

Comparación de fases reproductivas de *Araucaria angustifolia* en dos regiones de Argentina con clima diferente

Comparison of *Araucaria angustifolia* reproductive phases in two regions of Argentina with different climate conditions

Fabiana Latorre ^{a*}, Cristian Rotundo ^b, María Laura Abud-Sierra ^a, Hugo Fassola ^b, Vicente Dell'Arciprete ^c

* Autor de correspondencia: ^a Universidad Nacional de Mar del Plata, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Mar del Plata, Argentina, fabianalatorre@yahoo.com.ar

^b Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Agropecuaria Montecarlo, Montecarlo, Argentina.

^c Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Forestal 25 de Mayo, 25 de Mayo, Argentina.

SUMMARY

The reproductive cycle of *Araucaria angustifolia*, a critically endangered species due to the reduction of its original habitat and the lack of natural regeneration, has been studied. The scarcity of seeds in its distribution area makes reforestation a challenging restoration tool. This work analyses the influence of climate on pollen and seed production. Aerobiological monitoring and seed collection were performed during the 2015-2017 reproductive period in two regions of Argentina: San Antonio (SA), Misiones, a subtropical site; and 25 de Mayo (25M), Buenos Aires, a temperate area. The seasonality of pollination was similar between the sites (spring). However, the pollen amount was four times higher in 25M, with high hourly values throughout the day, and a shorter duration of about half the number of days compared to SA. Seed production was also higher in 25M (six fold). Reproduction proved to be favoured by the temperate climate due to higher summer temperatures prior to pollination (period of strobili initiation), lower winter temperatures (during pollen grain formation), and lower rainfall during pollen transport. Management guidelines involving *ex-situ* conservation of this native forest species are proposed.

Keywords: Paraná pine, pollen and seed production, climate.

RESUMEN

Se estudió el ciclo reproductivo de *Araucaria angustifolia*, una especie en peligro crítico de extinción debido a la reducción de su área de distribución y falta de regeneración natural. La escasez de semillas en su ambiente de origen, dificulta la reforestación como medida de restauración. Para analizar las posibles causas, se evaluó el efecto del clima sobre la producción de polen y semillas. Se realizaron monitoreos aerobiológicos y recuentos de semillas durante el ciclo reproductivo 2015-2017, en sitios con diferentes condiciones climáticas de Argentina: San Antonio (SA) Misiones (subtrópicos) y 25 de Mayo (25M) Buenos Aires (templada). La estacionalidad de la polinación fue similar entre sitios (primavera). Sin embargo, en 25M se registró cuatro veces más cantidad de polen, con altos valores en todas las horas del día, y una duración reducida a la mitad de días. La producción de semillas también fue más alta en 25M (seis veces más). La reproducción resulta favorecida en el clima templado debido a temperaturas más altas durante el período de formación de conos (verano previo a la polinación), temperaturas más bajas en la época de formación de granos de polen (invierno), y precipitaciones menos abundantes durante el transporte eólico de los granos (primavera). Se proponen pautas de manejo que involucran la conservación *ex situ* de esta especie forestal nativa.

Palabras clave: pino Paraná, producción de polen y semillas, influencia climática.

INTRODUCCIÓN

La especie forestal *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (pino Paraná) es una gimnosperma nativa del sur de Brasil y norte de Argentina, que se encuentra en peligro crítico de extinción según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (Thomas 2013). El pino Paraná, actualmente, ocupa el 3 % de la superficie original,

y está restringido a fragmentos pequeños de bosques o a individuos aislados (Pinazo *et al.* 2016). Las causas principales de esta drástica reducción han sido la tala indiscriminada para la explotación de su madera de alta calidad y la expansión agrícola (Luna y Fontana 2017). Si bien no es una especie estrictamente heliófila ni pionera, puede establecerse en el sotobosque pero su regeneración natural es escasa (Duarte *et al.* 2002). La reforestación es una me-

dida de restauración ecológica que podría mitigar en parte, su situación crítica. Sin embargo, uno de los problemas más importantes para su implementación es la escasez de semillas y la reducción progresiva del volumen de la cosecha a lo largo de los años observada en Argentina, dentro del margen Sur Sudoeste de su área de distribución natural (Fassola *et al.* 1999). No se han encontrado reportes en la bibliografía que destaquen la reducción de la producción de semillas en Brasil, donde se encuentra la mayor área de su distribución natural.

Estudios de polinización controlada en *A. angustifolia* mostraron que la producción máxima de semillas está definida por la disponibilidad de polen (Anselmini y Zanette 2012). Del mismo modo se observó en *Taxus canadensis* Marshall (Allison 1990) y otras gimnospermas anemófilas y dioicas, que la disminución en la cantidad de polen lleva a una deficiencia en la polinización, lo cual afecta negativamente tanto a la fertilización de los óvulos como a la producción de semillas (Wilcock y Neiland 2002). Esta relación directa entre la producción de polen y la de semillas fue documentada en plantas leñosas por Cour y van Campo (1980) y establecida inicialmente para *A. angustifolia* en estudios a campo por Latorre *et al.* (2014). Este período entre la emisión de polen y la formación de semillas es muy extenso. Analizando histológicamente el desarrollo de los megaestróbilos, Goeten *et al.* (2020) determinaron que las semillas de *A. angustifolia* están maduras cuando alcanzan tonalidades marrones y 7 cm de largo, 20 meses después de ocurrida la polinación. Se utiliza el término polinación para indicar la emisión del polen por las anteras antes de que se deposite en el órgano sexual femenino (Faegri y van der Pijl 1979).

