

DISTRIBUCIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DEL POLEN DE *ARAUCARIA ANGUSTIFOLIA* (ARAUCARIACEAE) EN MISIONES, ARGENTINA

FABIANA LATORRE¹, PAMELA ALARCÓN² y HUGO FASSOLA²

Summary: Temporal and spatial distribution of *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae) pollen in Misiones, Argentina. *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze is a native species of high commercial value that has indiscriminately been exploited and is currently in critical danger. This work represents the beginning of a research program in Aerobiology related to its reproductive phenology, being conducted in Misiones (Argentina). Two types of continuous volumetric samplers were used: one fixed and the other one portable, distributed in 6 sampling points located in the direction of the prevailing winds. The main pollination period in 2010 (90% of total pollen) lasted 30 days, accumulating 23,548 grains. The daily concentration showed a maximum of 10 to 14 hours following the circadian pattern of atmospheric conditions, with minimum values at 22 hours and 6 hours. An occasional small increase of pollen was observed in the evening, which could be ascribed to the local pollen entrainment. The days with higher concentrations coincided with warmer weather conditions, stronger winds and lower relative humidity with respect to the averages for the period. Lower concentrations were noticed in the endpoints bounds of population distribution, indicating limitations in transport. This study represents an advance in the proper management and conservation of the genetic resources of this species.

Key words: Aerobiology, pollen production and dispersion, weather conditions, phenology, conservation, Paraná pine.

Resumen: *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze es una especie nativa de alto valor comercial que ha sido explotada indiscriminadamente; actualmente está en peligro crítico. Este trabajo inicia un programa de investigación aerobiológica sobre su fenología reproductiva en Misiones (Argentina). Se utilizaron muestreadores volumétricos continuos: uno fijo y otro portátil, variando la ubicación de este último entre 6 puntos de muestreo en dirección de los vientos predominantes. El período principal de polinación del año 2010 (90% del polen total) se extendió 30 días, acumulándose 23548 granos. La concentración diaria presentó un máximo entre las horas 10 y 14 siguiendo el patrón circadiano de las condiciones atmosféricas, con mínimos a las 22 y las 6 horas. También, se observó un leve aumento nocturno ocasional que podría estar relacionado con el reingreso de polen local. Los días de mayor concentración coincidieron con días más cálidos, vientos más fuertes y una humedad relativa menor que la media del período. Los muestreos con el captador portátil evidenciaron concentraciones menores en los puntos extremos de distribución de la población, indicando limitaciones en el transporte. Este estudio representa un avance hacia un adecuado manejo y conservación de los recursos genéticos de la especie.

Palabras clave: Aerobiología, producción y dispersión de polen, condiciones meteorológicas, fenología, conservación, pino Paraná.

INTRODUCCIÓN

Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze es una

especie nativa de gran valor comercial por la calidad de su madera. La explotación indiscriminada, el avance de la agricultura y las forestaciones sobre remanentes nativos han influido para que la superficie ocupada por bosques de esta especie se vea progresivamente reducida, manteniéndose un paisaje con escasos remanentes y ejemplares aislados. Esto ha llevado a catalogarla en 2007 como especie en peligro crítico por la Unión

¹ IIMyC, CONICET- FCEyN, Universidad Nacional de Mar del Plata. Funes 3250. 7600 Mar del Plata. Argentina. UADER. fabianalatorre@yahoo.com.ar

² INTA. Av. El Libertador 2472, Montecarlo, Misiones, Argentina.

Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales (UICN, 2007).

A esta problemática general, se suma el efecto que genera el clima y su variabilidad sobre la biología reproductiva de la especie. Caccavari *et al.* (2000) constataron que en poblaciones de *A. angustifolia* de Misiones (Argentina) existe una disminución significativa del número de esporofilos en los años con mayor temperatura media, lo cual afecta directamente el número de granos de polen producidos. Asimismo, como existe una relación directa entre la producción de polen y la producción de frutos/semillas en plantas leñosas (Cour & van Campo, 1980), esta reducción en la productividad polínica a su vez afecta la producción de semillas, habiéndose ya detectado esta disminución en las poblaciones de Misiones anteriormente mencionadas (Fassola *et al.*, 1999).

Las limitaciones en la polinización que luego influyen en la producción de semillas, se relacionan con dos eventos. Por un lado, se encuentra el bajo número de granos de polen que llega a un cono femenino debido a la disminución observada en la productividad polínica asociada a condiciones climáticas estacionales previas, y por otro lado, existe una limitación en el transporte de polen desde los conos masculinos hasta los femeninos (Bittencourt & Sebbenn, 2007). Esta limitación en el transporte se debería a la baja dispersión del grano de polen a consecuencia de su gran tamaño y su peso considerable (Del Fueyo *et al.*, 2008) y la reducida viabilidad observada en estudios previos sobre la biología del polen de la especie (Caccavari, 2003).

Cuando la polinización efectiva está limitada por características propias del grano de polen, la variabilidad genética de las semillas producidas depende al menos en parte, de la distancia entre plantas en relación a la distribución espacial de las poblaciones y, de las condiciones atmosféricas durante el transporte por las masas de aire.

En este trabajo se planteó por un lado, conocer la dinámica fenológica de la producción polínica de *A. angustifolia* durante su ciclo reproductivo en función de las características principales de la curva aerobiológica, incluyendo la intensidad (cantidad de polen producido-emitido), su estacionalidad, inicio y final, extensión y máximo. La continuidad de este estudio en los años siguientes permitirá asociar estas etapas reproductivas con los factores climáticos determinantes y, a largo plazo, establecer las bases para conocer el efecto sobre la producción de semillas.

Por otra parte, se propuso analizar el transporte eólico buscando conocer las variaciones espaciales en la concentración atmosférica de polen en función de la distribución de las plantas y de las condiciones meteorológicas. Esto permitirá evaluar la factibilidad de intercambio genético entre poblaciones permitiendo así ponderar la importancia de los remanentes de Bosque Nativo en el mantenimiento de la diversidad genética de la especie. A partir del conocimiento del comportamiento fenológico y aerobiológico de *Araucaria angustifolia* se podrán esgrimir estrategias y pautas de manejo para el mantenimiento de la variabilidad genética en las poblaciones de la especie.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en plantaciones de *A. angustifolia* pertenecientes a la Reserva Forestal del Campo Anexo Manuel Belgrano del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria situado en la localidad de San Antonio (Lat. S 26° 3', Long. O 53° 46', Misiones, Argentina) (Fig. 1).

