

# Fenología reproductiva de *Pilgerodendron uviferum* (D. Don) Florin en la Isla de Chiloé, Chile

## Reproductive phenology of *Pilgerodendron uviferum* (D. Don) Florin on Chiloé Island, Chile

Nicole Galindo<sup>1,\*</sup> & Jan Bannister<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Forestal, Oficina Chiloé, Castro, Chile.

\*E-mail: ngalindo@infor.cl

### RESUMEN

*Pilgerodendron uviferum* es una especie de gran importancia ecológica, que luego de varios siglos de quemadas extensivas y tala indiscriminada presenta problemas de conservación. La falta de conocimiento sobre aspectos críticos de su ciclo reproductivo representa actualmente una importante brecha para apoyar proyectos de restauración forestal, particularmente en los tiempos óptimos de colecta de semillas y la posible interrupción de los mecanismos de polinización y/o dispersión de semillas. En este trabajo se estudia la fenología reproductiva de *P. uviferum* en la isla de Chiloé durante tres años, con el objetivo de identificar sus estados reproductivos, y ocurrencia en el tiempo. Las estructuras reproductivas masculinas y femeninas de *P. uviferum* se cuantificaron en cada temporada de verano, otoño, invierno y primavera, clasificándolas según su estado y fenofase. *P. uviferum* tiene un ciclo reproductivo acotado a un poco más de 1 año. En árboles machos y hembras, se observa que más del 50% de las ramas presenta diferenciación de las yemas reproductivas, de las cuales más del 75% logra dispersar el polen y el 80% de los conos femeninos son polinizados. Sin embargo, la dispersión de las semillas es considerablemente baja, siendo nula el primer año. El éxito reproductivo depende en gran parte de los árboles hembras, ya que los árboles machos mostraron un patrón regular de producción de conos. La reducción en la cosecha de semillas viables es uno de los problemas ecológicos más importantes en las coníferas, con implicancias en la producción de semillas para los programas de restauración.

**Palabras claves:** coníferas, conos, fenofase, restauración, semillas.

### ABSTRACT

*Pilgerodendron uviferum* is a conifer species of high ecological importance, which after several centuries of extensive burning and indiscriminate felling presents conservation problems. The lack of knowledge about critical aspects of their reproductive cycle represents currently an important gap to support forest restoration projects, particularly in optimal seed collection times and the possible interruption of pollination and/or seed dispersal mechanisms. In this work, we study the reproductive phenology of *P. uviferum* on Chiloé Island during three years, with the aim of identifying their reproductive stages and occurrence over time. The male and female reproductive structures of *P. uviferum* were quantified in each summer, autumn, winter and spring season, classifying them according to their state and phenophase. *P. uviferum* has a reproductive cycle limited to a ca. 1 year. In male and female trees, it is observed that more than 50% of the branches present differentiation of the reproductive buds, of which more than 75% manage to disperse the pollen and 80% of the female cones are pollinated. However, seed dispersal is considerably low, being zero the first year. The reproductive success largely depends on female trees, since male trees showed a regular pattern of cone production. The reduction in viable seed harvest is one of the most important ecological problems in conifers and has implications for seed production for restoration programs.

**Keywords:** cones, conifers, phenophase, restoration, seeds.

## INTRODUCCIÓN

La fenología es el estudio de la observación de las fases del ciclo de vida o eventos de plantas y animales en su ocurrencia temporal (Saveanu & Murray 2014). Las manifestaciones visibles permiten conocer los patrones de actividades funcionales como la aparición, transformación y la desaparición de las estructuras reproductivas y vegetales, tales como de floración, fructificación y dispersión de semillas, que expresan las posibles reacciones orgánicas ante el estímulo de las variaciones ambientales y del clima (Saveanu & Murray 2014, Ayma 2008).

Los estudios de fenología reproductiva son de suma importancia para evaluar el sistema de apareamiento y el éxito reproductivo de los individuos de una población. El sistema de apareamiento de un árbol determina la calidad de la producción de semillas, que se ha demostrado que está influenciada por la variación tanto en el momento reproductivo como en los niveles de producción de conos (Khanduri *et al.* 2010). Por lo tanto, la comprensión de la fenología de las especies es crucial para la comprensión de la función y la diversidad de las comunidades (Fenner 1998).

La falta de conocimiento sobre aspectos críticos del sistema de reproducción de la especie limita actualmente su uso, particularmente los tiempos óptimos de colecta de semillas y la posible interrupción de sus mecanismos de polinización. Las investigaciones sobre la fenología reproductiva, la producción de polen, la ecología de la polinización y la dispersión del polen son un componente implícito de los estudios del sistema de reproducción, necesarios para comprender los mecanismos a través de los cuales se mantiene el sistema de reproducción (Kuaraksa *et al.* 2012, Khanduri *et al.* 2010).

La fenología reproductiva se ha utilizado en temas de biodiversidad, productividad, interacciones planta-fauna, programas de conservación de recursos genéticos y manejo forestal y más recientemente en estudios del cambio climático global (Saveanu & Murray 2014, Hernández *et al.* 2014, Ayma 2008). En general, los estudios sobre el cambio global han documentado la influencia del aumento de la temperatura, el cambio de las precipitaciones y otros aspectos, como el aumento de las concentraciones de CO<sub>2</sub>, en la cronología de las especies y la fenología a nivel de los ecosistemas. Es por ello la importancia de los estudios de la fenología reproductiva, ya que en la actualidad son escasos en el país y poco se sabe de la fenología de las especies principalmente con problemas de conservación, a pesar de la importancia que representan dichas especies en los ecosistemas (Hernández *et al.* 2014). Es así que, los estudios que se centren en los procesos y patrones reproductivos de especies con problemas de conservación, pueden contribuir a su protección, al

detectar fases del ciclo reproductivo que sean sensibles y que permitan explicar la baja tasa de producción de semillas y de regeneración natural. De esta manera, la evaluación de la fenología reproductiva en las especies puede ser de gran importancia para la aplicación directa a la conservación de germoplasma, aplicados por ejemplo en la colecta directa de semillas para la restauración forestal, o como la comprensión de la dinámica y la regeneración de las poblaciones naturales (Fenner 1998).