Las fases reproductivas en plantas están determinadas por las condiciones climáticas que modifican la intensidad y estacionalidad dentro del rango de los requerimientos ecofisiológicos determinados genéticamente por la especie (Newnham 1999, Fitter y Fitter 2002). Por otra parte, las características climáticas de un lugar varían de manera interanual. Un estudio realizado por Caccavari *et al.* (2000) sobre el desarrollo de estructuras reproductivas masculinas de *A. angustifolia* provenientes de Curitiba (Brasil) y de San Antonio (Misiones, Argentina), desde los primordios hasta su madurez, indicó una disminución de la producción de esporofilos con el aumento de la temperatura media durante su formación. La temperatura en el período previo al inicio de la polinación, es uno de los factores que más influye en la productividad polínica, determinando variaciones interanuales en su intensidad y estacionalidad de la curva aerobiológica (Emberlin *et al.* 1993). De acuerdo con Silveira Werger *et al.* (2009), la suba de temperaturas, pueden ser causales de una disminución de la zona de distribución natural de la especie. En *A. angustifolia*, especie del Hemisferio Sur, las estructuras reproductivas comienzan a formarse en verano hasta el mes de marzo, cuando cesa su desarrollo y permanecen en estado de dormancia hasta julio; en agosto se inicia la meiosis que dará origen

a los granos de polen (Khun y Mariath 2014). Estudios en Brasil plantearon que altas temperaturas y precipitaciones durante noviembre y diciembre favorecen la formación de estructuras reproductivas (Anselmini *et al.* 2006). En la provincia de Misiones, Latorre *et al.* (2020) informaron que los años de baja producción de polen estuvieron relacionados negativamente con la temperatura mínima del mes anterior al inicio de la polinización (agosto).

Una vez que el polen producido se emite, su permanencia y transporte depende especialmente de las condiciones prevalecientes de la atmósfera, las cuales causan variaciones en la concentración polínica a lo largo del día (Recio *et al.* 2002). Las precipitaciones, específicamente, pueden reducir en forma crítica el número de granos en suspensión (Sánchez y Latorre 2011) y son responsables de la falta de coincidencia entre las curvas de concentración polínicas y las de floración (Latorre y Bianchi 1998). Según Silva *et al.* (2014), en Misiones, octubre es el mes más lluvioso, coincidiendo con el mes de máxima polinación de *A. angustifolia*. En un estudio de siete años, Latorre *et al.* (2020) evidenciaron que la lluvia indujo una notable reducción en la concentración de polen de esta especie, modificando la forma de la curva aerobiológica.

La hipótesis planteada en este estudio es que las temperaturas y las precipitaciones influyen en la productividad de polen y en la intensidad de polinización, así como en la dispersión del polen, determinando la abundancia de semillas. Para evaluar la relación entre las etapas reproductivas de *A. angustifolia* y determinar el efecto ambiental sobre la producción de polen y semillas, durante el periodo 2015-2017 se realizó un estudio comparado de la especie creciendo en dos regiones de Argentina con climas diferentes: a) en el área natural de origen con clima subtropical húmedo, y b) fuera del rango de distribución natural, a 1.500 km al sur, donde el clima es templado y se cuenta con un rodal implantado adulto comparable a los rodales implantados existentes en su zona de distribución natural.

MÉTODOS

Los estudios se realizaron en plantaciones de *A. angustifolia* del INTA Montecarlo en San Antonio (SA), Provincia de Misiones, y en la Estación Forestal 25 de Mayo (25M) del INTA Pergamino, Provincia de Buenos Aires. Los individuos en ambos sitios tienen edades similares, no sobremaduros, correspondiendo a una clase de edad de 50 - 60 años. La densidad en SA es de 332 árboles ha⁻¹ y la de 25M es de 468 árboles ha⁻¹. El diámetro promedio a 1,3 m de altura desde la base (altura del pecho, dap) es de 45 cm en SA y 41 cm en 25M. Si bien en 25M la densidad es algo mayor, hay ejemplares suprimidos e intermedios que no llegan al dosel superior y son de dap menor; estos individuos son los que tienen restringido su desarrollo reproductivo. En ambos sitios, las copas más altas de los árboles no dejan espacio libre entre sí, siendo estos los árboles que principalmente se reproducen. La estructura del dosel es la

variable que mejor se relaciona con la producción de polen (Barrera *et al.* 2002). En este sentido, las dos plantaciones se consideraron comparables (figura 1).

De acuerdo con la clasificación de Köppen (IGN 2019), Misiones presenta clima subtropical húmedo sin estación seca (Cfb), la temperatura media en verano es 25 °C y en invierno 14 °C, y se registran entre 1.600 mm y 2.000 mm anuales. En Buenos Aires el clima se clasifica como cálido templado con lluvias en invierno (Csb), presenta dos períodos bien diferenciados: uno frío de abril a septiembre con 7 °C en promedio durante el invierno y otro cálido de octubre a marzo con una media de verano de 23 °C, la precipitación media anual es 910 mm.

En cada sitio se utilizó un muestreador aerobiológico volumétrico y continuo Hirst para la colecta, bajo estándares internacionales, del polen atmosférico. Estos se ubicaron en torres especialmente construidas, a 15 m de altura en un espacio abierto siguiendo las disposiciones de Hicks *et al.* (1996). El muestro simultáneo de valores absolutos comparables entre las dos regiones fue realizada durante el año 2015. Las muestras se procesaron siguiendo la metodología descrita por Latorre y Caccavari (2010).

