







# DIVERSIDAD POLÍNICA ATMOSFÉRICA EN LA CIUDAD DE SUNCHALES (SANTA FE, ARGENTINA): AGOSTO – NOVIEMBRE 2012, AGOSTO – DICIEMBRE 2013

AIRBORNE POLLEN DIVERSITY IN SUNCHALES CITY (SANTA FE, ARGENTINA): AUGUST - NOVEMBER 2012, AUGUST - DECEMBER 2013

Claudio F. Pérez<sup>1,2\*</sup> , María I. Gassmann<sup>1,2</sup> , Ana G. Ulke<sup>1</sup>  y Rodrigo Merino<sup>1</sup> 


## SUMMARY

1 Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Facultad de Cs. Exactas y Naturales, Pabellón II, 2do piso, 1428, CABA, Argentina.  
2. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

\* perez@at.fcen.uba.ar

### Citar este artículo

PÉREZ, C. F., M. I. GASSMANN, A. G. ULKE & R. MERINO. 2020. Diversidad polínica atmosférica en la ciudad de Sunchoales (Santa Fe, Argentina): agosto – noviembre 2012, agosto – diciembre 2013. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 55: 573-585.

 DOI: <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v55.n4.25408>

**Background and aims:** Respiratory diseases, such as asthma, rhinitis and allergies, are increasing worldwide, in association with a greater presence of different etiological triggers in the air, from which pollen is one of the most important. These evidences show the importance of monitoring airborne pollen concentrations for preventive or possible control purposes. This paper reports the incidence and prevalence of airborne pollen content as well as the allergenic pollen types present in the air of Sunchoales city (Santa Fe, Argentina) during two study periods (August - November 2012, August - December 2013) aiming to present a preliminary pollen monitoring for the city.

**M&M:** The samples were collected with a Burkard trap located 1.3 m above the ground with a suction volume of 0.6 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>. The entire slide was analyzed with an optical microscope at 400x final magnification. The daily concentration (gr m<sup>-3</sup>) was determined for the recognized pollen types. Pollen recognition and their allergenicity were determined with specialized literature.

**Results & Conclusions:** Compared to other cities in the country, species richness is high, although the daily concentration for the period analyzed is low. The majority of the captured pollen (about 70%) corresponds to only four pollen types (Cupressaceae, Moraceae, Poaceae and Urticaceae) reported in the literature as allergens.

## KEY WORDS

Alergia, Argentina, atmosphere, Santa Fe, pollen monitoring.

## RESUMEN


**Introducción y objetivos:** Las afecciones respiratorias, como el asma, la rinitis y las alergias, están aumentando en todo el mundo, en asociación a una mayor presencia en el aire de distintos agentes etiológicos desencadenantes, de los cuales, el polen es uno de los más importantes. Estas evidencias muestran la importancia de monitorear sus concentraciones con fines preventivos o de posible control. Este trabajo reporta la incidencia y prevalencia del contenido polínico de la atmósfera y los tipos alergénicos presentes en el aire de la ciudad de Sunchoales (Santa Fe, Argentina) durante dos períodos de estudio (agosto-noviembre 2012, agosto-diciembre 2013) con el objetivo de presentar un relevamiento preliminar para la localidad.

**M&M:** Las muestras se colectaron con una trampa Burkard ubicada a 1,3 m sobre el suelo con un volumen de aspiración de 0,6 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>. Se analizaron con microscopio óptico a 400x, recorriendo la totalidad del preparado. Así se determinó la concentración diaria (gr m<sup>-3</sup>) para los tipos polínicos reconocidos. El reconocimiento de los mismos y su alergenicidad se determinó mediante bibliografía especializada.

**Resultados & Conclusiones:** En comparación con otras ciudades del país, el registro es rico en especies, aunque la concentración diaria para el período analizado es baja. La mayoría del polen capturado (cerca de 70%) corresponde a sólo cuatro tipos polínicos (Cupressaceae, Moraceae, Poaceae y Urticaceae) reportados en la bibliografía como alergénicos.

## PALABRAS CLAVE

Alergias, Argentina, atmósfera, monitoreo polínico, Santa Fe.