Estudios recientes han demostrado que, la conífera vulnerable y dioca *Pilgerodendron uviferum* (D. Don) Florin no produce conos todos los años, tiene intervalos irregulares de producción de semillas, generando cada 7 años abundantes de semillas de *P. uviferum*, lo que se traduce en una falta de semillas y pérdida de oportunidades para la regeneración de la especie durante los periodos de baja producción de semillas (Galindo *et al.* 2021).

A pesar de la importancia ecológica de *P. uviferum* y problemas de conservación luego de varios siglos de quemadas extensivas y tala indiscriminada (Bannister *et al.* 2012, Lara *et al.* 2013), no existen estudios disponibles para evaluar, en forma cuantitativa y experimental, procesos relativos a su ciclo reproductivo, la formación de estructuras reproductivas o fenología reproductiva de la especie. No obstante, Lara *et al.* (2013) presentan en general, el ciclo reproductivo de poblaciones de *P. uviferum* en Argentina, e indican que entre los meses de marzo-abril se produce la diferenciación de yemas reproductivas, la polinización ocurre entre los meses de octubre-diciembre. Sin embargo, la fenología de los conos machos y hembras, y el éxito de apareamiento en poblaciones naturales de esta especie aún no se han estudiado en detalle.

El presente estudio tuvo por objetivo identificar los estados reproductivos en árboles machos y hembras de *Pilgerodendron uviferum* en bosques quemados dominados por la especie al sur de la isla de Chiloé, y su ocurrencia en el tiempo. Complementariamente se caracterizan las fases reproductivas de individuos machos y hembras de *P. uviferum*, se identifican y analizan las implicancias del ciclo reproductivo en la restauración y conservación de *P. uviferum*.

## MATERIALES Y MÉTODO

### ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se llevó a cabo al sur de la Isla de Chiloé, al interior del Parque Tantauco (43°10 S, 74°05 O), área de conservación privada que alberga grandes superficies de bosques dominados por *P. uviferum*, que fue afectada por incendios de origen antrópico y que causaron la destrucción de estos bosques (Holz & Veblen 2009) (Fig. 1). El clima corresponde

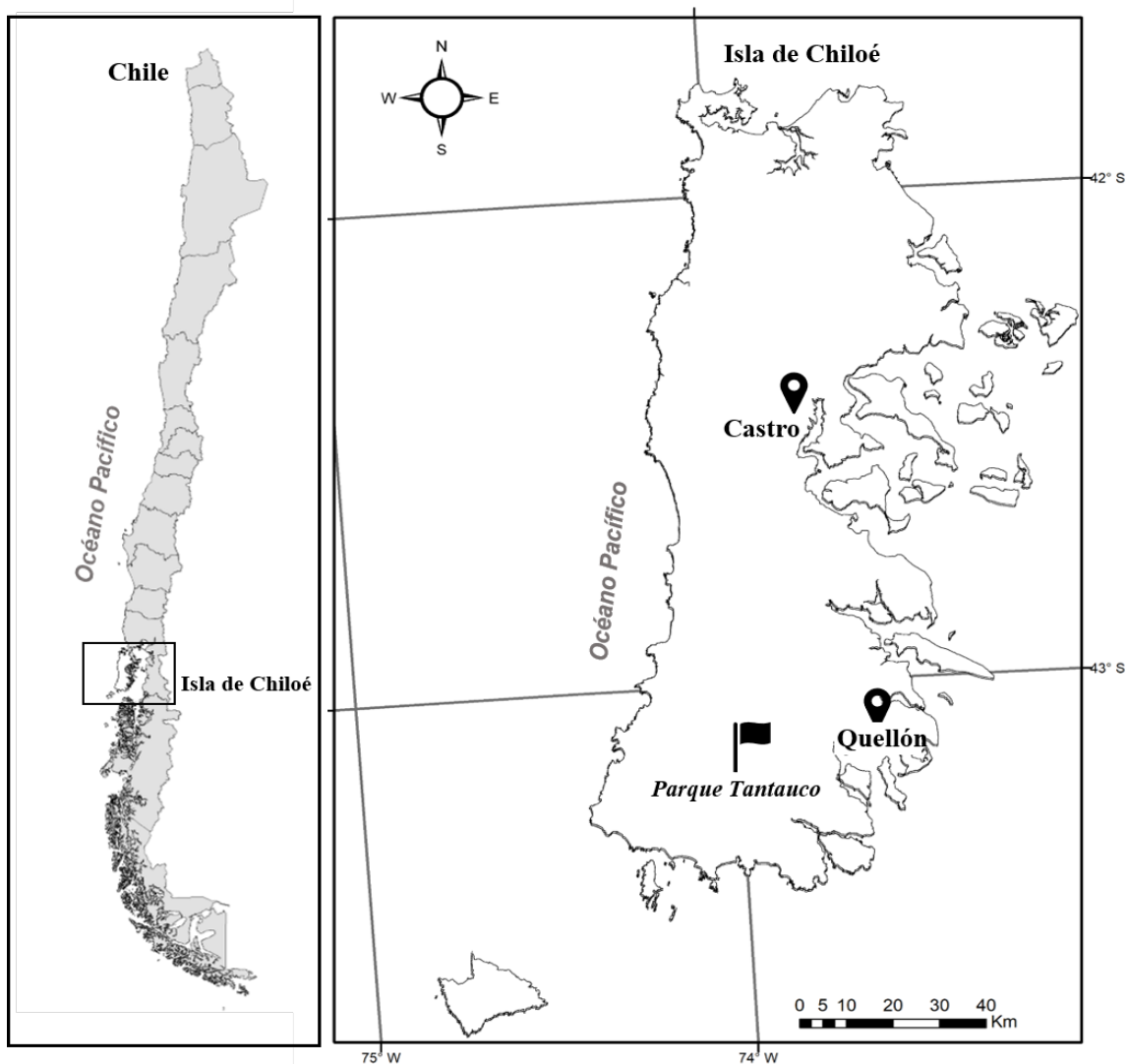
a templado frío con fuerte influencia oceánica (Di Castri & Hajek 1976). La estación meteorológica más cercana (INIA-Tara, Chonchi, a 87 km de distancia) muestra precipitaciones medias anuales de 1.460 (mm), humedad relativa de 86 % y temperaturas medias, máximas y mínimas de 10,2; 14,1 y 6,4 °C, respectivamente, entre los años 2012 y 2022, (Red Meteorológica INIA 2023).

