. Plan de manejo. Parque Nacional La Campana. CONAF. 162 p.
- Del Fierro P, L Pancel. 1998. Experiencia silvicultural del bosque nativo de Chile. Recopilación de antecedentes para 57 especies arbóreas y evaluación de prácticas silviculturales. Santiago, Chile. GTZ–CONAF. 420 p.
- Donoso C. 1982. Reseña ecológica de los bosques mediterráneos de Chile. *Bosque* 4(2):117–146.
- Elórtegui S, A Moreira Muñoz. 2002. Parque Nacional La Campana: Origen de una Reserva de la Biosfera en Chile Central. Taller La Era. Santiago, Chile. 171 p.
- Gajardo, R. (1994). La vegetación natural de Chile: Clasificación y distribución geográfica. Santiago, Chile: Editorial Universitaria.
- Garreaud RD, C Alvarez-Garretón, J Barichivich, JP Boisier, D Christie, M Galleguillos, C LeQuesne, J McPhee, M Zambrano-Bigiarini. 2017. The 2010–2015 megadrought in central Chile: impacts on regional hydroclimate and vegetation. *Hydrology and Earth System Sciences* 21:6307–6327. Disponible en <https://doi.org/10.5194/hess-21-6307-2017>, 2017
- Garreaud R, JP Boisier, C Alvarez-Garretón, DA Christie, T Carrasco-Escaff, I Vergara, RO Chávez, P Aldunce, P Camus, M Suazo-Álvarez, M Masiokas, G Castro, A Muñoz, M Zambrano-Bigiarini, R Fuster, L Godoy. 2025. Hyperdroughts in central Chile: drivers, impacts, and projections. *Hydrology and Earth System Sciences* 29:5347–5369. Disponible en <https://doi.org/10.5194/hess-29-5347-2025>
- Garreaud R, JP Boisier, R Rondanelli, A Montecinos, H Sepúlveda, D Veloso. 2019. The Central Chile Mega Drought (2010–2018): A climate dynamics perspective. *International Journal of Climatology* 40(1):421–439. Disponible en <https://doi.org/10.1002/joc.6219>
- Gauquelin T, G Michon, R Joffre, R Duponnois, D Genin, B Fady, M Bou Dagher-Kharrat, A Derridj, S Slimani, W Badri, M Alifriqui, L Auclair, R Simenel, M Aderghal, E Baudoin, A Galiana, Y Prin, H Sanguin, C Fernandez, V Baldy. 2018. Mediterranean forests, land use and climate change: a social-ecological perspective. *Regional Environmental Change* 18(3):623–636.
- Geomanejo Consultores. 2012. Catastro Flora y Fauna Parque Nacional La Campana. Identificación zonas de conservación. CONAF.
- Gipoulou-Zúñiga T, M Rojas-Badilla, C LeQuesne, V Rozas. 2025. Endemic threatened tree species in the Mediterranean forests of central Chile are highly sensitive to ENSO-driven water availability