A partir del análisis microscópico de las muestras aerobiológicas, se obtuvo la abundancia de polen para cada

hora par y luego de sumar las doce lecturas diarias, se calculó la concentración polínica como el número promedio de granos de polen por metro cúbico de aire en cada día: $p\ m^{-3}$ (Rogers y Muilenberg 2001). La integral de polen o polen total (PT) se obtuvo sumando las concentraciones medias diarias y se expresa como $p\ día\ m^{-3}$ (Galán *et al.* 2017). El período de polinación (PP) se extiende desde el día en que se registra el primer grano hasta el día en que se observa el último; se considera que un grano de polen no está dentro del PP si es precedido o es seguido por más de 10 días sin el registro de ningún grano (Abud Sierra y Latorre 2020). El período principal de polinación (PPP) comprende el lapso desde el día en que la suma de las concentraciones medias diarias alcanza el 5 % del PT hasta el día en que llega al 95 % (Nilsson y Persson 1981) y elimina los días en los cuales el nivel de polen es mínimo: los primeros y últimos días del PP. Se analizaron las variaciones entre sitios de los parámetros básicos de las curvas aerobiológicas o fenofases que definen: a) estacionalidad (día de inicio y final del PP y PPP, duración en días del PP y del PPP, día en que se registra el máximo de concentración) y b) intensidad: PT y concentración máxima.

También, se analizó la distribución de polen a lo largo del día y se calculó el índice de distribución intradiurna

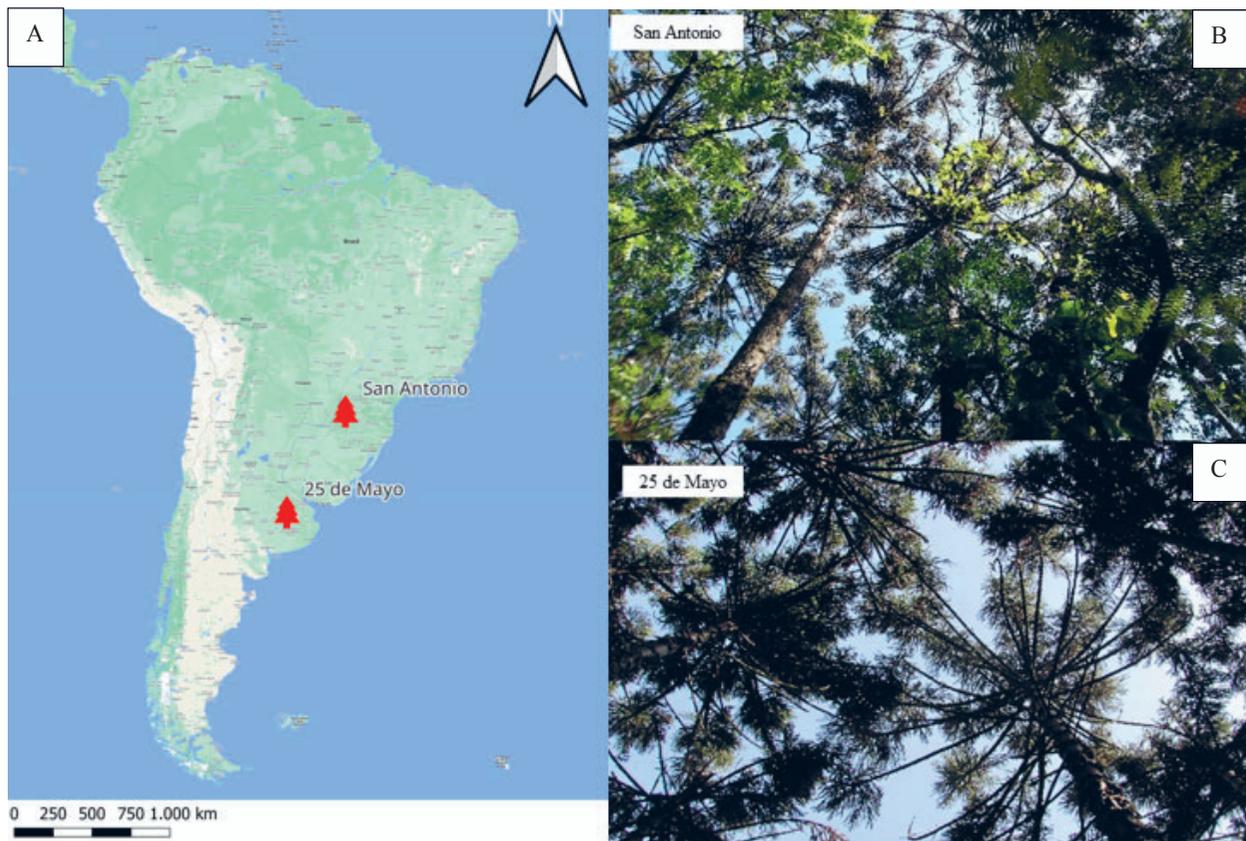


Figura 1. Mapa de ubicación (A) (INTA, 2023) y detalle de los dos sitios de estudio: San Antonio (B) y 25 de mayo (C).

Location map and detail of the study sites (INTA, 2023).

(IDI) (Trigo *et al.* 1997). Este se calcula: $IDI = (M - m) T^{-1}$, donde M es el máximo, m el mínimo y T el total. Valores de 0,20 o mayores, indican un pico de concentración máxima muy pronunciado, fuentes en las proximidades, escasa dispersión; valores de 0,10 o por debajo, indican curvas muy aplanadas, fuentes alejadas (transporte de media y larga distancia), polen en suspensión.

Durante el otoño de 2017, se realizó la cosecha de las semillas cuya formación se había iniciado entre 18 a 20 meses antes, según el ciclo reproductivo de la especie descrito por Mantovani *et al.* (2004). Se colectaron entre 30 y 34 conos de 10 árboles a lo largo de una transecta de 10 m en las parcelas estudiadas. Algunos se obtuvieron del suelo, en un área correspondiente a la proyección de la copa, y otros directamente desde el árbol, según las posibilidades de acceso. Se contó el número de semillas por cono, considerando solo las semillas llenas (con presencia de endosperma y embrión) por su viabilidad potencial. Se aplicó estadística descriptiva al análisis de la información: cálculo de media, mediana, máximo y mínimo, rango, per-

centiles, desvío y varianza utilizando STATISTICA software (StatSoft, Inc. 1984e1999).