El paisaje del área estudiada fue fuertemente influenciado por las últimas glaciaciones (ca. 13.000 años AP), dando hoy origen a lomajes suaves y hondonadas. En sectores con relieve deprimido y planos predominan los suelos ñadis, que se caracterizan por presentar un horizonte delgado y rojizo entre el suelo y el depósito fluvio glacial llamado fierrillo u horizonte gley (Villagrán 1988). La baja profundidad y escasa

pendiente de estos suelos produce una lenta velocidad de drenaje en los meses invernales, saturando el suelo de agua, al contrario, durante los meses estivales se produce una disminución de la humedad debido a la limitada capacidad de almacenar suficiente agua.

#### DISEÑO DE MUESTREO

Considerando que *P. uviferum* es una especie dioica (Bannister et al. 2012, Lara et al. 2013) se realizó el seguimiento de 10 árboles adultos reproductivos de *P. uviferum* (5 machos y 5 hembras). En cada uno de los árboles se marcaron 4 ramas terminales que presentaban estructuras reproductivas (conos), orientadas en dirección a los 4 puntos cardinales.



**FIGURA 1.** Ubicación geográfica del área de estudio (Parque Tantauco) en la Isla de Chiloé. / Geographic location of the study area (Tantauco Park) on the Island of Chiloé.

En las ramas marcadas se identificaron los conos masculinos y femeninos, según su estado reproductivo (Tabla 1). De acuerdo a las definiciones de Lara *et al.* (2013) se consideraron conos femeninos aquellas estructuras globosas sub-leñosas, formados por 2 escamas opuestas, provistas de un largo apéndice dorsal aristado, carnosas cuando jóvenes y leñoso - coriáceas en la madurez, en cambio, se consideraron los conos masculinos como aquellas estructuras reproductivas amentiformes, cortos y formados por 5 a 7 pares de brácteas. Posteriormente, en cada rama marcada, se estimó el porcentaje de la cobertura de conos presentes (masculinos y femeninos), según su estado reproductivo, en la rama (Tabla 1), de acuerdo a las siguientes categorías: (1) 0 %, (2) <25 %, (3) <50 %, (4) <75 % y (5) 100 %. Los 10 árboles marcados fueron visitados entre los años 2018 y 2021, las temporadas de enero-febrero (verano), marzo-abril (otoño), junio-agosto (invierno), septiembre-noviembre (primavera) y diciembre (verano) de cada año. Cabe señalar que, durante el verano y otoño del año 2020, no se visitó el experimento debido a la dificultad en la logística producto de la pandemia por Covid-19. De esta manera, para tener igual número de monitoreos en cada temporada del año, se visitó el verano y otoño del año 2021.

**ANÁLISIS DE DATOS**

Se analizaron los datos de los árboles machos y árboles hembras por separados. Para determinar la ocurrencia en el tiempo de la presencia de los “estados de las estructuras reproductivas”, que se definen como situación o estado

en que se encuentra la estructura reproductiva masculina (abierta/cerrada) y femenina (madura, inmadura, posterior maduración) (Tabla 1). En primer lugar, se calculó para cada estado de las estructuras reproductivas de los árboles machos y hembras (Tabla 1), por año (2018, 2019, 2020, 2021) y por temporada (otoño, invierno, primavera y verano), la media total del porcentaje de cobertura de conos de las ramas de los árboles machos (n=20) y hembras (n=20), obteniéndose el promedio de la cobertura de conos de las ramas por género, por año, por temporada y estado reproductivo.

Por otro lado, se determinaron las “fases reproductivas (fenofases)” de *P. uviferum* para cada género según las definiciones adaptadas de Tomilson *et al.* 1993 para *Libocedrus plumosa* (Cupressaceae), especie que muestra una estrecha similitud estructural con los conos de *Pilgerodendron* (Jagel & Dörken, 2015) (Tabla 2). Se define “fase reproductiva” a cada uno de los periodos que enmarcan los diferentes estados fenológicos del desarrollo externo de las estructuras reproductivas masculinas y femeninas (Tabla 2). Para caracterizar el desarrollo de las fases reproductivas para cada género de *P. uviferum*, inicialmente del total de ramas evaluadas en los árboles machos (n=20) y hembras (n=20), se calculó el porcentaje medio de ramas con presencia de la fenofase inicial (Tabla 2) en la temporada que se encuentra en su punto más alto, por género. De este total de ramas en la fenofase inicial, se calcularon los porcentajes medios de las siguientes fenofases, es decir, se calcularon las fenofases en relación al total de ramas de la fenofase anterior.