- and drought. *Forest Ecosystems* 13:100324.
- González-Valencia, A. 2014. El Cerro La Campana y sus yacimientos de cobre. Ecos de la excavación minera en la antigua comuna de Olmué. Valparaíso, Chile. 11 p.
- González-Reyes Á, D Christie, I Schneider Valenzuela, A Venegas-González, A Muñoz, M Hadad, T Gipoulou-Zúñiga, V Tapia-Marzan, S Gibson-Carpintero, L Santini, C LeQuesne, R Villalba. 2024. Recent multispecies tree-growth decline reveals a severe aridity change in Mediterranean Chile. *Environmental Research Letters* 19:064046. Disponible en <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad4049>
- Hidalgo-Triana N, A Solakis, F Casimiro-Soriguer, H Choe, T Navarro, AV Pérez-Latorre, JH Thorne. 2023. The high climate vulnerability of western Mediterranean forests. *Science of the Total Environment* 895:164983.
- IPCC. 2023. Summary for Policymakers. In H Lee, J Romero eds. *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzerland. IPCC. pp. 1–34.
- Masiokas, M. H., Cara, L., Villalba, R., Pitte, P., Luckman, B. H., Toum, E., Christie, D. A., Le Quesne, C., Mauget, S., & Rivera, A. 2019. Hydrological consequences of recent climate variability in the Andes of central Chile. *Science of the Total Environment*, 698, 134165.
- Marquet PA, A Altamirano, MTK Arroyo, M Fernández, S Gelcich, K Górski, E Habit, A Lara, A Maass, A Pauchard, P Pliscoff, H Samaniego, C Smith-Ramírez eds. 2019. Biodiversidad y cambio climático en Chile: Evidencia científica para la toma de decisiones. Informe de la mesa de Biodiversidad. Santiago, Chile. Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.
- Miranda A, J Ovalle, A Syphard, M Berdugo, J Carrasco, R Mentler, F Squeo, C Delpiano, S Vargas, M Miranda, C Dobbs, S Gómez-González, A Lara, R Garreaud. 2022. Widespread synchronous decline in a Mediterranean forest driven by accelerated aridity. *Nature Plants* 9(1):1810–1817. Disponible en <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1769566/v1>
- Möder L, S Bruzzone, H Meza. 1992. La actividad minera en el Parque Nacional La Campana y su impacto. Santiago, Chile. CONAF.
- Muñoz M, MT Serra. 2006. Ficha de especie: *Persea lingue*. Estado de Conservación de las Plantas de Chile. Museo Nacional de Historia Natural–CONAMA.
- Pinilla-Suárez J, K Luengo, M Navarrete. 2015. LINGUE (*Persea lingue* (R. et Pav.) Nees ex Kopp) En La Región del BioBío. *Ciencia e Investigación Forestal* 21(2):71–96.

- Rojas M, P Aldunce, L Farías, H González, PA Marquet, JC Muñoz, R Palma-Behnke, A Stehr, S Vicuña. 2019. Evidencia científica y cambio climático en Chile: Resumen para tomadores de decisiones. Santiago, Chile. Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.
- Schulman E. 1956. Dendroclimatic changes in semiarid America. Tucson, Arizona, Estados Unidos. University of Arizona Press. 142 p.
- Serra MT, R Gajardo, A Cabello. 1986. *Persea meyeniana*. Programa de protección y recuperación de la flora nativa de Chile. Ficha técnica de especies amenazadas. CONAF. 13 p.
- Stokes MA, TL Smiley. 1968. An introduction to tree-ring dating. Chicago, Illinois, Estados Unidos. University of Chicago Press. 73 p.
- Venegas Espinoza, F. (2020). Ecos Históricos de La Campana.
- Venegas-González A, A Muñoz, S Carpintero-Gibson, Á González-Reyes, I Schneider Valenzuela, T Gipoulou-Zúñiga, I Aguilera Betti, F Roig. 2022. Sclerophyllous forest tree growth under a historic megadrought. *Ecosystems* 26(2):344–361.
- Vrahnakis M. 2016. Mediterranean Type Ecosystems: A brief introduction. *Bull. Eur. Dry Grassl. Group* 6 1(1):1-3.
- Wigley TML, KR Briffa, PD Jones. 1984. On the average value of correlated time series. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 23(2):201–213.