Los datos meteorológicos utilizados corresponden a las estaciones INTA ubicadas *in situ* en ambas locaciones. Las variables analizadas fueron temperaturas (máximas, mínimas y medias diarias) y precipitaciones. Los datos climáticos de los últimos 30 años provienen del Servicio Meteorológico Nacional.

RESULTADOS

Polen. La estacionalidad de la curva aerobiológica de *A. angustifolia* durante el año 2015 fue similar entre sitios, registrándose polen en el aire durante la primavera (figura 2). Sin embargo, la abundancia polínica durante el PP fue cuatro veces mayor en 25M respecto a la de SA. También fue mayor y en la misma proporción, la concentración máxima en 25M que se registró dos días antes respecto al máximo en SA; ambos máximos ocurrieron a fines de octubre. El PPP se inició a mediados de octubre (5 días antes en SA) y

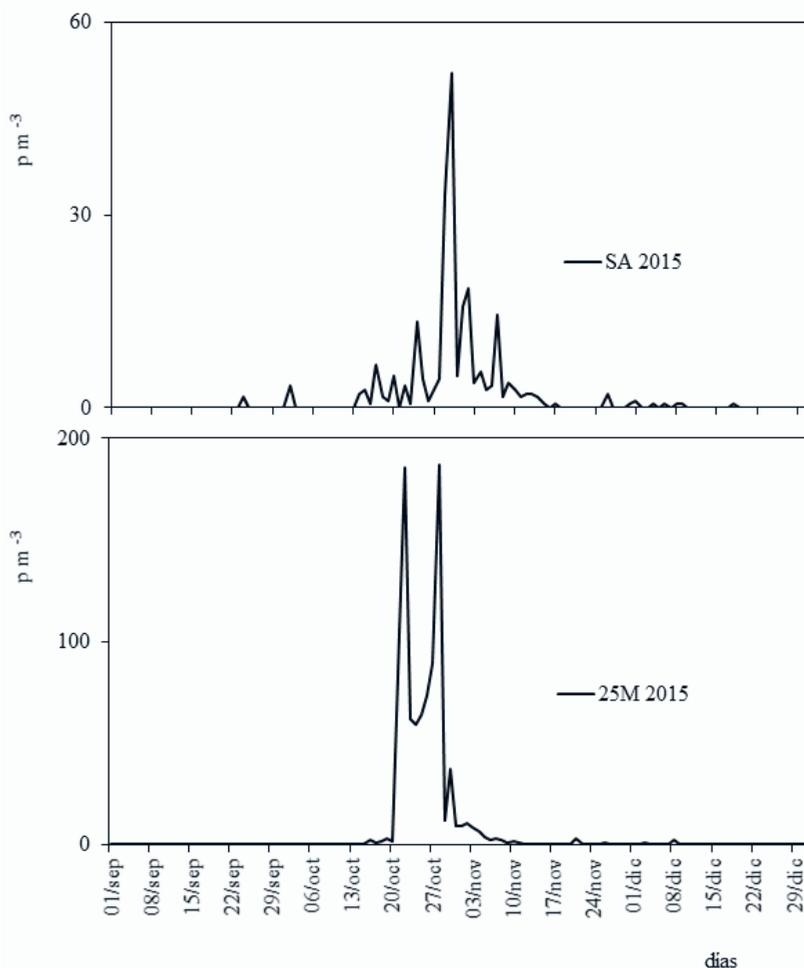


Figura 2. Curvas de concentración polínica ($p\ m^{-3}$) en San Antonio (SA) y 25 de Mayo (25M).

San Antonio (SA) and 25 de Mayo (25M) pollen curves.

finalizó en la primera quincena de noviembre (10 días más tarde en SA). El 90 % del polen se descargó en un mes en SA y solo en dos semanas en 25M (cuadro 1).

La distribución intradiaria de la concentración polínica mostró diferencias entre sitios. En SA se observó una curva diaria con un pico máximo a la hora 10, mientras que en 25M la curva fue menos pronunciada y presentó dos momentos con una proporción de polen relativamente más alta: uno temprano en la mañana (hora 6) y otro luego del mediodía (hora 16) (figura 3). Los índices resultantes fueron: $IDI_{SA} = 0,2$ e $IDI_{25M} = 0,1$. De acuerdo a estos resultados, en SA el polen permaneció menos tiempo en suspensión y su dispersión en la atmósfera fue más reducida, respecto a la situación en 25M.

Semillas. La cantidad media de semillas por cono en 25M fue seis veces mayor respecto a la de SA (cuadro 2). Si bien la varianza fue mayor en 25M, la reducción del número de semillas entre el cono de mínima producción y el de máxima fue solo del 63 % mientras que en SA fue del 100 %. En SA se registraron 17 conos sin semillas de un total de 50 (34 %) con el 100 % de semillas vacías (óvulos sin fecundar); en otros casos, el número máximo de semillas por cono, fue similar al mínimo registrado en 25M. El coeficiente de variación fue 100 % en SA y 20 % en 25M.

Clima. Las etapas reproductivas cruciales y potencialmente más sensibles al efecto ambiental dentro del largo ciclo reproductivo de la especie son: 1) la formación de conos,

Cuadro 1. Comparación de las curvas aerobiológicas de San Antonio (SA) y 25 de Mayo (25M).

Comparison of the aerobiological curves between San Antonio (SA) and 25 de Mayo (25M).