**TABLA 1.** Definición de los estados de las estructuras reproductivas en árboles machos y hembras de *Pilgerodendron uviferum*. Adaptado de USA National Phenology Network (2013) (Denny *et al.* 2014). / Definition of the stages of the reproductive structures in male and female trees of *Pilgerodendron uviferum*. Adapted from USA National Phenology Network (2013) (Denny *et al.* 2014).

Género	Estado estructuras reproductivas	Definición
Macho	Conos cerrados	Conos con polen fresco (estróbilo) son visibles en la planta. Presentan escamas superpuestas que se encuentran bien cerradas. Incluye conos que no estén abiertos o abiertos, pero no incluye conos marchitos o secos que han liberado polen (Fig. 1A).
	Conos abiertos	Conos con polen masculino fresco y abierto (estróbilo). Los conos se consideran “abiertos” cuando las escamas se han separado para liberar el polen. No incluye conos marchitos o secos que ya liberaron todo su polen (Fig. 1B).
Hembra	Conos inmaduros	Conos con semillas inmaduras son visibles en la planta (Fig. 3ABC).
	Conos maduros	Conos con semillas maduras son visibles en la planta. (Fig. 3DEF).
	Conos posterior a la maduración	Conos con semillas o semillas se han caído o han sido removidos de la planta desde su última visita. No incluye conos con semillas vacíos que dejaron caer todas sus semillas hace mucho tiempo pero que permanecieron en la planta (Fig. 3GHI)

**TABLA 2.** Definición de las fases reproductivas (fenofases) en árboles machos y hembra de *Pilgerodendron uviferum*. Adaptado de Tomilson *et al.* 1993 y (Lara *et al.* 2013). / Definition of the reproductive phases (phenophases) in male and female trees of *Pilgerodendron uviferum*. Adapted from Tomilson *et al.* 1993 and (Lara *et al.* 2013).

Género	Fenofases reproductivas	Definición
Macho	Diferenciación de yemas	Los conos cerrados se distinguen en amentos cortos, formados por 5 a 7 brácteas. (Lara <i>et al.</i> 2013).
	Dispersión de polen	Conos abiertos que posterior a la polinización, caen dejando una cicatriz circular con los restos del pedúnculo central (Lara <i>et al.</i> 2013).
Hembra	Diferenciación de yemas	Los conos inmaduros se distinguen por primera vez de los ápices vegetativos por la extensión de las puntas de las brácteas externas. La diferencia entre los ápices vegetativos y reproductivos se muestra mejor por la disección, ya que las hojas del follaje carecen de crecimiento intercalar extendido de las brácteas distales. Tan pronto como estas brácteas puntiagudas excedan la longitud de las hojas más viejas, la identificación de los conos jóvenes es segura (Tomilson <i>et al.</i> 1993). Cono con ápice plano, contrastante con el ápice cónico más estrecho del brote vegetativo.
	Desarrollo de yemas	Conos inmaduros con aumento progresivo de la longitud de las brácteas superiores. Los primordios de las protuberancias lingulares se diferencian en la superficie adaxial del par de brácteas más alto (Tomilson <i>et al.</i> 1993).
	Conos polinizados	Conos maduros que se describen como dos pares de escamas cónicas predominantes, cada una consiste en pares de escamas. Las cuatro escamas encierran las semillas insertadas en el eje del cono. Los márgenes de estas estructuras se unen uniformemente, dando lugar a la apariencia valvada del cono como un todo. Las brácteas se vuelven evidentemente decoloradas, aparentemente por depósitos internos de taninos. Desde la base hasta el ápice, las brácteas son cada vez más largas y los dos pares más altos superan con creces a los inferiores. (Tomilson <i>et al.</i> 1993).
	Conos semillas dispersadas	Cono posterior a la maduración con desprendimiento de semillas por separación de escamas. (Tomilson <i>et al.</i> 1993).