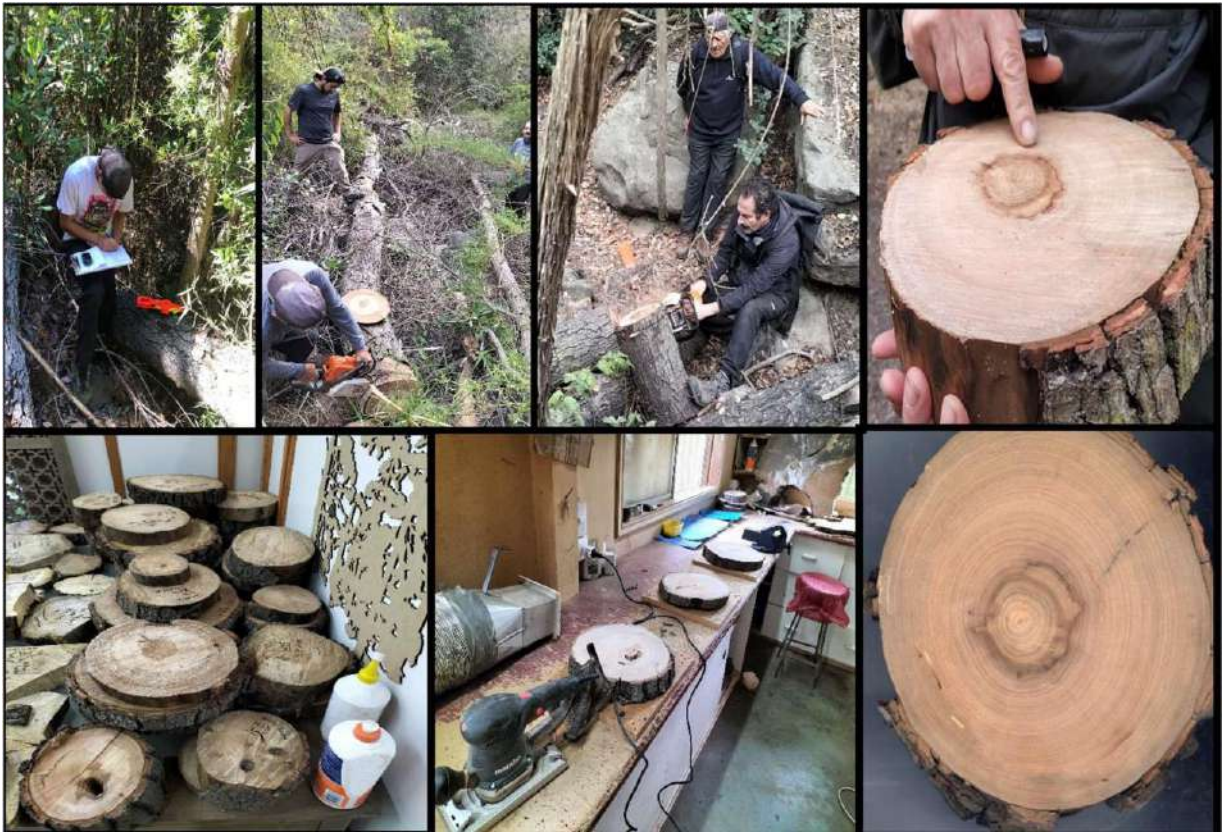
8. ANEXOS



Anexo 1: Diagrama climático Parque Nacional la Campana para el periodo de 1960-2021.