Fenofase	SA	25M
Polen total (polen día m ⁻³)	234	935
Inicio PP (1 ^{er} día con polen)	24-sept	15-oct
Fin PP (último día con polen y 10 días seguidos sin polen)	18-dic	29-dic
Número días PP	86	76
Día del máximo	30-oct	28-oct
Concentración en el día máximo (polen m ⁻³)	52	187
Inicio PPP (5 % acumulado)	16-oct	21-oct
Fin PPP (95 % acumulado)	12-nov	02-nov
Número días PPP	27	12

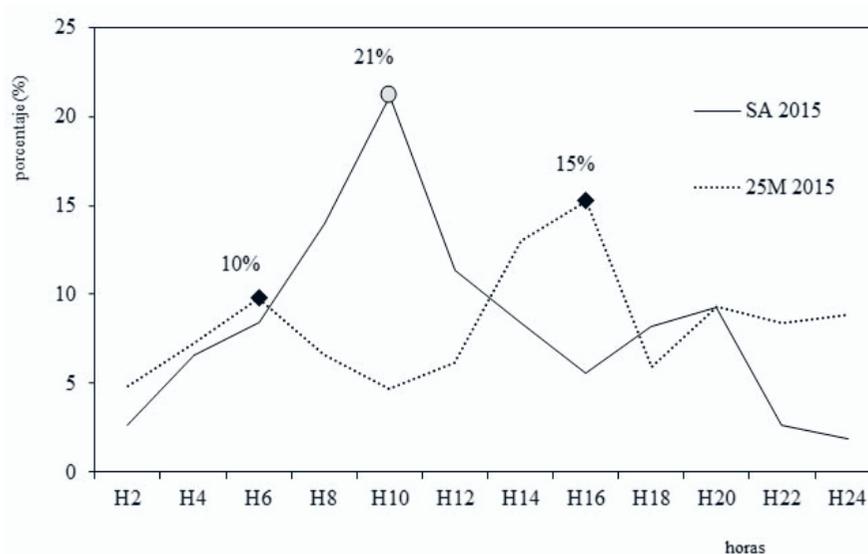


Figura 3. Distribución intradiaria de la concentración polínica (en porcentaje) durante el período principal de polinación.

Intradaily distribution of pollen concentration (in percentage) during the main pollen period.

2) la formación de granos de polen, 3) la polinación. A partir de las estadísticas meteorológicas del periodo 1980 - 2010, se determinó que las diferencias más importantes entre las dos áreas fueron: 1) la temperatura máxima de verano (2 °C mayor en 25M) cuando se forman las estructuras reproductivas, y 2) la temperatura mínima de invierno (7 °C mayor en SA) en la cual se produce el polen, y 3) las precipitaciones en primavera (125 mm mayores en SA) durante el transporte eólico de los granos (figura 4).

Durante el periodo de estudio, la temperatura media en el verano previo a la polinización fue levemente más elevada en 25M respecto a la de SA, lo cual habría sido propicio para la formación de estructuras reproductivas. En cambio, la temperatura media en el invierno fue notablemente más baja en 25M en relación a la de SA (figura 5A), hecho que hubiera favorecido la producción de granos de polen. Por otra parte, las precipitaciones durante el PPP 2015 fueron 92 mm mayores en SA (figura 5B) indicando una situación negativa para el mantenimiento del polen en suspensión con una limitación en el transporte eólico, a diferencia de la situación en 25M.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El análisis de la fenología reproductiva de *A. Angustifolia*, comparando sitios geográficamente distantes y climáticamente diferentes, permitió determinar la similitud en la estacionalidad de la polinación. La emisión de polen ocurre en primavera y el mes principal es octubre. Sin embargo, en el área templada de 25M el 90 % del polen se mantuvo en suspensión durante escasos 15 días manteniendo altos valores durante las horas diurnas y un total de 935 p día m⁻³, mientras que en el área subtropical de SA se registraron solo 234 p día m⁻³ en un mes. Un largo periodo de emisión polínica con bajos valores diarios centrados en unas pocas horas del día y con numerosos días sin polen en el aire como ocurre en SA, sería desfavorable para la fertilización ya que la receptividad de los conos femeninos dura unos pocos días y comúnmente no excede una semana (Pallardy 2008). Este patrón fue observado anteriormente en SA, durante el año 2012 (Latorre *et al.* 2020).

La sincronización entre descarga de polen y óvulos receptivos en 25M sumado a la mayor disponibilidad de

Cuadro 2. Estadísticos descriptivos de la productividad de semillas. Variable: número de semillas por cono. p: percentil, SD: desviación estándar.

Descriptive statistics of seed production. Variable: number of seeds per cone. p: percentile, sd: standard deviation.

Sitio	Media	n	Mediana	Mínimo	Máximo	p 25 %	p 75 %	SD	Varianza	Rango
SA	20	34	10	0	70	3	35	21	429	70
25M	126	30	128	66	178	116	142	25	608	112