El grano de polen de esta especie es inaperturado, sin sacos, subesferoidal de 60 (87) 95 x 52 (70) 84 μm de diámetro; contiene numerosos núcleos y gránulos de almidón que le otorga un mayor peso en relación al volumen, su exina es granulada, con baja resistencia a la acción mecánica por lo que adquiere una forma de casco cuando está parcialmente deshidratado (Del Fueyo *et al.*, 2008).

El primer monitoreo aerobiológico continuo y volumétrico de la atmósfera se inició en el año 2010 y se extendió entre los meses de agosto y diciembre, lapso que garantiza abarcar el período de polinación completo, incluyendo posibles resuspensiones posteriores y emisión polínica anticipada de plantas tempranas. Se utilizó un muestreador fijo tipo Hirst (marca comercial Burkard) (Hirst, 1952), ubicado en un espacio abierto (Hicks *et al.*, 1996) a 10m de altura sobre una torre construida a tal efecto en una parcela de la Reserva Forestal (Fig. 1, Punto 3).

El funcionamiento del aparato así como el montaje de las muestras se detallan en el trabajo de Latorre & Caccavari (2010) consistiendo básicamente en aspirar el aire por succión el cual impacta directamente sobre la superficie que se analizará al microscopio.

El recuento microscópico se realizó a partir de

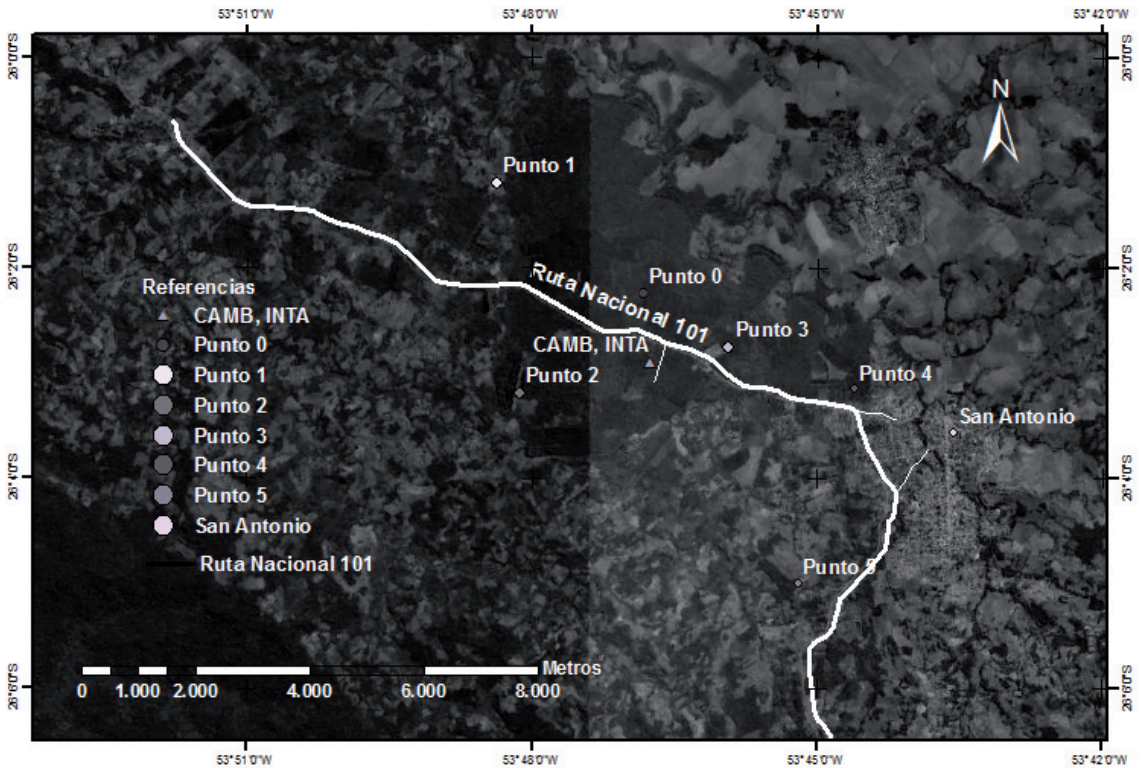


Fig. 1. Sitios de muestreo aerobiológico dentro de la Reserva Forestal Campo Anexo Manuel Belgano (INTA). Fuente: ©2010 Google Earth.

12 lecturas horarias por día (Latorre & Caccavari, 2009) ya que brinda un estimador insesgado de la media diaria y además posibilita obtener el patrón de variación intradiario (Käpylä & Penttinen, 1981).

Durante el mismo período, también se utilizó un muestreador aerobiológico con las mismas características del fijo tipo Hirst con la diferencia de ser portátil (marca comercial Lanzoni) teniendo las ventajas de transporte y autonomía. Se escogieron 6 sitios de monitoreo en distintas parcelas dentro de la Reserva Forestal siguiendo una transecta coincidente con la dirección de los vientos predominantes (NE-SO) e incluyendo los dos puntos extremos de la distribución de las poblaciones (Tabla 1, Fig. 1). El muestreo fue diseñado para recorrer los 6 sitios el mismo día, manteniendo así condiciones atmosféricas similares para la toma de muestras. Según recomendaciones de Tormo Molina *et al.* (2010), el momento más conveniente del día es entre las 11 y 16 horas, cuando hay una mayor concentración estable de polen en el aire. La periodicidad de este monitoreo fue semanal y el

tiempo de muestreo por sitio fue de 30 minutos, ubicándose el muestreador a 1.5m de altura desde el suelo con la boquilla aspirante orientada hacia los vientos predominantes.

Se utilizaron datos de temperatura, precipitación, humedad, y vientos de la estación meteorológica del INTA San Antonio, tomados *in situ* y simultáneos al registro aerobiológico.