## RESULTADOS

### FENOLOGÍA REPRODUCTIVA DE ÁRBOLES MACHOS DE *P. UVIFERUM*

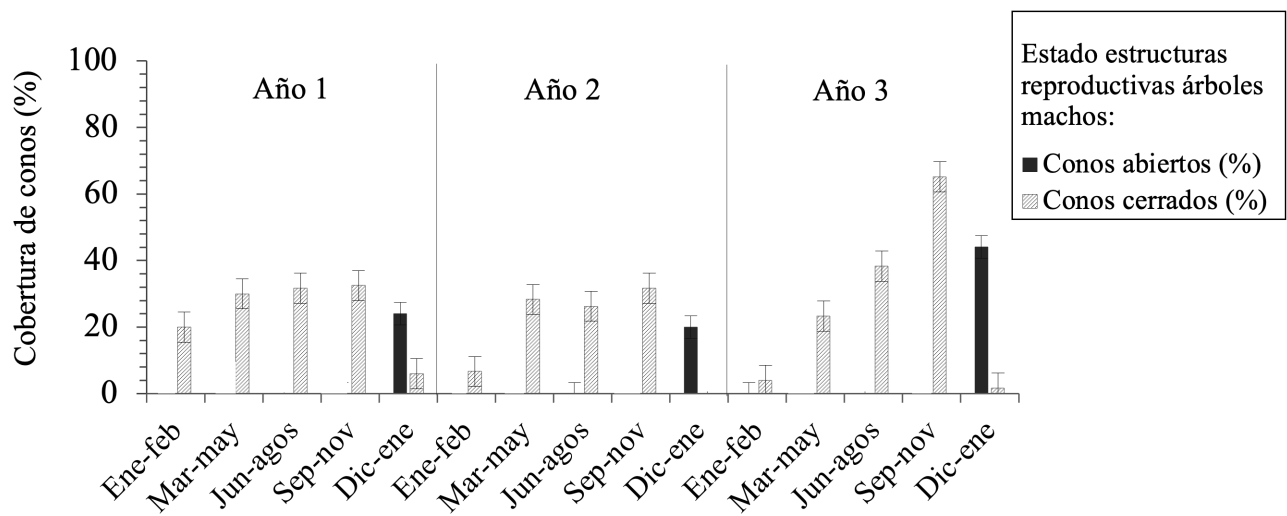
Luego de tres años de monitoreo del estado de las estructuras reproductivas de los árboles macho de *P. uviferum*, se observa que entre los meses estivales (enero-febrero) de cada año se registra la aparición e incremento en la cantidad de conos masculinos cerrados en las ramas de los árboles (Fig. 2A). Este incremento en la cantidad de conos masculinos se detiene en primavera (septiembre-noviembre), alcanzando una máxima cobertura de conos masculinos por ramas de 33, 32 y 65 %, respectivamente cada año (Fig. 3). Por otra parte, los conos masculinos abiertos (Fig. 2B), solo se observan en el verano del año siguiente (diciembre-enero). Durante los tres años de evaluación, la cobertura de conos masculinos abiertos es de 24, 20 y 44 %, respectivamente cada año (Fig. 3). Cabe considerar que, en general, la cobertura de las ramas

presentaba conos masculinos de otras temporadas, que no fueron parte de este estudio, por lo tanto, no se presentan entre los resultados de este trabajo.

Las fenofases reproductivas de los árboles machos considera como fase inicial la diferenciación de las yemas reproductivas de las vegetativas finalizando con el proceso de dispersión de polen (Lara *et al.* 2013). Del total de ramas de los árboles machos evaluados, durante los tres años de monitoreo, se observa que en promedio el 62 % de las ramas presenta la fase de diferenciación de yemas reproductivas (Tabla 3), observándose que cada año evaluado por separado presenta más del 50 % de las ramas en fase de diferenciación de yemas reproductivas. Del total de ramas que presentan diferenciación de yemas reproductivas, se observa que en promedio más del 75 % de las ramas alcanzó a dispersar el polen (Tabla 3).



**FIGURA 2.** Conos masculinos cerrados (A) y abiertos (B) de *Pilgerodendron uviferum*. / Closed (A) and open (B) male cones of *Pilgerodendron uviferum*.



**FIGURA 3.** Estados de las estructuras reproductivas en árboles machos (n=20) de *Pilgerodendron uviferum*, a lo largo de tres años. / States of reproductive structures in male trees (n=20) of *Pilgerodendron uviferum*, over three years.

**TABLA 3.** Fenofases reproductivas en árboles machos a lo largo de tres años. / Reproductive phenophases in male trees over three years.

Año	Ramas	
	Diferenciación de yemas (%)	Dispersión de polen (%) <sup>*</sup>
1 (n=16)	50,0	75,0
2 (n=10)	60,0	66,7
3 (n=13)	76,9	90,0
Promedio (%)	62,3	77,2

\*Porcentaje total de ramas que presentan conos con dispersión de polen en relación a la cantidad de ramas que presentan diferenciación de yemas reproductivas. / \*Total percentage of branches that present cones with pollen dispersion in relation to the number of branches that present differentiation of reproductive buds

#### FENOLOGÍA REPRODUCTIVA DE ÁRBOLES FEMENINOS DE *P. UVIFERUM*

Luego de evaluar durante tres años los conos femeninos de *P. uviferum*, se observa que el estado reproductivo de conos femeninos inmaduros (Fig. 4A) se comienzan a mostrar a partir del verano (enero-febrero), ocupando los conos inmaduros una cobertura de ramas de un 14, 31 y 4 %, respectivamente cada año (Fig. 5). Estos valores incrementan en otoño (marzo-mayo), invierno (junio-agosto) hasta la primavera (septiembre-noviembre), alcanzando niveles máximos de conos femeninos de 22, 36 y 66 %, respectivamente cada año (Fig. 5). En el verano siguiente (diciembre) no se observa la aparición de conos femeninos inmaduros. Por otra parte, el estado reproductivo de los conos femeninos maduros (Fig. 4DEF), en general, se observan durante todas las temporadas evaluadas, mostrando el tercer año de evaluación, en las temporadas de invierno (junio-agosto) y primavera (septiembre-noviembre), los niveles más bajos de conos femeninos (<40 %). El resto de las temporadas, la presencia de conos maduros alcanza sobre el 60 % de la cobertura de las ramas (Fig. 5). El estado

reproductivo del cono femenino posterior a la maduración (Fig. 4GH) se observa solo el segundo y tercer año de evaluación en la temporada de otoño (marzo-mayo) con un 5 y 23 % de cobertura de conos femeninos en la rama, respectivamente (Fig. 5).