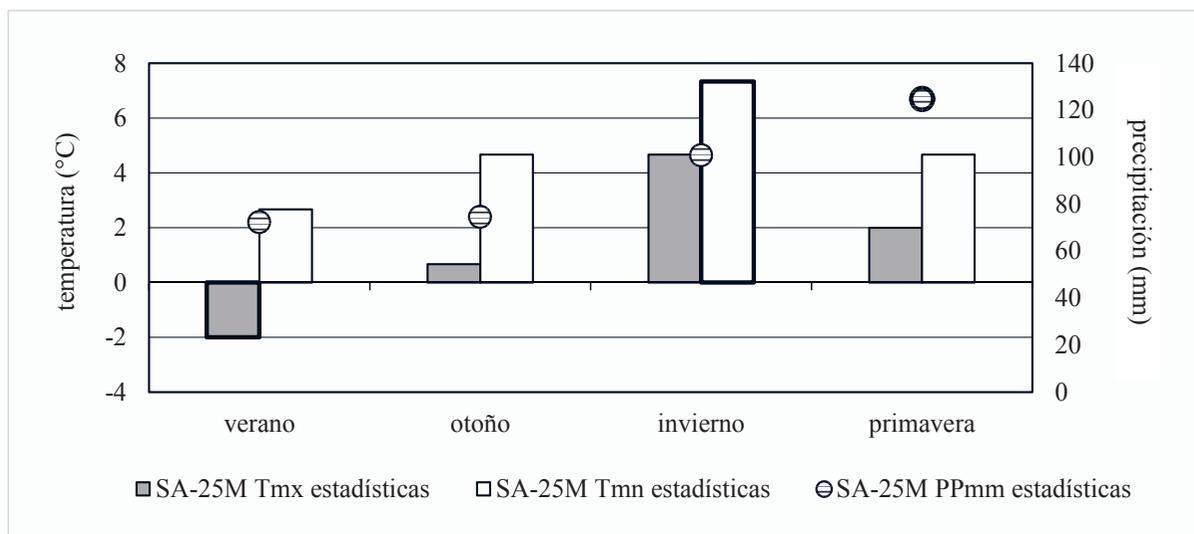


Figura 4. Diferencias de los promedios mensuales de las temperaturas máximas (Tmx), mínimas (Tmn) y precipitaciones (PPmm) del periodo 1981-2010. Los números positivos indican que los valores son más altos en San Antonio (SA) respecto a los de 25 de Mayo (25M).

Differences in monthly averages of the maximum temperatures (Tmx), minimum temperatures (Tmn), and rainfall (PPmm) from 1981-2010 period. Positive numbers indicate higher values in San Antonio (SA) compared to 25 de Mayo (25M).

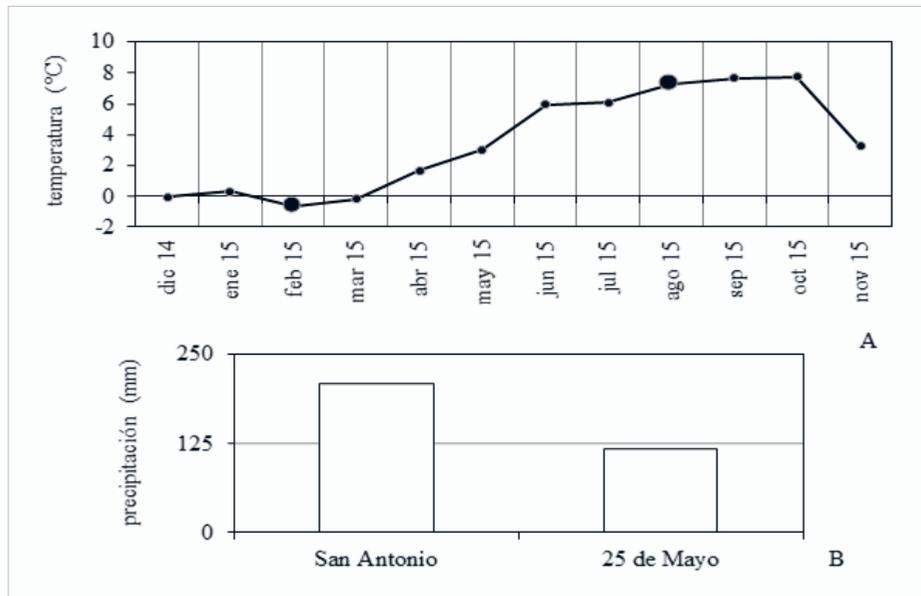


Figura 5. A) Diferencia de temperaturas medias; valores positivos indican a San Antonio como más cálido que 25 de Mayo. B) Precipitaciones durante el periodo principal de polinación.

A) Difference in mean temperatures; positive values (black dots) indicate that San Antonio is warmer than 25 de Mayo. B) Precipitation during main pollination period.

polen para la fertilización, dado por el número más alto de granos en suspensión (Allison 1990), explicarían la alta productividad de semillas registrada, seis veces mayor en promedio, bajo el clima templado de la provincia de Buenos Aires respecto a lo registrado en Misiones (SA). Estos resultados se condicen con los obtenidos por Owens y Morris (1998) en *Abies amabilis* determinando que los conos femeninos están receptivos mayoritariamente, durante solo una semana, coincidiendo con el pico de polinación.

La capacidad productiva máxima de los conos femeninos está dada por la disponibilidad de polen para la fecundación (Anselmini y Zanette 2012), y esta se relaciona con condiciones climático-estacionales y/o atmosféricas que afectan cada etapa reproductiva (Latorre y Caccavari 2009). En este trabajo se determinó que la polinación de *A. angustifolia* en 25M fue cuatro veces más intensa que la de SA y resultó favorecida por: 1) las altas temperaturas en el verano previo a la polinación cuando se forman los estróbilos, 2) las bajas temperaturas de invierno durante la formación de granos de polen y previo a la antesis (65 % más frío), y 3) bajas precipitaciones (20 % menos en 25M respecto a SA) durante la primavera cuando ocurre el transporte eólico del polen necesario para la polinización (Latorre *et al.* 2013). Estos resultados son congruentes con los estudios realizados por Anselmini *et al.* 2006 y Caccavari *et al.* 2000.