A partir de los datos de concentración polínica calculados según Rogers & Muilenberg (2001) y expresados como granos de polen por metro cúbico de aire (p/m³), se calcularon los valores porcentuales; el índice polínico anual (API: "annual pollen index"), que indica la suma de las concentraciones medias diarias a lo largo de todo el período de polinación (PP) (Latorre & Belmonte, 2004) y, se estableció el período principal de polinación (PPP) que comprende entre el 5% y 95% del polen acumulado (Nilsson & Persson, 1981).

Los parámetros básicos del patrón aerobiológico de la especie se establecieron a partir de la curva de concentración polínica: amplitud, magnitud,

Tabla 1. Descripción de los sitios de muestreo con el captador portátil.

Punto	Denominación	Detalles	Localización	Altura (msnm)
0	Compartimiento 14-C	Captador móvil bajo dosel	26° 1,959' S 53° 47,677' O	518
1	Escuela 463	Punto extremo Norte	26° 1,195' S 53° 48,380' O	513
2	Compartimiento 8 (Pista)		26° 1,751' S 53° 47,516' O	534
3	Compartimiento 40 (Escuela Agrotécnica)	Captador fijo en torre	26° 2,762' S 53° 45,936' O	555
4	Compartimiento 49		26° 5,001' S 53° 45,195' O	532
5	Villa Unión	Punto extremo Este	26° 6,652' S 53° 44,015' O	525

estacionalidad, inicio, máximo y finalización, que luego se utilizarán para analizar la variación interanual y establecer sus posibles causas.

Además, se analizó la relación entre las concentraciones instantáneas (horarias) de polen obtenidas con el muestreador fijo con los parámetros del tiempo prevaleciente durante la dispersión, y entre las concentraciones del muestreador portátil de los distintos sitios de muestreo en relación a la distancia y ubicación de las fuentes emisoras y a la dirección de los vientos predominantes.

Se aplicó un análisis de agrupamiento usando el método Ward y la distancia Euclídea al cuadrado a los datos horarios de polen y se calculó el índice de correlación por rangos de Spearman entre la variable polínica y las variables meteorológicas (STATISTICA, StatSoft, Inc. 1996).

Utilizando binoculares, se realizaron observaciones de las estructuras reproductivas masculinas y femeninas (conos) en 3 individuos por sitio seleccionado: sitios 0, 2 y 3 del muestreo aerobiológico, y otro sitio entre el 2 y 3 donde se ubica la Estación Experimental del INTA (Fig. 1). Para obtener información sobre el desarrollo fenológico, se empleó la escala de Anselmi (2005) para luego estimar datos promedios.

RESULTADOS

Características del grano de polen

En las muestras analizadas que fueron colectadas directamente del aire y en las cuales las partículas están en suspensión, no se observaron granos de polen de *A. angustifolia* con forma de casco. Esta característica aerodinámica es la única que podría favorecer el transporte eólico. Resta determinar

bajo qué condiciones ambientales meteorológicas y/o ecológicas resulta favorecido el transporte de polen y qué distancia es factible que alcance.

Características aerobiológicas del patrón polínico anual

El total de polen de *A. angustifolia* registrado durante el año 2010 (API) fue de 25984 granos acumulados. El PP se extendió por 108 días: desde setiembre a diciembre (9/9-25/12) (Fig. 2). Sin embargo, la mayor cantidad de polen que corresponde al PPP se registró en 30 días entre el 5/10 y el 4/11. La curva aerobiológica durante el PPP muestra un patrón de 9 días entre el inicio y el máximo, sumando la cantidad mayor de polen en ese breve período (54% del API); en cambio, durante los 21 días posteriores al máximo y hasta el final del PP se acumuló el 36% de polen restante.

El inicio de la liberación de polen observada directamente sobre los conos masculinos, se registró 5 días antes del inicio del PPP (22 días después de registrarse el primer grano en el aire) y cuando se acumulaba 2% del polen en el colector fijo. El final de la fase de emisión en los conos masculinos se observó 7 días antes que el final del PPP con 91% del polen ya registrado (Tabla 2).

Distribución intradiaria

La distribución intradiaria de la concentración de polen durante el PP presentó máximos entre la hora 10 y la hora 14, sumando el 43% del total polínico del día en ese breve lapso (Fig. 3). Esto coincide con uno de los grupos formados en el análisis de agrupamiento; el otro grupo incluyó a las horas del día con bajo contenido polínico. Los mínimos diarios se registraron a la hora 22 y a la hora 6 del día siguiente.

Tabla 2. Observaciones del estado fenológico reproductivo de conos femeninos (ginoestróbilos) y conos masculinos (androestróbilos) de *A. angustifolia*. (*) Escala modificada de Anselmini (2005).

Fecha	Estado *	Observaciones
16-09	M:2	androestróbilos verdes en crecimiento
30-09	M:3	androestróbilos en fase de liberación de polen
	F:3	androestróbilos expuestos para recibir polen
12-10	M:3	androestróbilos en fase de liberación de polen
	F:3	androestróbilos expuestos para recibir polen
19-10	M:3	androestróbilos en fase de liberación de polen
	F:3	ginoestróbilos expuestos para recibir polen
28-10	M:3-4	androestróbilos en fase de liberación de polen (3), entrando a fase de curvatura pronunciada (4) que indica fin de fase de liberación de polen
	F:3	ginoestróbilos expuestos para recibir polen
18-11	M:5	androestróbilos amarronados, fuertemente curvados y caídos. Algunos portando polen
25-11	M:5	androestróbilos caídos

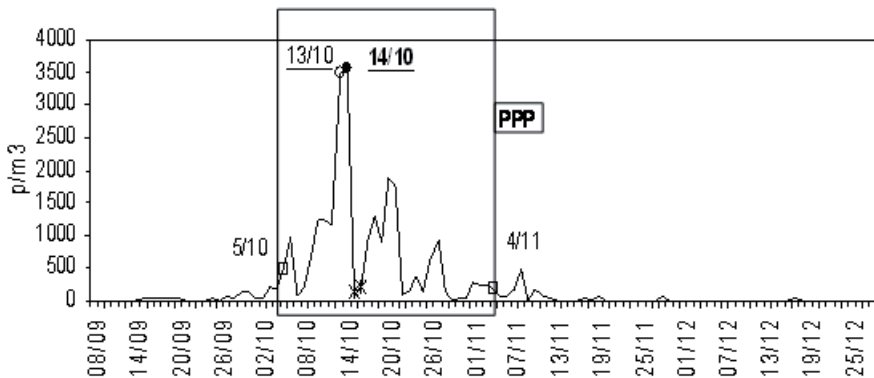


Fig. 2. Curva de concentración polínica de *Araucaria* durante el año 2010 (valores medios por día). Se indican las fechas del máximo, del máximo secundario y del período principal de polinación (PPP).