Recibido: 11 Sep. 2019  
Aceptado: 26 Oct. 2020  
Publicado en línea: 10 Dic. 2020  
Publicado impreso: 20 Dic. 2020  
Editor: Gonzalo Márquez 

ISSN versión impresa 0373-580X  
ISSN versión on-line 1851-2372

## INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas, la evidencia muestra que la prevalencia de afecciones respiratorias relacionadas con las alergias, el asma o la rinitis, está en aumento en todo el mundo (Lorenzoni-Chiesura *et al.*, 2000). Por ejemplo, se calcula que los trastornos alérgicos afectan entre 10 y 21% de la población europea (Bauchau & Durham, 2004; Janson *et al.*, 2001), mientras que ese porcentaje se incrementa al 25% en el caso de niños (Pawankar *et al.*, 2011). El consenso general apunta a una multi-causalidad vinculada con factores medioambientales como la contaminación del aire o la propagación de patógenos desencadenantes de estas afecciones como ácaros, polen o esporas de hongos entre otros bioaerosoles (Després *et al.*, 2012). El efecto de alérgenos y contaminantes es sinérgico ya que las partículas emitidas por incineración de combustible diésel ( $90\% < 1\mu\text{m}$ ) tienen la propiedad de dañar la pared del grano de polen liberando mayor cantidad de alérgenos (Sedghy *et al.*, 2018). Son estas partículas las que logran penetrar en las vías aéreas profundas de las personas, desencadenando el cuadro inflamatorio asociado a las enfermedades respiratorias. El aumento de la exposición a estos agentes es regulado por el modo de vida y la modificación del uso del suelo con fines socio-económicos que, sin duda, hace de las ciudades uno de los ambientes de mayor riesgo. Por otra parte, el contenido de bio-aerosoles varía de acuerdo con la geografía, la vegetación y el tiempo atmosférico que modifica su producción y transporte, por lo que se hace necesario el monitoreo en forma continua. Así, los estudios sobre la presencia y prevalencia de, por ejemplo, polen alérgico, hacen posible diseñar calendarios que reflejan el período aproximado de floración de las plantas presentes en diferentes regiones y anticipar las épocas de exposición severa.

Las plantas de polinización anemófila son la causa más frecuente de las alergias respiratorias, ya que sus granos pequeños y producidos en gran abundancia son los que tienen mayor chance de afectar a más personas y a mayor distancia desde su fuente de origen. Por esta razón, controlar la cantidad de ejemplares alérgicos en las ciudades es de importancia para mitigar los efectos en la población, mientras que, por otro lado, se

desconoce la incidencia de las plantas autóctonas en personas susceptibles. En Argentina existen calendarios polínicos para un número limitado de ciudades del país (Cuadrado, 1978; 1979; Borromei & Quattrocchio, 1990; García, 1990; 1992; 1993; 2010; Bianchi, 1992; 1994; Majas *et al.*, 1992; Romero *et al.*, 1992; Noetinger, 1993; Noetinger *et al.*, 1994; Latorre & Pérez, 1997; Ramón *et al.*, 2000; 2001; Nitiu & Romero, 2001; Nitiu *et al.*, 2003; Bianchi *et al.*, 2004; Bianchi & Olabuenaga, 2006; Benedetti *et al.*, 2014; Caramuti *et al.*, 2014) lo que ha permitido caracterizar las épocas de mayor concentración y la composición de tipos alérgicos en el aire de las mismas. El desarrollo de un estudio de transporte de larga distancia de polen en la ciudad de Sunchales (Santa Fe, Argentina), brindó la oportunidad de contar con un cuerpo de datos durante dos temporadas, para las cuales este trabajo propone determinar la incidencia y prevalencia del contenido polínico de la atmósfera, y determinar los tipos polínicos alérgicos presentes en el aire de la localidad.

### Área de estudio

La ciudad de Sunchales, se encuentra en el centro-oeste de la provincia de Santa Fe, Argentina. Ubicada en la zona núcleo de la producción agropecuaria argentina, su principal actividad es agroindustrial y su población es de 21304 habitantes según el último censo (2010) del Instituto Nacional de Estadística y Censos. Por el momento no se registran estudios de acceso público, sobre prevalencia e incidencia de alergias respiratorias o polinosis. Desde el punto de vista fitogeográfico, la ciudad se encuentra en la provincia del Espinal (Lewis & Collantes, 1973; Cabrera, 1976), donde la fisonomía natural predominante correspondería a un bosque de mimosoideas con características xerofíticas con un estrato de poáceas cespitosas, intercalado con amplias zonas de Sabana o Parque. De acuerdo con Oyarzábal *et al.* (2018), la ubicación se corresponde con la unidad de Algarrobal: “Bosque de esclerófitas con *Prosopis nigra* y *Prosopis alba*”. Sin embargo, la actividad agrícola-ganadera ha producido una importante modificación del paisaje, donde la vegetación natural ha sido relegada a pequeños parches en campos abandonados o a lindes de caminos rurales. La fisonomía de estos parajes corresponde a una Sabana donde las especies leñosas dominantes