En conclusión, las características de un clima templado como las imperantes en 25 de Mayo, con temperaturas invernales más bajas, menores lluvias de primavera y temperaturas algo más elevadas en verano respecto a las del cli-

ma subtropical de San Antonio, favorecieron las distintas etapas reproductivas de la especie, garantizando un mayor número de semillas. En San Antonio, zona de distribución natural en Argentina, la falta de semilla local limita la conservación *in situ* como también la restauración de áreas degradadas o la realización de plantaciones comerciales. Los resultados obtenidos contribuyen a fundamentar la necesidad de contar con fuentes de provisión de semillas *ex situ*. Wilcock y Neiland (2002) arribaron previamente a una conclusión similar para situaciones donde la escasez de semillas, debido a fallas en la polinización, compromete la supervivencia de las especies amenazadas. Puede considerarse que el trabajo aporta a fortalecer estrategias más eficientes para la conservación, ya sea *in situ* o *ex situ* (Silveira Wrege *et al.* 2009). Así, y siguiendo a Simón *et al.* (2018), se propone como actuación complementaria para la conservación de *A. angustifolia*, la promoción de plantaciones o la conformación de huertos semilleros *ex situ*. El monitoreo aerobiológico simultáneo y la colecta anual de semillas continúa con el objeto de establecer una relación predictiva que permita establecer con anticipación, años de alta productividad para implementar tareas de manejo como limpieza del sotobosque para el desarrollo adecuado de las plántulas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración brindada por el personal técnico de INTA en San Antonio y en 25 de Mayo durante las etapas de muestreo.

FINANCIAMIENTO

Subsidio EXA 1045/21 Universidad Nacional de Mar del Plata y colaboración de INTEA SA e INTA.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

FL desarrolló la idea, procesó y analizó los datos, redactó el texto; CR realizó parte del muestreo y colaboró en la redacción y corrección del manuscrito; MLAS colaboró en los análisis de muestras y discusión de resultados; HF desarrolló la idea y participó en el análisis de datos y redacción del manuscrito; VD colaboró en el desarrollo de la idea y realizó parte del muestreo. Todos los autores aprobaron la versión final de este manuscrito.

REFERENCIAS

- Abud Sierra ML, F Latorre. 2020. Diversidad, abundancia y estacionalidad del polen alergénico en la atmósfera de Mar del Plata (Argentina). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 55(1): 3-21. DOI: <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v55.n1.23094>
- Allison TD. 1990. Pollen production and plant density affect pollination and seed production in *Taxus canadensis*. *Ecology* 71(2): 516-522.
- Anselmini JI, F Zanette. 2012. Polinização controlada em *Araucaria angustifolia*. *Cerne Lavras* 18(2): 247-255.
- Anselmini JI, F Zanette, C Bona. 2006. Fenología reproductiva de *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. KTZE, na região de Curitiba-PR. *Foresta e Ambiente* 13: 44-52.
- Barrera M, H Fassola, J Frangi, M Caccavari, E Dome, G Del Fueyo, R Fernández, N García, L Ezpeleta, C Becerra, M Gauchat, P Ferrere. 2002. Biología reproductiva de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O Ktze. y su aplicación al manejo de plantaciones en la provincia de Misiones. Informe Técnico N° 36. Misiones, Argentina. EEA-INTA Montecarlo. 67 p.
- Caccavari M, E Dome, G Del Fueyo, ME Gauchat. 2000. Biología reproductiva de *Araucaria angustifolia*. Estudios palinológicos: viabilidad del polen, fertilización, fenología de la polinización. Relatorio PROYECTO IPGRI: Conservación, manejo y uso sostenible de forestas con *Araucaria angustifolia*. 20 p.
- Cour P, M van Campo. 1980. Prévisions de récoltes á partir du contenu pollinique de l'atmosphère. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris* 290: 1043-1046.
- Duarte LS, LR Dillenburg, LMG Rosa. 2002. Assessing the role of light availability in the regeneration of *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae). *Australian Journal of Botany* 50(6): 741-751. DOI: <https://doi.org/10.1071/BT02027>
- Emberlin J, M Savage, R Woodman. 1993. Annual variations in the concentration of *Betula* pollen in the London area, 1961-1990. *Grana* 32: 359-364. DOI: <https://doi.org/10.1080/00173139309428965>
- Faegri K, L van der Pijl. 1979. The principles of pollination ecology. Pergamon Press. 244 P.
- Fassola H, P Ferrere, D Muñoz, N Pahr, H Kuzdra, S Márquez. 1999. Observaciones sobre la producción de frutos y semillas en plantaciones de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. (periodo 1993-1998). Informe Técnico N° 24. Misiones, Argentina. EEA-INTA Montecarlo. 12 p.
- Fitter AH, RSR Fitter. 2002. Rapid changes in flowering time in British plants. *Science* 296(5573): 1689-1691. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1071617>
- Galán C, A Ariatti, M Bonini, B Clot, B Crouzy, A Dahl, D Fernandez-Gonzalez, G Frenguelli, R Gehrig, S Isard, SE Levettin, DW Li, P Mandrioli, CA Rogers, M Thibaudon, I Sauliene, C Skjoth, M Smith, M Sofiev. 2017. Recommended terminology for aerobiological studies. *Aerobiologia* 33(3): 293-295. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10453-017-9496-0>
- Goeten D, GD Rogge-Renner, EC Schmidt, ZL Bouzon, FL Farias-Soares, MP Guerra, N Steiner. 2020. Updating embryonic ontogenesis in *Araucaria angustifolia*: from Burlingame (1915) to the present. *Protoplasma* 257: 931-948. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00709-020-01481-5>
- Hicks S, B Ammann, M Latalowa, H Pardoe, H Tinsley. 1996. European pollen monitoring programme: Project description and guidelines. Oulu, Finlandia. Oulu University Press. 28p.
- IGN (Instituto Geográfico Nacional, ARG). ANIDA. Atlas Nacional Interactivo de Argentina. 2019. Consultado 13 ago. 2023. Disponible en <https://anida.ign.gob.ar>
- INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). 2023. Consultado 20 oct. 2023. Disponible en <https://inta.gob.ar/mapa-unidades>.
- Khun SA, JEA Mariath. 2014. Reproductive biology of the "Brazilian pine" (*Araucaria angustifolia*): Development of microspores and microgametophytes. *Flora* 209: 290-298. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.flora.2014.02.009>
- Latorre F. 1999. Differences between airborne pollen and flowering phenology of urban trees with reference to production, dispersal and interannual climate variability. *Aerobiologia* 15: 131-141. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1007523316024>
- Latorre F, MM Bianchi. 1998. Relationships between flowering development of *Ulmus pumila* and *Fraxinus excelsior* and their airborne pollen. *Grana* 37: 233-238. DOI: <https://doi.org/10.1080/00173139809362672>
- Latorre F, MA Caccavari. 2009. Airborne pollen patterns in Mar del Plata atmosphere (Argentina) and its relationship with meteorological conditions. *Aerobiologia* 25(4): 297-312. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10453-009-9134-6>
- Latorre F, MA Caccavari. 2010. Pollen diversity in the air of Diamante (Entre Ríos, Argentina). *Scientia Interfluvius* 1(1-2): 7-17.
- Latorre F, P Alarcón, H Fassola. 2013. Distribución temporal y espacial del polen de *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae) en Misiones, Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*. 48(3-4): 453-464.
- Latorre F, ML Abud Sierra, P Alarcón, H Fassola. 2014. Estudio aerobiológico de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze en San Antonio, Misiones. XVI Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Eldorado Misiones, Argentina. Consultado 22 may. 2020. Disponible en <https://www.facfor.unam.edu.ar/modulos/uploads/2017/03/Actas-Conferencias-JOTEFA-2014.pdf>
- Latorre F, C Rotundo, ML Abud Sierra, H Fassola. 2020. Daily, seasonal, and interannual variability of airborne pollen of *Araucaria angustifolia* growing in the subtropical area of Argentina. *Aerobiologia* 36: 277-290. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10453-020-09626-y>
- Luna CV, ML Fontana. 2017. Estado de los bosques de *Araucaria angustifolia*: especie nativa en peligro crítico. *Re-*