El día de concentración máxima se analizó en forma separada por presentar datos extremos que sesgarían los resultados y no se incluyó en el análisis de agrupamiento. Como se observa en la Fig. 3, la distribución intradiaria de la concentración de polen del día 14/10 difiere con la observada para los demás días mostrando durante la noche altas proporciones con un leve aumento luego del mediodía entre las horas 16 y 20.

Relación con variables meteorológicas

Las mayores concentraciones de polen se

registraron durante los días más cálidos, con vientos más fuertes y con una humedad relativa menor que los valores medios del período (Fig. 4).

El 79% del API se acumuló en los días sin lluvias. Éstas disminuyeron en forma significativa la concentración de polen ($r_s = -0.70, P=0.04$). El ejemplo más evidente se observó durante los días de más alta concentración (13/10 y 14/10) en los cuales el promedio diario fue de 3500 p/m³ y sin el registro de lluvias. Durante los días siguientes (15/10 y 16/10) las precipitaciones de 10mm y 12mm respectivamente, produjeron una abrupta disminución

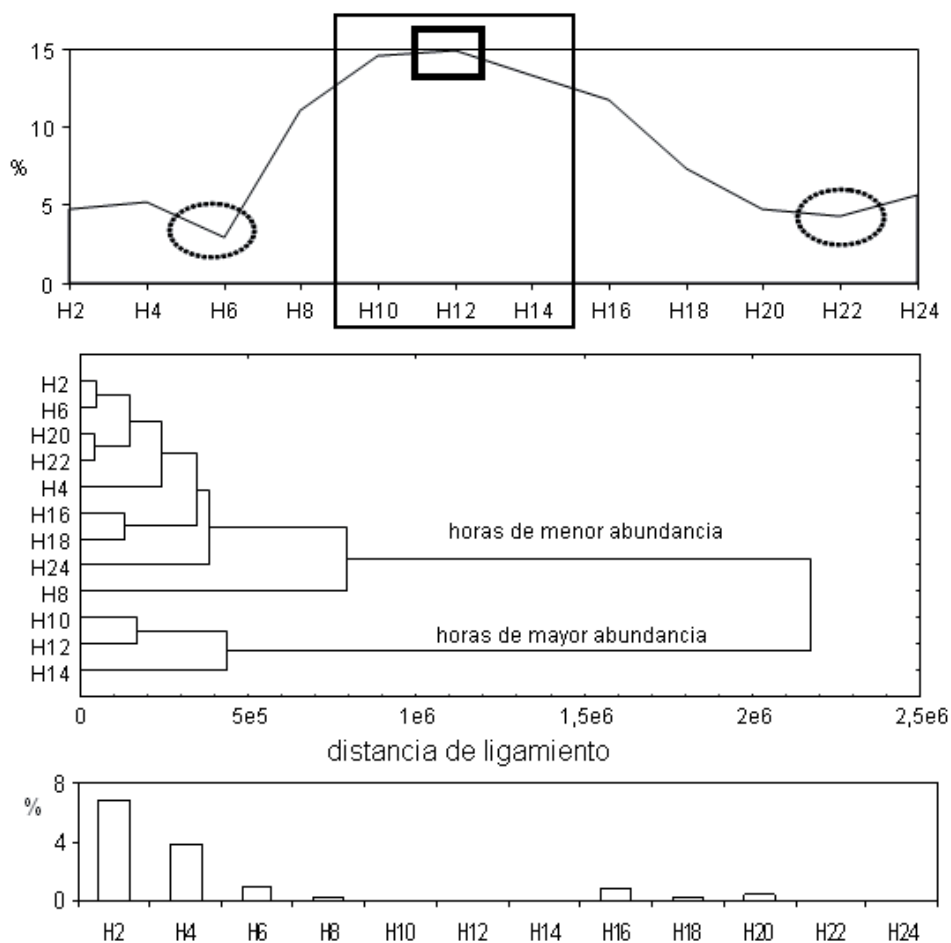


Fig. 3. Distribución intradiaria del polen durante el período de polinación (PP): a) excluyendo el 14/10 (máximo), b) análisis de agrupamiento, c) detalle del 14/10.

de la concentración, alcanzando apenas 170 p/m³ en promedio por día.

Variación espacial

Los sitios con menos cantidad de polen acumulado durante el PP, fueron aquellos ubicados en los puntos extremos de distribución de la población en estudio coincidiendo con los sitios 1 y 5 (Fig. 1). Contrariamente, en el sitio 0 donde el captador se ubicó bajo el dosel de árboles, se registró una cantidad mucho mayor de polen que en los sitios restantes (Fig. 5).

Se observó un retraso en el registro de los máximos polínicos y una finalización anticipada en los sitios ubicados hacia el sur-sudoeste que coincide con la orientación de los vientos predominantes. En

cuanto al inicio de la polinación, se observó en todos los sitios que el polen en el aire comienza a registrarse simultáneamente excepto en el sitio más septentrional (sitio 5), localizado fuera de los límites de la Reserva Forestal, donde fue posterior (Fig. 6).