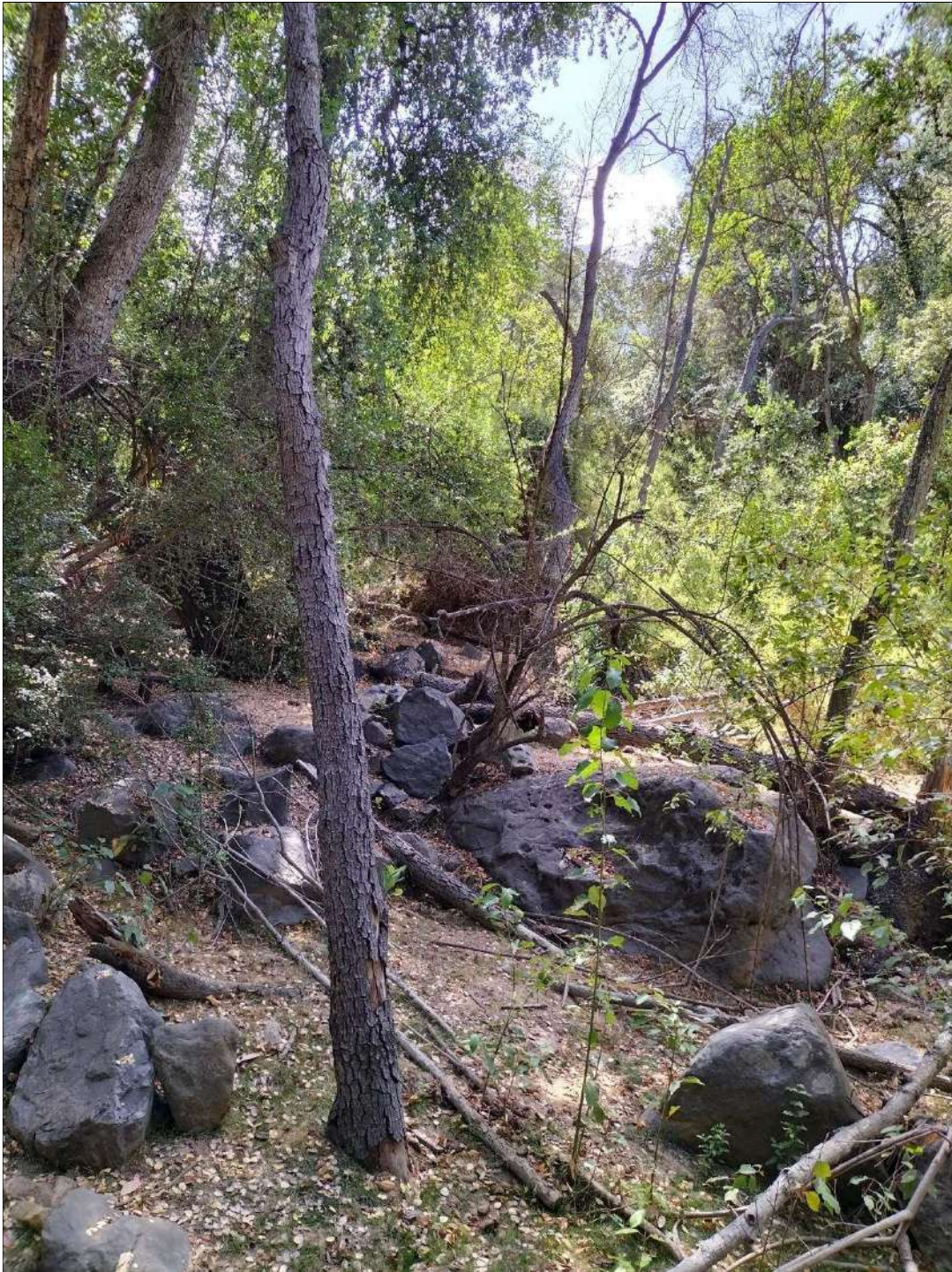
Anexo 2: Imágenes individuos de *Persea lingue* desarraigados en el Parque Nacional La Campana



Anexo 3: Imágenes toma de muestras y proceso de lijado de rodelas de individuos de *Persea lingue* desarraigados en el Parque Nacional La Campana.



Anexo 4: Imagen de claro formado a causa de la mortalidad en individuos de *Persea lingue*. Se aprecia
brinzales de *P. lingue*, *Aristotelia Chilensis*.



Anexo 5: Imagen de claro formado a causa de la mortalidad en individuos de *Persea lingue*. Se aprecia brinzales de *P. lingue*, *Aristotelia Chilensis* y *Cryptocarya alba*.