son: *Geoffroea decorticans* (Gill. ex Hook. & Arn.) Burkart (nv. Chañar), *Acacia caven* (Molina) Molina (nv. Espinillo) y *Parkinsonia aculeata* L. (nv. Cina-cina), acompañadas por diferentes hierbas y especies ruderales. La actividad más extendida es la agropecuaria, dedicada en su mayoría a la lechería, donde amplias parcelas son dedicadas a la alimentación de ganado a través del cultivo extensivo de *Medicago sativa* L. (nv. alfalfa). En el ejido urbano, la composición florística incluye numerosas especies exóticas cultivadas como ornamentales en parques, jardines y como arbolado público.

De acuerdo con la clasificación de Köppen-Geiger actualizada (Kottek *et al.*, 2006) el clima es tipo Cfa: templado cálido con valores de temperatura y precipitación media anual de 18,5°C y 928 mm, respectivamente. Julio es el mes más seco y frío (24 mm, 12°C), mientras que la mayor precipitación se registra en marzo (147 mm), con un máximo térmico en enero (25,1°C), lo que constituye amplitudes anuales de 123 mm y 13,1°C (Estadísticas Climatológicas, SMN, período 2000-2010).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El monitoreo atmosférico de polen se llevó a cabo en dos temporadas (01/08/2012-27/11/2012; 09/08/2013 - 05/12/2013) desde finales de invierno a finales de primavera cuando se observa la mayor riqueza palinológica en el aire de la mayoría de las localidades estudiadas en Argentina (Cuadrado, 1978; 1979; Borromei & Quattrocchio, 1990; García, 1990; 1992; 1993; 2010; Bianchi, 1992; 1994; Majas *et al.*, 1992; Romero *et al.*, 1992; Noetinger, 1993; Noetinger *et al.*, 1994; Latorre & Pérez, 1997; Ramón *et al.*, 2000; 2001; Nitiu & Romero, 2001; Nitiu *et al.*, 2003; Bianchi *et al.*, 2004; Bianchi & Olabuenaga, 2006; Benedetti *et al.*, 2014; Caramuti *et al.*, 2014). El relevamiento empleó la técnica volumétrica-isocinética diseñada por Hirst (1952), utilizando una trampa Burkard ubicada aproximadamente a 3 km al SO del centro geográfico de la ciudad, en la estación meteorológica del aeródromo de Sunchales (30°57'24,5"S, 61°31'59,2"O, 93 msnm) dependiente del Servicio Meteorológico Nacional (Fig. 1). La trampa fue operada a un volumen de



Fig. 1. Mapa de ubicación del sitio de estudio.

aspiración constante de 0,6 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, con su orificio de entrada ubicado a 1,3 m de altura sobre el suelo. La técnica es de amplia difusión en Europa y Asia y está descrita detalladamente en numerosos trabajos publicados por ejemplo, Spiexsma *et al.* (2003) en Europa y Sahney & Chaurasia (2008) en Asia. La preparación de la superficie captadora y el montaje de los preparados se realizó por técnicas estándar (Käpylä & Penttinen, 1981). El recuento se realizó con microscopio óptico con una magnificación final de 400x, analizándose la totalidad del preparado obtenido para cada día. Los tipos polínicos y su alergenicidad se determinó en base a bibliografía especializada (Heusser, 1971; Markgraf & D'Antoni, 1978; Pire *et al.*, 1998, 2001; Jelks, 2001; Latorre & Sánchez, 2011; Akdis & Agache, 2014). Se realizó el relevamiento de los ejemplares arbóreos presentes en las inmediaciones de la estación de monitoreo y las calles y parques de la ciudad, que fueron determinados con bibliografía especializada (Dimitri & Parodi, 1977).