Las fenofases reproductivas de los árboles hembras de *P. uviferum* considera como fase inicial la diferenciación de las yemas reproductivas de las vegetativas. El primer año se observa que un 27 % de las ramas presentan diferenciación de las yemas reproductivas femeninas, este valor aumenta el segundo año a un 56 % y a un 67 % el tercer año. Del total de las ramas que presentan diferenciación de yemas reproductivas, el 100 % de las ramas logra desarrollar las yemas reproductivas los tres años seguidos. De este total de yemas desarrolladas, se observa que sobre el 80 % de los conos fueron polinizados durante los tres años de evaluación, sin embargo, se observa que el primer año no hubo dispersión de semillas, el segundo año fue de un 42,9 % y el tercer año de un 37,5 % (Tabla 4).

**TABLA 4.** Fenofases reproductivas en árboles hembras de *P. uviferum* a lo largo de tres años. / Reproductive phenophases in female *P. uviferum* trees over three years.

Año	Ramas			
	Diferenciación yemas (%) <sup>1</sup>	Desarrollo yemas (%) <sup>2</sup>	Conos polinizados (%) <sup>3</sup>	Conos semillas dispersadas (%) <sup>4</sup>
1 (n=20)	27,3	100,0	83,3	0,0
2 (n=16)	56,3	100,0	77,8	42,9
3 (n=15)	66,7	100,0	80,0	37,5
Promedio (%)	50,1	100,0	80,4	26,8

<sup>1</sup>Porcentaje respecto al total ramas evaluadas.

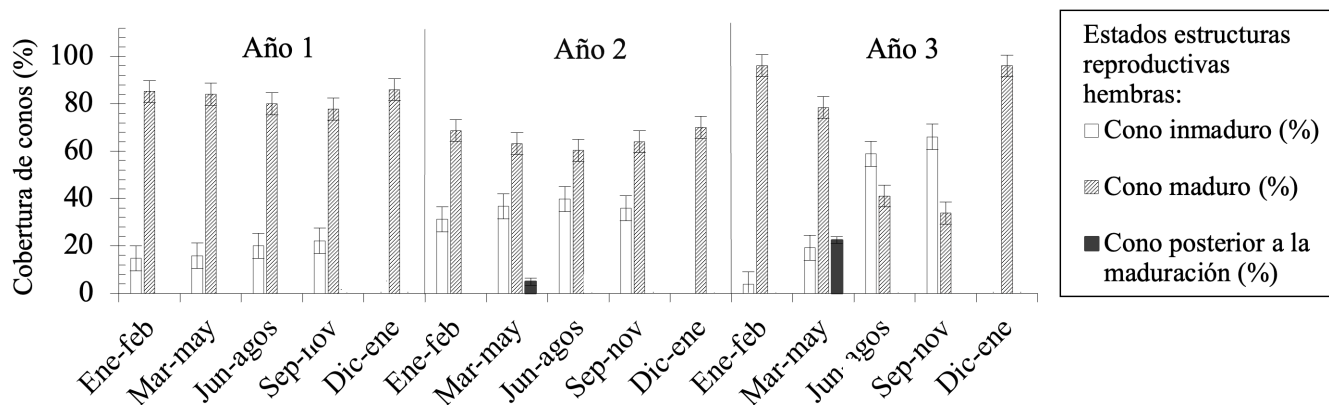
<sup>2</sup>Porcentaje respecto al total de ramas que presentaron diferenciación de yemas.

<sup>3</sup>Porcentaje respecto al total de ramas que presentaron desarrollo de yemas.

<sup>4</sup>Porcentaje respecto al total de ramas que presentaron conos polinizados.



**FIGURA 4.** Conos femeninos inmaduros (ABC), maduros (DEF) y posterior a la maduración (GHI) de *Pilgerodendron uviferum*. / Immature (ABC), mature (DEF) and post-ripening (GHI) female cones of *Pilgerodendron uviferum*.



**FIGURA 5.** Estados de las estructuras reproductivas en árboles hembras (n=20) de *Pilgerodendron uviferum*, a lo largo de tres años. / States of reproductive structures in female trees (n=20) of *Pilgerodendron uviferum*, over three years.

## DISCUSIÓN

### FENOLOGÍA REPRODUCTIVA DE ÁRBOLES MACHO Y HEMBRAS DE *P. UVIFERUM*

Nuestro estudio sobre fenología reproductiva de *P. uviferum* al sur de la isla de Chiloé, basado en tres años de observación, logró captar las características básicas de la fenología de la especie *P. uviferum*. El ciclo reproductivo de *P. uviferum* presenta un periodo reproductivo de más de 1 año aproximadamente. En general en las gimnospermas, los ciclos reproductivos ocurren en largos intervalos, principalmente entre las etapas de polinización y la fertilización, y entre la fertilización y el embrión completamente maduro, como se ha visto en el género *Pinus* (Linneo, 1753), el que ha sido considerado como extenso (Arista *et al.* 2001). En este caso, en cambio, el ciclo reproductivo de *P. uviferum* es considerado acotado como se ha visto en el caso del género *Abies* (Mill., 1754) (Arista *et al.* 2001).

Los conos con polen y los conos con semillas de *P. uviferum* se inician en la temporada de verano (enero-febrero), sin embargo, estas estructuras reproductivas pueden originarse un tiempo antes (1 mes) y posiblemente mostrarse después (Tomlinson *et al.* 1993). De esta manera, tanto las estructuras reproductivas masculinas como femeninas presentan la fase de desarrollo de conos a partir de la temporada de otoño (marzo-mayo), finalizando en la temporada de primavera (septiembre-noviembre). En dos estudios de Cupressaceae, sobre la producción de semillas de *Chamaecyparis nootkatensis* (D. Don) y de fenología de *Libocedrus plumosa* se demostró

que el periodo de desarrollo de conos ocurre en este mismo periodo (Anderson *et al.* 2002). Durante estas temporadas se observa que tanto los estados y las fases reproductivas de los conos masculinos y femeninos de *P. uviferum* son similares en los tres años de evaluación, y se asemejan a lo observado en otros estudios del ciclo reproductivo de las Cupressaceae *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus* y subsp. *Macrocarpa* (Arista *et al.* 2001).