Analizando comparativamente las curvas de concentración individual a lo largo del PP (Fig. 7), se observa en los sitios 2, 3 y 4 un patrón particular con dos picos de alta concentración y un período entre ellos en que la concentración fue relativamente baja y que coincide con un período de lluvias. Este patrón no se observó en el sitio 0 donde el captador se ubicó dentro del bosque y bajo la copa de los árboles, ni en los puntos extremos de distribución de la población correspondientes a los sitios 1, al norte y 5, al sur. Luego de registrarse el máximo

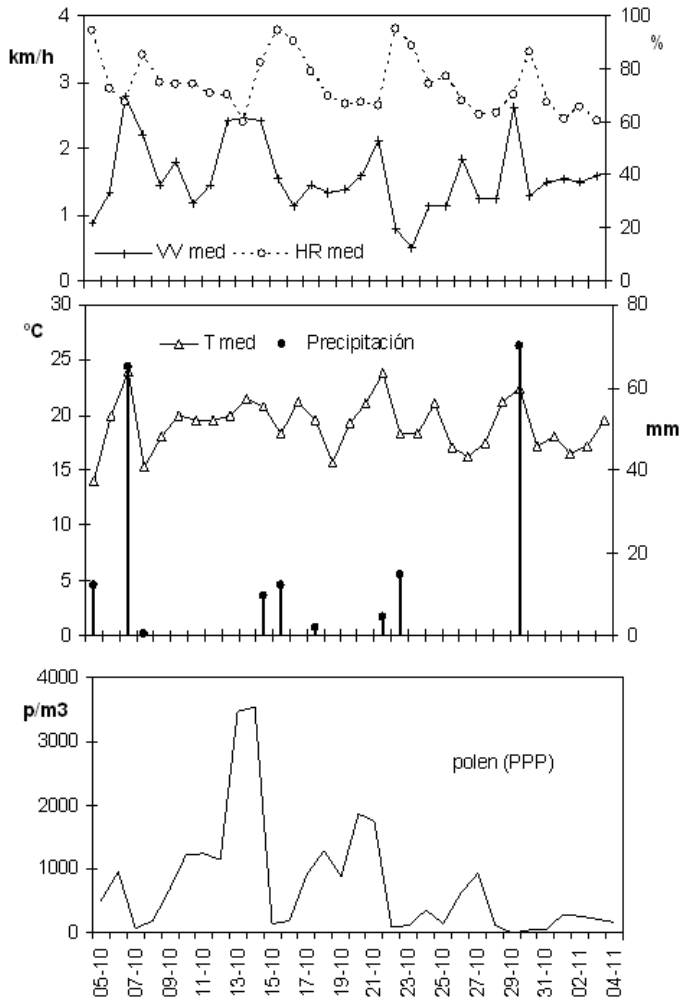


Fig. 4. Condiciones meteorológicas durante el período principal de polinación (PPP) y concentración polínica.

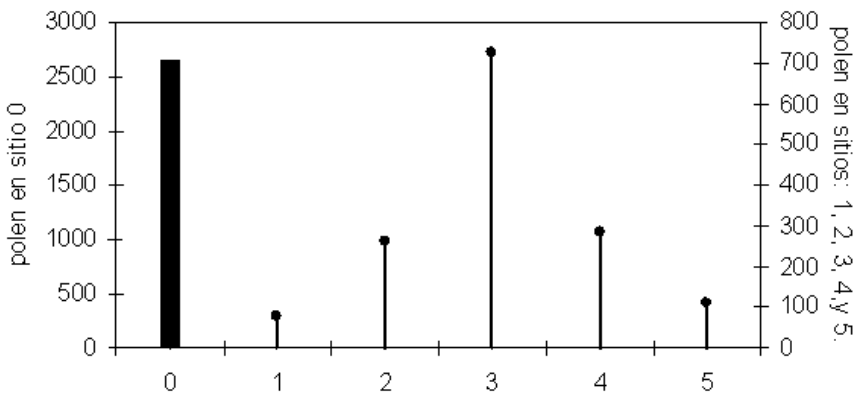


Fig. 5. Suma de los valores semanales de polen con el muestreador portátil en cada sitio durante el período de polinación.

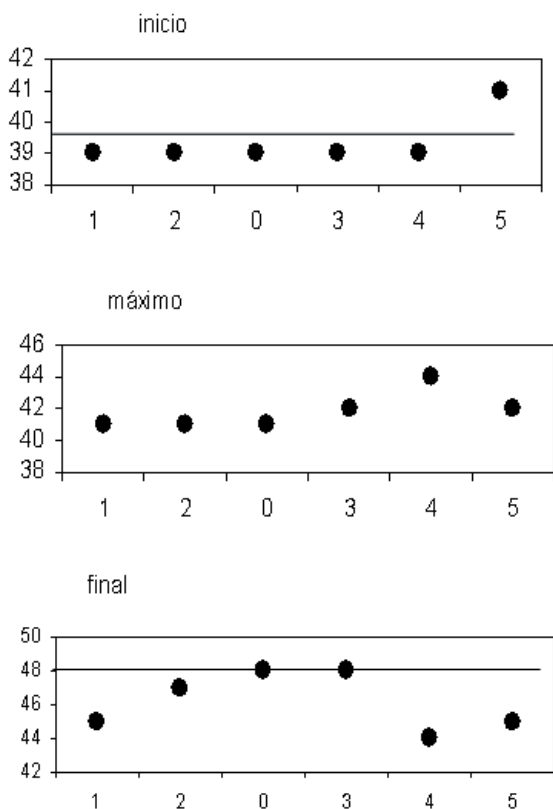


Fig. 6. Inicio, máximo y final de la polinación en cada sitio de monitoreo realizado con el muestreador portátil. Se indica cada fase en semanas.

en estos tres puntos mencionados anteriormente (sitios 0, 1 y 5), sólo en el sitio 0 la concentración polínica se mantuvo relativamente alta una semana más; en cambio, en los sitios más alejados luego de ese primer pico de alta concentración (máximo), la cantidad de polen en suspensión comenzó a disminuir apreciablemente sin manifestar un pico secundario, siendo esta disminución más abrupta en el sitio 5 que está fuera de la Reserva Forestal.

El seguimiento fenológico del desarrollo de conos masculinos a partir de las observaciones a campo, ocurrió en coincidencia con la curva polínica del sitio 0.