PART 7: DESCRIPTIVE STATISTICS:															16:02 Fri 22
Seq Series	Interval	No. Years	No. Segmt	No. Flags	Corr with Master	//----- Unfiltered -----\\	Mean msmt	Max msmt	Std dev	Auto corr	Mean sens	Max value	Std dev	Auto corr	AR ()
1	PMEC05B	1976 2005	30	1	0	.427	3.25	8.05	2.421	.784	.512	2.22	.463	-.093	1
2	PMEC05A	1971 2001	31	1	0	.490	1.96	4.74	1.421	.607	.555	2.11	.538	-.091	1
3	PME11A	1971 2000	30	1	0	.387	3.27	10.43	2.298	.493	.538	1.97	.446	-.107	2
4	PMEC12A	1964 2017	54	2	0	.476	1.83	4.76	1.121	.633	.538	2.02	.478	-.034	1
5	PME601A	1985 2005	21	1	0	.575	2.07	8.82	2.301	.667	.483	1.99	.564	-.084	1
6	PME04A	1974 2004	31	1	0	.468	1.53	5.25	1.301	.718	.403	2.10	.570	-.071	1
7	PMED02A	1962 2007	46	1	0	.376	1.71	6.55	1.444	.797	.530	2.28	.532	-.079	1
8	PMED02B	1962 2005	44	1	0	.388	1.88	4.53	1.260	.764	.454	2.55	.738	-.025	1
9	PMED04A	1988 2012	25	1	0	.337	1.27	2.58	.732	.639	.419	1.83	.434	-.091	1
10	PMED04B	1993 2014	22	1	0	.363	1.41	3.79	.777	.327	.421	2.39	.592	-.074	1
11	PMED11B	1957 2016	60	2	0	.407	1.06	2.61	.613	.420	.561	2.34	.511	-.043	1
12	PMED14B	1966 2006	41	1	0	.465	2.99	7.50	2.218	.714	.541	2.07	.461	-.032	2
13	PMED15B	1973 2003	31	1	0	.439	2.15	7.03	1.930	.661	.635	2.19	.563	-.008	2
14	PMED15A	1961 2004	44	1	0	.439	1.59	3.60	.658	.301	.392	2.18	.509	-.008	2
15	PMED05A	1982 1999	18	1	0	.498	1.03	3.61	.980	.618	.474	1.96	.479	-.050	1
16	GRT014B	1944 1990	47	1	1	.318	.34	.90	.170	.284	.513	2.15	.392	-.016	2
17	GRT006B	1948 2013	66	3	1	.347	2.32	6.41	1.293	.775	.293	1.92	.417	-.010	1
18	GRT015A	1932 1998	67	2	0	.429	.25	.87	.196	.607	.656	2.11	.432	-.060	2
19	GRT015B	1929 2010	82	3	0	.538	.30	1.56	.237	.566	.546	2.17	.446	-.021	2
20	GRT016B	1935 2004	70	3	0	.440	.25	.82	.201	.760	.528	2.21	.441	-.043	2
21	GRT016A	1944 2008	65	3	0	.541	.28	1.00	.257	.789	.507	2.14	.479	-.054	3
22	GRT029A	1934 2011	78	3	0	.440	.18	.54	.121	.345	.573	2.15	.454	-.005	1
23	GRT029B	1947 2005	59	3	0	.470	.15	.55	.117	.483	.503	2.14	.358	-.061	2
24	GRT019B	1942 2012	71	3	2	.340	.64	2.24	.509	.679	.455	2.04	.383	-.006	2
25	GRT019A	1945 2012	68	3	2	.339	.62	2.26	.516	.605	.515	2.19	.471	-.070	2
26	GRA021D	1928 2009	82	3	0	.449	1.34	4.10	.985	.680	.477	1.97	.367	-.026	2
27	GRA021C	1928 2009	82	3	0	.447	1.34	4.06	.987	.675	.527	1.93	.372	-.048	2
28	GRA008A	1932 2010	79	3	0	.427	1.04	4.54	.924	.769	.430	2.23	.517	-.062	4
29	GRA008B	1932 2010	79	3	0	.449	.97	4.57	.860	.804	.433	2.01	.457	-.012	2