En la segunda temporada del verano (diciembre-enero), los conos femeninos inmaduros frescos ya no son visibles, en cambio, se observan conos predominantes (Fig. 4DEF), compuestos de dos escamas y brácteas desplegadas (Tabla 2). Razón por la cual, se infiere que los conos femeninos ya han madurado y han sido polinizados (80 % de los conos femeninos polinizados). En algunas Cupressaceae, la polinización en el cono promueve un agrandamiento de las escamas y el posterior cierre del cono (Arista *et al.* 2001). También se ha observado que un cambio importante en la morfología de las brácteas de *Libocedrus plumosa* ocurre en el momento de la polinización, que implica la extensión del crecimiento ligular, además las escamas del cono inmaduro que son imbricadas se vuelven valvadas, que se asemeja a lo observado en los conos femeninos de *P. uviferum* (Fig. 4DEF) (Tomlinson *et al.* 1993). Por otro lado, se observa que la fase de dispersión de polen de los conos masculinos abiertos (temporada de verano (diciembre-enero)), coincide con este cambio en la morfología de los conos femeninos (Fig. 3), por ende, definimos que la fase de polinización del cono femenino inmaduro se desarrolla en la segunda temporada estival de enero y diciembre.

En la temporada de otoño (marzo-mayo) del año siguiente, se observa en general que, una baja proporción de los conos con semillas abren las escamas (<27 %) (Tabla 4), lo que hace posible la dispersión de las semillas de *P. uviferum* (Fig. 3H). En específico, se observa que el primer año, no hubo dispersión de semillas, produciéndose el segundo y tercer año de observaciones (42,9 y 37,5 %, respectivamente), considerando que si se llevó a cabo las fases de producción de yemas reproductivas y desarrollo de los conos las temporadas anteriores. De esta manera, se evidencia un problema en la fase de dispersión de semillas de *P. uviferum*, la que se considera baja o mínima en relación con la producción de conos en las fases anteriores. Sabemos que las plantas, en general, pueden ajustar el momento de la producción de propágulos o la maduración en respuesta a los cambios ambientales, que pueden afectar la dispersión de semillas, sin embargo, esto no fue evaluado en este experimento, pero consideramos la importancia de esta observación en el éxito reproductivo de la especie.

En general, la producción de conos inmaduros (Fig. 4ABC) y el desarrollo de conos maduros (Fig. 4DFG) varió entre los años (Fig. 4). Estas variaciones en la producción de conos femeninos y los bajos niveles de dispersión de semillas podrían explicar la producción irregular de semillas de *P. uviferum* (Galindo *et al.* 2021) en 10 años de monitoreo. Si bien este estudio no abarca los mecanismos que explican la variación en la producción de conos femeninos y la baja dispersión de semillas, se considera relevante poder evaluar en futuros estudios del ciclo y la fenología reproductiva de *P. uviferum*.

#### IMPlicANCIAS DEL CICLO REPRODUCTIVO EN LA RESTAURACIÓN Y CONSERVACIÓN DE *P. UVIFERUM*

En la actualidad *P. uviferum* enfrenta importantes desafíos para la restauración de sus bosques en la isla de Chiloé. Sabemos que la regeneración natural de *P. uviferum* está limitada por una baja disponibilidad de semillas y esta limitación puede verse exacerbada por la dioecia de la especie (Galindo *et al.* 2021, Bannister *et al.* 2014). De esta manera, la baja disponibilidad de semillas de la especie posiblemente tiene relación con años de baja producción de conos femeninos y aún más, en tres años de estudio, en que hubo años con alta y baja producción de conos femeninos, la dispersión de semillas se llevó a cabo en menos de un 30 % del total de la producción inicial de los conos femeninos. Además, observamos que el éxito reproductivo depende en gran parte de los árboles hembras, ya que los árboles machos mostraron un patrón regular de producción de conos masculinos y una tasa de dispersión de polen sobre el 77 % en los tres años de observación. Esta reducción en la cosecha de semillas viables

es uno de los problemas ecológicos más importantes en las coníferas y tiene implicancias en la producción y recolección de semillas para los programas de restauración.

De esta manera, si bien la disponibilidad de semillas de *P. uviferum* es irregular, se sugiere una planificación cuidadosa de la recolección de semillas y programas de trabajo de vivero de la especie, que considere mantener las poblaciones polinizadoras de *P. uviferum*, para ello se sugiere especialmente aumentar la cantidad de árboles hembras de *P. uviferum*, que son fundamentales para aumentar la producción de semillas. No obstante, sabemos que los proyectos de restauración forestal, la mayoría de las plántulas se producen a partir de semillas, y se desconoce cuáles son machos y hembras. Por lo tanto, la propagación vegetativa, derivados de árboles hembras de *P. uviferum* puede ser más necesaria para asegurar una proporción similar de árboles macho y hembra entre el material de plantación, que permita en el largo plazo conservar la especie. Si bien, la reproducción vegetativa de *P. uviferum* mediante acodo de ramas es una adaptación importante en suelos húmedos y mal drenados, en los que las estructuras clonales son comunes (Rovere *et al.* 2004), estos antecedentes aun no son claros para determinar su contribución en bosques de *P. uviferum* con limitada producción de semillas. Por otra parte, estudios como los realizados con estacas de *P. uviferum* tratadas con hormona enraizante (ácido Indolbutírico) en la Cordillera de la Costa de Valdivia, que muestran que un 42 % de las estacas presentaron raíces, luego de 8 meses (Lara *et al.* 2013), son fundamentales para seguir contribuyendo a la conservación de los bosques quemados *P. uviferum* con baja producción de semillas.

#### AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la administración de Parque Tantauco por su apoyo logístico. Esta es una contribución al programa de investigación de restauración de ecosistemas forestales nativos del Instituto Forestal. Se agradece el financiamiento del Ministerio de Agricultura.

#### REFERENCIAS

- Anderson, E.D., Owens, J.N., Colangeli, A.M, Russell, J.H. 2002. Challenges facing *Chamaecyparis nootkatensis* seed orchards: low seed production, pollen-cone abortion, self-pollination, and accelerated embryo development. *Canadian Journal of Forest Research* 32(8): 1411-1419.
- Arista, M., Ortiz, P.L., Talavera, S. 2001. Reproductive cycles

- of two allopatric subspecies of *Juniperus oxycedrus* (Cupressaceae). *Flora* 196(2): 114-120.
- Ayma, A. 2008. Aspectos fenológicos y productividad de semillas de *Podocarpus glomeratus* D. Don (Pino de Monte) en un bosque de neblina de los Yungas del Cotacajes (Sailapata, Cochabamba). *Revista de Agricultura* 60(42): 32-38.
- Bannister, J.R., Donoso, P.J., Bauhus, J. 2012. Persistence of the slow growing conifer *Pilgerodendron uviferum* in old-growth and fire-disturbed southern bog forests. *Ecosystems* 15: 1158-1172.
- Bannister, J.R., Wagner, S., Donoso, P.J., Bauhus, J. 2014. The importance of seed trees in the dioecious conifer *Pilgerodendron uviferum* for passive restoration of fire disturbed southern bog forests. *Austral Ecology* 39(2): 204-213.
- Denny, E.G., Gerst, K.L., Miller-Rushing, A.J., Tierney, G.L., Crimmins, T.M., Enquist, C.A.F., Guertin, P., Rosemartin, A.H., Schwartz, M.D., et al. 2014. Standardized phenology monitoring methods to track plant and animal activity for science and resource management applications. *International Journal of Biometeorology* 58(4): 591-601.
- Di Castri, F., Hajek, E. 1976. *Bioclimatología de Chile*. Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile. 163 pp.
- Fenner, M. 1998. The phenology of growth and reproduction in plants. *The phenology of growth and reproduction in plants. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 1/1: 78-91.
- Galindo, N., Bannister, J.R., Laage, K. 2021. Monitoreo a corto y largo plazo en ensayos de restauración de la conífera longeva y de lento crecimiento *Pilgerodendron uviferum*. *Bosque* 42(2): 217-229.
- Hernández, M.L., Montalván, B.L., Flores, A.M., Urrutia, J.T., López, K. 2014. Comportamiento Fenológico en tres rangos altitudinales de las especies *Enterolobium cyclocarpum*, *Maclura tinctoria*. Esteli, Nicaragua. *Revista Científica de FAREM-Esteli* 11: 81-90
- Holz, A., Veblen, T.T. 2009. *Pilgerodendron uviferum*: The Southernmost Tree-Ring Fire Recorder Species. *Ecoscience* 16: 322-329.
- Jagel, A., Dörken, V.M. 2015. Morphology and morphogenesis of the seed cones of the Cupressaceae - part III Callitroideae. *Bulletin of the Cupressus Conservation Project* 4(3): 91-108.
- Khanduri, V.P., Sharma, C.M. 2010. Male and female reproductive phenology and annual production of male cones in two natural populations of *Cedrus deodara*. *Nordic Journal of Botany* 28: 119-127.
- Kuaraksa, C., Elliott, S., Hossaert-Mckey, M. 2012. The phenology of dioecious *Ficus* spp. tree species and its importance for forest restoration projects. *Forest Ecology and Management* 265: 82-93.
- Lara, A., Bannister, J.R., Donoso, C., Rovere, A., Soto, D.P., Escobar, B., Premoli, A.C. 2013. *Pilgerodendron uviferum* (D. Don) Florin. En: Donoso, C. (ed.) *Especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina*. Autoecología, p. 82-92. Marisa Cúneo Ediciones, Valdivia, Chile.
- Red Meteorológica INIA. 2023. Red agrometeorológica de INIA. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chile. <https://agrometeorologia.cl/>. Accedido: Mayo 20, 2023.
- Rovere, A., Premoli, A., Aravena, J.C., Lara, A. 2004. Variación en *Pilgerodendron uviferum* (D. Don) Florin (Ciprés de las Guaitecas). En: Donoso, C., Premoli, A., Gallo, L., Ipinza, R. (eds.) *Variación intraespecífica en las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina*, p. 253-275. Editorial Universitaria, Santiago, Chile.
- Saveanu L., Murray, M.G. 2014. Fenología de la floración de *Ulmus pumila* L. (ulmaceae) en la ciudad de bahía blanca (Argentina). *Polibotánica* 38: 113-127.
- Tomlinson, P.B., Takaso, T., Cameron, E.K. 1993. Cone development in *Libocedrus* (cupressaceae)-phenological and morphological aspects. *American Journal of Botany* 80(6): 649-659.
- Villagrán, C. 1988. Late quaternary vegetation of southern Isla Grande de Chiloé, Chile. *Quaternary Research* 29: 294-306.

Received: 04.07.2023

Accepted: 16.04.2024