DISCUSIÓN

Características del grano de polen

La baja resistencia a la acción mecánica

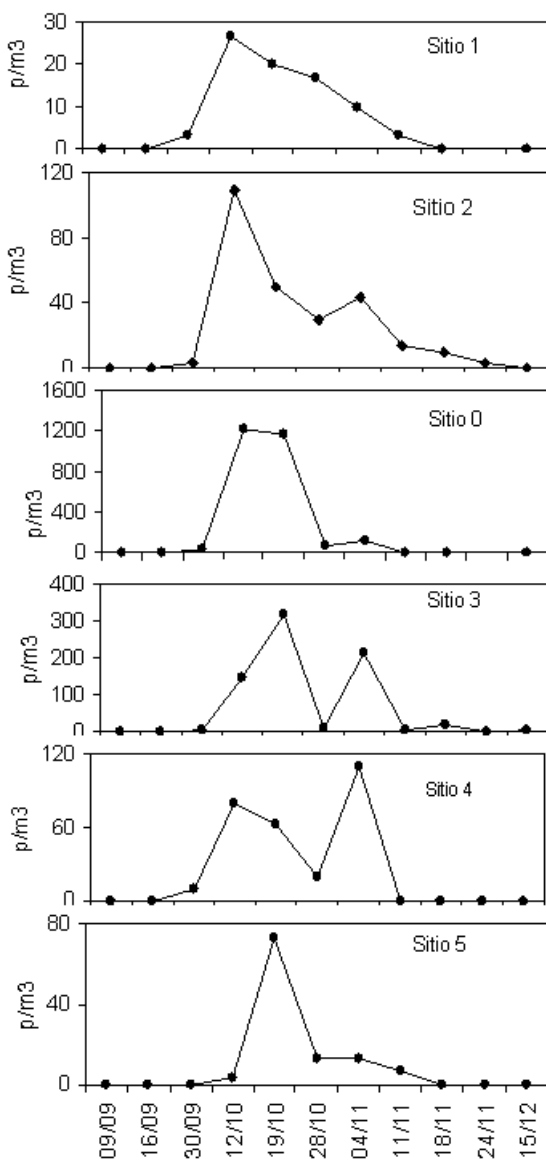


Fig. 7. Patrón de concentración polínica en cada sitio, ordenados de NE a SO.

que presenta el grano de polen de *A. angustifolia* favorece la adquisición de una forma más aerodinámica cuando está parcialmente deshidratado, lo que mejoraría su transportabilidad (Niklas, 1985). Sin embargo, el ambiente subtropical en el cual se desarrolla la especie presenta un 80% de humedad relativa promedio, haciendo poco frecuente la pérdida del contenido acuoso. Asimismo, en las muestras

aerobiológicas analizadas en este estudio, no se observó esta variación en forma del grano de polen; aunque si se observaron granos rotos en pequeño porcentaje. Si se considera que el tamaño óptimo teórico para que un grano de polen se mantenga en suspensión es de entre 20 y 30 μm , el gran tamaño de esta especie parece no ser favorable para el transporte eólico y hace pensar en una escasa distancia de alcance.

Características aerobiológicas del patrón polínico anual

El polen registrado durante el período 2010 fue de 25984 granos, cantidad que tendrá una valoración comparativa dada la continuación del registro, cuando sean analizados los datos de los años siguientes. Al momento, es posible caracterizar la curva aerobiológica en forma general dando los valores de los parámetros aerobiológicos importantes en cuanto a información fenológica se refiere.

Prácticamente sólo un tercio (28%) de los días en que se registró polen fue definido como PPP, el cual corresponde a la polinación de árboles locales, sin considerar árboles tempranos o tardíos en cuanto a inicio y finalización de la etapa reproductiva, respectivamente, y sin contemplar resuspensiones posteriores a la emisión.

El aporte mayoritario ocurrió en octubre, especialmente durante la fase ascendente, o sea desde el inicio hasta el máximo de esta etapa de la curva aerobiológica, que incluyó la mitad del API y abarcó sólo 9 días (30% del PPP y 8% del PP). Este mismo patrón fue observado en otras especies arbóreas (Latorre, 1999).

Distribución intradiaria de la concentración

El mismo patrón general observado para *A. angustifolia* con altas concentraciones diurnas y bajas nocturnas, se repite en los registros aerobiológicos de la mayoría de los sitios. Latorre & Caccavari (2009), pudieron constatar en la ciudad de Mar del Plata que las concentraciones más altas se registran en las horas cercanas al medio día (entre las 10 y 16 horas), período en el cual se acumula el 50% del total diario observándose las concentraciones mínimas por la noche. Esta tendencia general de la concentración polínica a lo largo del día que indica valores progresivamente altos en horas cercanas al medio día y principio de

la tarde (Galán *et al.*, 1991) y bajos valores durante las horas de la noche (Berggren *et al.*, 1995), se relaciona fuertemente con el patrón circadiano de la temperatura (cálido durante las horas de luz) asociado con velocidad del viento y humedad relativa (mayores y menores, respectivamente, durante el día). En particular, este registro detectó un leve aumento nocturno registrándose la más alta concentración anual y el máximo horario del día 14/10 por la noche. Esto podría relacionarse con el polen local probablemente asociado a condiciones de estabilidad atmosférica que tipifica ese momento del día. Esta estabilidad atmosférica nocturna dificulta el transporte vertical (Giostra *et al.*, 1991), por lo que la presencia de polen durante las horas nocturnas se interpreta como una fase de caída de polen situado a mayor altura como se observa en especies arbóreas o arbustivas de mayor porte (Boi & Llorens, 2008) o de zonas más elevadas, favorecida por corrientes débiles que se producen como consecuencia de las diferencias térmicas.

Relación con variables meteorológicas

Los días más cálidos, menos húmedos y con vientos más fuertes que la media, fueron favorables para el registro de polen de *A. angustifolia*. Las temperaturas altas y la humedad baja favorecen en general, no sólo la antesis (Recio *et al.* 1997) sino también la permanencia de granos en suspensión (O'Rourke, 1986; Bianchi, 1994). Además, el viento aumenta la turbulencia atmosférica (condiciones inestables) y el polen forzado a salir de las anteras, es emitido y descargado a la atmósfera para incorporarse al movimiento de circulación que permite luego su transporte (Käpylä, 1984).

Por el contrario, las lluvias disminuyen la concentración del polen atmosférico tanto por un efecto de lavado o arrastre (Norris-Hill & Emberling, 1993; Jato *et al.*, 2002) como por el proceso de nucleación asociado al secuestro de aerosoles biológicos como el polen por parte de las gotas de lluvia o núcleos de condensación cuando hay neblina (Pérez *et al.*, 2009).