30	GRA014C	1945 2000	56	3	0	.474	.35	1.71	.369	.714	.561	2.07	.432	-.051	4
31	GRA014D	1945 2000	56	3	0	.404	.36	1.71	.379	.727	.582	2.21	.539	-.085	2
32	GRA071D	1928 2000	73	3	0	.556	1.44	5.21	1.120	.617	.499	2.14	.414	-.003	2
33	GRA071C	1928 2000	73	3	0	.511	1.40	4.88	1.101	.649	.457	2.07	.364	-.034	2
34	GRA077D	1959 2019	61	2	1	.461	1.85	4.49	.971	.456	.403	2.01	.427	-.115	2
35	GRA077C	1959 2019	61	2	1	.479	1.86	4.46	.940	.474	.400	1.99	.425	-.096	2
36	GRA075B	1930 1996	67	2	0	.681	1.61	5.84	1.088	.541	.507	1.96	.373	-.080	2
37	GRA075A	1930 1996	67	2	0	.650	1.56	5.21	1.032	.546	.486	2.00	.367	-.091	2
38	GRA005A	1962 2016	55	2	0	.349	1.58	7.63	1.505	.566	.522	2.22	.444	-.048	2
39	GRA005B	1962 2016	55	2	0	.409	1.59	8.23	1.529	.496	.508	2.23	.458	-.030	2
40	GRA019A	1928 1998	71	2	0	.526	1.78	8.74	1.526	.745	.502	2.16	.475	-.029	2
41	GRA019B	1928 1998	71	2	0	.544	1.83	7.35	1.470	.778	.471	2.22	.469	-.011	2
42	GRA057B	1932 2007	76	3	0	.638	1.84	5.43	1.280	.868	.403	1.94	.335	-.047	2
43	GRA057A	1932 2007	76	3	0	.599	1.87	5.51	1.291	.871	.392	1.88	.342	-.035	2
44	GRA013D	1928 1999	72	2	0	.530	2.48	8.75	2.211	.713	.597	2.14	.518	-.072	3
45	GRA013C	1928 1999	72	2	0	.570	2.48	8.03	2.217	.730	.622	2.13	.563	-.110	2
46	GRA050D	1914 2001	88	4	0	.665	1.02	3.25	.626	.651	.379	2.14	.468	-.051	2
47	GRA050C	1914 2001	88	4	0	.629	1.02	3.39	.647	.629	.425	2.21	.486	-.011	2
48	GRA055A	1891 2002	112	5	0	.496	1.56	7.01	1.456	.859	.458	2.20	.461	-.018	1
PART 7: DESCRIPTIVE STATISTICS:															16:02 Fri 22
Seq Series	Interval	No. Years	No. Segmt	No. Flags	Corr with Master	//----- Unfiltered -----\\	Mean msmt	Max msmt	Std dev	Auto corr	Mean sens	Max value	Std dev	Auto corr	AR ()
49	GRA055B	1891 2002	112	5	0	.515	1.61	7.07	1.492	.873	.414	2.08	.394	-.024	1
50	GRA049A	1891 2005	115	5	0	.591	1.39	5.84	1.243	.799	.392	2.14	.385	-.039	2
51	GRA049B	1891 2005	115	5	0	.602	1.40	5.84	1.254	.812	.382	2.11	.362	-.013	2
Total or mean:		3215	122	8	.493	1.36	10.43	1.045	.670	.479	2.55	.445	-.002		

Anexo 6: Tabla con la estadística descriptiva de cada serie individual de *P. lingue*.

Anexo 7: Distribución de las muestras rodelas en el sitio de estudios junto a su año de establecimiento y muerte, y valor de Intercorrelación.



Anexo 8 Cronologías de ancho de anillos de *Persea lingue* en su versión estándar y residual, y profundidad de muestreo.