- vista *Estudios Ambientales* 5(2): 79-93. DOI: <https://doi.org/10.47069/estudios-ambientales.v5i2.716>
- Mantovani A, PL Morellato, M Dos Reis. 2004. Fenología reproductiva e produção de sementes em *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. *Revista Brasileira de Botânica* 27(4): 787-796. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-84042004000400017>
- Newnham RM. 1999. Monitoring biogeographical response to climate change: The potential role of aeropalynology. *Aerobiologia* 15: 87-94. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1007595615115>
- Nilsson S, S Persson. 1981. Tree pollen spectra in the Stockholm region (Sweden) 1973–1980. *Grana* 20(3): 179-182. DOI: <https://doi.org/10.1080/00173138109427661>
- Owens JN, SJ Morris. 1998. Factors affecting seed and cone development in Pacific silver fir (*Abies amabilis*). *Canadian Journal of Forest Research* 28(8): 1146-1163. DOI: <https://doi.org/10.1139/x98-089>
- Pallardy SG. 2008. Physiology of woody plants. 3 ed. Burlington, MA. Academic Press. 454 p.
- Pinazo M, MV Inza, F Latorre, C Rotundo. 2016. Antes había muchas. *Vida Silvestre* 136: 22-24. Consultado 20 oct. 2023. Disponible en <https://www.vidasilvestre.org.ar/?15660/Revista-Vida-Silvestre-136---Julio---Septiembre-2016>.
- Recio M, MM Trigo, S Docampo, B Cabezudo. 2002. Aerobiología en Andalucía: Estación de Málaga (2000-2001). *Red Española de Aerobiología* 7: 83-88.
- Rogers C, M Muilenberg. 2001. Comprehensive guidelines for the operation of hirst-type suction bioaerosol samplers. Pan-American aerobiology association. Standardized protocols. Consultado 23 ago. 2019. Disponible en <http://www.geocities.ws/paaaorg/StandardizedProtocols.pdf>
- Sánchez AA, F Latorre. 2011. Flowering of urban trees and airborne pollen concentrations in Diamante (Entre Ríos, Argentina). *Scientia Interfluvius* 2(1): 7-19.
- Silva F, BI Eibl, EA Bobadilla. 2014. Características de la precipitación durante 1981-2012 en Eldorado Misiones. *Íyura-retá* 21: 35-42.
- Simón BE, F Latorre, C Rotundo. 2018. Study of the reproductive phenology of *Araucaria angustifolia* in two environments of Argentina: Its application to the management of a species at risk. *Global Ecology and Conservation* 16: e00483. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2018.e00483>
- Trigo MM, M Recio, FJ Toro, B Cabezudo. 1997. Intradial fluctuaciones in airborne pollen in Málaga (S. Spain): A quantitative method. *Grana* 36: 39-43. DOI: <https://doi.org/10.1080/00173139709362588>
- Thomas P. 2013. *Araucaria angustifolia*. The IUCN Red List of Threatened Species 2013: e.T32975A2829141. Consultado 6 feb. 2020. Disponible en <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T32975A2829141.en>
- Silveira Wrege M, RCV Higa, R Miranda Britez, M Cordeiro Garrastazu, VA de Sousa, PH Caramori, B Radin, HJ Braga. 2009. Climate change and conservation of *Araucaria angustifolia* in Brazil. *Unasyuva* 60(231-232): 30-33.
- Wilcock C, R Neiland. 2002. Pollination failure in plants: why it happens and when it matters. *Trends in Plant Science* 7(6): 270-277. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(02\)02258-6](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(02)02258-6)

Recibido: 13/08/22
Aceptado: 27/08/23