Variación espacial

A partir de los resultados obtenidos analizando la distribución espacial del polen de *A. angustifolia*, es posible definir que el sitio 0, ubicado bajo el dosel y en un punto central de la distribución de plantas de la Reserva Forestal, capta la productividad polínica de la

especie. La cantidad muy superior de polen confirma una de las hipótesis de trabajo, motivo por el cual éste se eligió como sitio de captura. Las observaciones fenológicas directas sobre la maduración de conos masculinos y la curva aerobiológica coinciden exactamente en este sitio. El polen colectado aquí es netamente de origen local y su patrón temporal muestra una cierta independencia con las condiciones meteorológicas que afectan el transporte y que se registran por encima de la cobertura vegetal. Cabe destacar, que en este caso las lluvias no tuvieron el mismo efecto depresor de la concentración que en los demás sitios. El registro aerobiológico de este sitio en particular, permite caracterizar el evento fenológico reproductivo de productividad polínica en los que respecta a intensidad y "timing" (sincronización y estacionalidad). Los datos de un registro aerobiológico prolongado en este sitio, serán apropiados para analizar la variación interanual en la producción de polen y, a partir de ellos, evaluar las condiciones climáticas más influyentes.

El polen registrado en los demás sitios se relaciona más con el transporte y la proximidad de las fuentes. Luego de su análisis, se infiere que la posibilidad de dispersión de los granos de polen de *A. angustifolia* está limitada por la distribución de plantas.

Dada la ubicación espacial de las plantas dentro de la Reserva Forestal, se esperaría detectar que los sitios hacia el S-SO reciben polen adicional proveniente de las parcelas ubicadas hacia el N-NE, donde se encuentra la mayor densidad de árboles ya que el viento es predominante en esa dirección durante la polinación de la especie en el área (Caccavari, 2003). Además, este polen de origen secundario se detectaría preferentemente en el final de la polinación (O'Rourke, 1990; Latorre, 1998). Sin embargo, se observó en estas parcelas, que la finalización del PP se adelanta (o sea que se acorta el PP) respecto de las parcelas con mayor abundancia y plantas más próximas al captador portátil. Más aún, en el sitio 0 debajo del dosel de árboles la duración del PP es máxima. Por lo tanto, se infiere que no ocurre transporte de polen al menos en la magnitud teóricamente esperada por efecto de los vientos. En cambio, sí ocurre resuspensión *in situ* dentro del área de distribución de los árboles. Es posible afirmar entonces, que el polen proviene predominantemente, de la Reserva Forestal en estudio y no parece factible la llegada desde sitios más alejados y no conectados

con ella. El primer aspecto tiene apoyo adicional en los rasgos morfológicos no aerodinámicos del grano de polen de esta especie, y el segundo aspecto se sostiene dada la resuspensión de partículas en condiciones de estabilidad atmosférica observada como un aumento de polen en las horas nocturnas.

Si bien actualmente la Reserva Forestal muestra evidencias de una diversidad genética que podría considerarse adecuada para fines de conservación (Sarasola *et al.*, 2011) resulta importante incorporar ejemplares de poblaciones naturales para optimizar las estrategias de conservación (Aguirre *et al.*, 2010). En este sentido, una conectividad reducida entre los remanentes poblacionales como consecuencia de la escasa dispersión del polen, implica a futuro una disminución en la variabilidad genética.

Finalmente, como el ciclo reproductivo de la especie promedia los 30 meses entre la producción-emisión de polen y la formación de semillas (Anselmini *et al.*, 2006) se podría establecer en principio y con suficiente anticipación, el año que se espera una mayor producción de semillas dada la productividad polínica correspondiente. Esto es importante ya que la regeneración natural está limitada y es necesario implementar técnicas agrícolas de manejo de rodales y limpieza de "gaps" para favorecer el crecimiento de las plántulas. Actualmente se está realizando la colecta de semillas correspondiente al año polínico presentado aquí, con lo cual se completa los datos de un ciclo reproductivo.

En este trabajo se establecieron los parámetros fundamentales de la curva aerobiológica que se comparará con datos de los años siguientes. Para completar el programa será fundamental determinar las condiciones favorables para una producción abundante de polen, y relacionarlas con las tendencias climáticas de la región. El objetivo a largo plazo es conocer el comportamiento fenológico de *A. angustifolia* y utilizar los datos aerobiológico como bio-indicadores de variabilidad climática.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al INTA Montecarlo y personal EEA San Antonio (Campo Anexo Manuel Belgrano) especialmente a Jorge Costa y Andrés Schuakzer por ayudar en las tareas de toma de muestras; también a Mariela L. Suárez. PIP 0358

CONICET y EXA 462 UNMDP parcialmente financiado por convenio INTEA- INTA EEA Montecarlo ítem 8/3. FL es miembro de la Carrera del Investigador Científico del CONICET.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUIRRE N., N. ZELENER, S. TORALES, H. FASSOLA, N. PAHR, R. FERNANDEZ & L. FORNES. 2009. Diversidad genética de Pino Paraná: análisis de AFLPs en poblaciones naturales y una Reserva Forestal de la Selva Misionera, Argentina. VII Simposio de Recursos genéticos para América Latina y el Caribe. Pucón, Chile. Pág. 4.
- ANSELMINI, J. 2005. Fenología reproductiva da *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. KTZE, NA Regiao de Curitiba-PR. Tesis de Maestria. Universidad Federal de Paraná.
- ANSELMINI, J. I.; Zanette, F. & Bona, C. 2006. Fenología reproductiva da *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. KTZE, na região de Curitiba – PR. *Floresta e Ambiente* 13: 44-52.
- BERGGREN, B., S. NILSSON & G. BOËTHIUS. 1995. Diurnal variation of airborne birch pollen at some sites in Sweden. *Grana* 34: 251–259.
- BIANCHI M. M. 1994. El muestreo aerobiológico en Mar del Plata. Aportes de una nueva metodología al análisis de polen. Su aplicación en el diagnóstico de la polinosis. – *Monogr. Acad. Nac. Cienc. Exactas Fís. Nat. Buenos Aires* 10: 1-60.
- BITTENCOURT, J. V. M. & A. M. SEBBENN. 2007. Patterns of pollen and seed dispersal in a small, fragmented population of the wind-pollinated tree *Araucaria angustifolia* in southern Brazil. *Heredity* 99: 580–591.
- BOI, M. & L. LLORENS. 2008. Aerobiología de la estación de Palma de Mallorca (Islas Baleares). Contenido y Variación diaria del polen aéreo durante el periodo octubre 2003-diciembre 2004. *Polen* 18: 7-23.
- CACCAVARI, M. A. 2003. Dispersión del polen de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O'Kuntze. *Rev. Museo Arg. Cienc. Nat. Bernardino Rivadavia* 5: 135-138.
- CACCAVARI, M. A., E. A. DOME, G. DEL FUEYO & M. E. GAUCHAT. 2000. Biología reproductiva de *Araucaria angustifolia*. Estudios palinológicos: viabilidad del polen, fertilización; Fenología de la polinización. Relatorio PROYECTO IPGRI: Conservación, manejo y uso sustentable de forestas con *Araucaria angustifolia*. Inédito. 20 pp.
- COUR, P. & M. VAN CAMPO. 1980. Prévisions de récoltes á partir du contenu pollinique de l'atmosphère. *C.R. Acad. Sci. Paris* 290: 1043-1046.
- DEL FUEYO, G., M. A. CACCAVARI, & E. A. DOME. 2008. Morphology and structure of the pollen cone and pollen grain of the *Araucaria* species from Argentina. *Biocell* 32:49-60.
- FASSOLA, H., P. FERRERE, D. MUÑOZ; N. PAHR, H. KUZDRA & S. MARQUÉZ. 1999. Observaciones sobre la producción de frutos y semillas en plantaciones de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. (periodo 1993-1998). In: Informe Técnico n° 24. INTA EEA. Montecarlo, Misiones.
- GALÁN, G., R. TORMO, J. CUEVAS, F. INFANTE & E. DIMÍNGUEZ. 1991. Theoretical daily variation patterns of airborne pollen in the south-west of Spain. *Grana* 30: 201–209.
- GIOSTRA, U., P. MANDRIOLI, F. TAMPIERI & F. TROMBETTI. 1991. Model for pollen emission and transport in the evolving convective boundary layer. *Grana* 30: 210-214.
- HICKS, S., B. AMMANN, M. LATALOWA, H. PARDOE & H. TINSLEY (eds.). 1996. *European Pollen Monitoring Programme: project description and guidelines*. University of Oulu, Oulu.
- HIRST, J. M., 1952. An automatic volumetric spore trap. *Ann. Appl. Biol.* 39: 257-265.
- JATO, V., A. DOPAZO & M. J. AIRA. 2002. Influence of precipitation and temperature on airborne pollen concentration in Santiago de Compostela (Spain). *Grana* 41: 232–241.
- KÄPYLÄ, M. 1984. Diurnal variation of tree pollen in the air in Finland. *Grana* 23: 167-176.
- KÄPYLÄ, M. & A. PENTTINEN. 1981. An evaluation of the microscopical counting methods on the tape in Hirst-Burkard pollen and spores trap. *Grana* 20: 131–141.
- LATORRE, F. 1999. Differences between airborne pollen and flowering phenology of urban trees with reference to production, dispersal and interannual climate. *Aerobiologia* 15: 131-141.
- LATORRE, F. & J. BELMONTE. 2004. Temporal and spatial distribution of atmospheric Poaceae pollen in Catalonia (Northeast Spain) in 1996-2001. *Grana* 43: 156-163.
- LATORRE, F. & M. A. CACCAVARI. 2009. Airborne pollen patterns in Mar del Plata atmosphere (Argentina) and its relationship with meteorological conditions. *Aerobiologia* 25: 297- 312.
- LATORRE, F. & M. A. CACCAVARI. 2010. Pollen diversity in the air of Diamante (Entre Ríos, Argentina) / Diversidad polínica en el aire de Diamante (Entre Ríos, Argentina). *Scientia Interfluvius* 1: 07-17.
- NILSSON, S. & S. PERSSON. 1981. Tree pollen spectra in the Stockholm region (Sweden). 1973-1980. *Grana* 20: 179-182.

- NIKLAS, K.J. 1985. The aerodynamics of wind pollination. *Bot. Rev.* 51: 328-386.
- NORRIS-HILL, J. & J. EMBERLING. 1993. The incidence of increased pollen concentrations during rainfall in the area of London. *Aerobiologia* 9: 27-32.
- O'ROURKE, M. K. 1986. The implication of atmospheric pollen rain for fossil pollen profiles in the arid southwest. Ph.D. Thesis, University of Arizona.
- O'ROURKE, M. K. 1990. Pollen reentrainment: Contributions to the pollen rain in an arid environment. *Grana* 29: 147-152.
- PÉREZ, C. F., M. I. GASSMANN & M. COVI. 2009. An evaluation of the airborne pollen-precipitation relationship with the superposed epoch method. *Aerobiologia* 25: 313-320.
- RECIO, M., B. CABEZUDO, M. M. TRIGO & F. J. TORO. 1997. Accumulative air temperature as a predicting parameter for daily airborne olive pollen (*Olea europaea* L.) during the prepeak period in Málaga (Western Mediterranean area). *Grana* 36: 44-48.
- ROGERS, C. & M. MUILENBERG. 2001. Comprehensive Guidelines for the operation of Hirst-Type suction bioaerosol samplers. Pan-American Aerobiology Association, Standardized Protocols.
- SARASOLA, M., N. ZELENER, H. FASSOLA, N. PAHR, R. FERNANDEZ & S. TORALES. 2011. Diversidad genética de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. en una Reserva Forestal Argentina. *Análisis de semillas* 5: 84-88.
- TORMO MOLINA, R., I. SILVA PALACIOS, A. GONZALO GARIJO, A. F. MUÑOZ RODRIGUEZ, S. FERNÁNDEZ RODRÍGUEZ & D. RECIO AGUADO. 2010. Use of personal sporetraps to complement continuous aerobiological monitoring. *Grana* 49:134-141.
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). Lista roja 2007 [online]. Disponible en: http://www.iucn.org/es/sobre/union/secretaria/oficinas/sudamerica/sur_trabajo/sur_especies/sur_listaroja [Acceso: 23/05/2012].

Recibido el 30 de agosto de 2012, aceptado el 11 de diciembre de 2012.