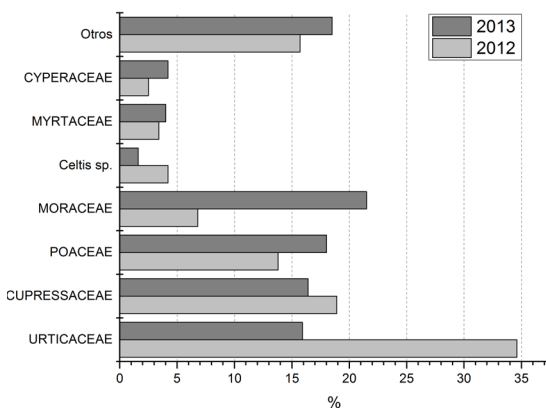
Dado el elevado número de tipos polínicos detectados (94 en la temporada 2012 y 91 en 2013), algunos de los cuales se presentaron por única vez, se decidió adoptar un criterio para reducir el número de variables a estudiar. De esta manera, sólo se muestran los resultados para aquellos tipos que tuvieran un mínimo de 10 días de presencia en ambas temporadas (con excepción de aquellos considerados de larga distancia o representativos de la vegetación natural). Los datos se presentan en diagramas polínicos expresados en valores de concentración diaria como granos de polen por metro cúbico de aire (gr m<sup>-3</sup>).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La integral polínica en la temporada 2012 alcanzó 1830,3 gr m<sup>-3</sup> (suma polínica 13178 granos), mientras que el valor en 2013 fue 1,4 veces mayor, con 2564,3 gr m<sup>-3</sup> (suma polínica 18463 granos). El 74% (2012) y 72% (2013) de estas sumas están concentradas en los cuatro tipos polínicos más abundantes: Urticaceae, Moraceae, Poaceae y Cupressaceae (Fig. 2).

Es notable el cambio de la dominancia de Urticaceae en 2012 a Moraceae en 2013. Mientras que no hay variaciones interanuales importantes en la longitud del período en que se registran estos tipos polínicos, hay una disminución marcada de concentración de Urticaceae en 2013 a la vez que se registra un aumento de Moraceae en el mismo año, como lo muestran los cambios en los valores máximos y en el 3<sup>er</sup> cuartil (Tablas 1 y 2). El aumento de las concentraciones en 2013 es un fenómeno bastante generalizado, ya que 45,7% de los tipos polínicos registrados muestran rangos inter-cuartil mayores en 2013, mientras que 21,7% disminuyeron y 32,6% se mantuvieron invariantes. En este último caso, estos tipos polínicos tienen poca presencia en el registro y baja concentración.

La concentración más frecuente corresponde en la mayoría de los casos al valor mínimo registrado (0,3 gr m<sup>-3</sup>), observándose una paulatina disminución de la frecuencia de días con concentraciones cada vez más altas, lo que se corresponde con



**Fig. 2.** Composición relativa de los espectros polínicos de las temporadas 2012 y 2013.

distribuciones estadísticas muy asimétricas con cola a la derecha (Tablas 1 y 2). Estos resultados concuerdan con la distribución esperada para un proceso de Poisson, es decir, el proceso estocástico de contar cierta cantidad de “eventos raros” e independientes (como la llegada de los granos de polen a la trampa) que ocurren en el tiempo, y que se describe adecuadamente a través de la función de distribución de probabilidad Gamma (Comtois, 2000; Arroyo *et al.*, 2014).

Junto con el aumento de la concentración hay un retraso concomitante de las estaciones de polinización de la mayoría de los tipos polínicos arbóreos registrados en la temporada 2013 (Fig. 3), con excepción de *Celtis*. Esto pareciera responder a que este año fue más frío que el precedente, produciendo una cantidad de calor acumulado menor al momento de inicio de la polinización (Pérez *et al.* en preparación). El comportamiento de la fracción herbácea del registro es algo diferente, ya que en casi todos los casos no se registraron cambios apreciables en la estacionalidad, aunque sí se observan aumentos de la concentración en los tipos más importantes (Fig. 4). La mayoría de los tipos polínicos registrados en la fracción arbórea corresponden a árboles exóticos plantados en parques, jardines y del arbolado público, como es el caso de Moraceae (altamente representados en las calles de la ciudad con ejemplares de *Morus sp.*, *Broussonetia papyrifera* (L.) Vent. y *Maclura pomifera* (Raf.) C.K.Schneid., con altos valores de concentración, y Cesalpinoideae (principalmente *Bauhinia variegata* L.), con escasa representatividad debido a su polinización entomófila. En particular, Cupressaceae y *Olea sp.*, corresponden a ejemplares ubicados en la cercanía de la trampa, en el campo de golf lindero o como cerco vivo del campo de observación de la estación meteorológica.

Los árboles autóctonos se encuentran presentes en el registro, aunque con la sola excepción de *Celtis* su contribución a la aeroflora local es prácticamente despreciable (Fig. 3). Los tipos polínicos: *Celtis*, *Geoffroea decorticans* y *Mimosa*, representan la vegetación autóctona local correspondiente al Espinal, mientras que otros como *Schinus* y *Ephedra*, pueden encontrarse tanto en la provincia del Espinal, como en la del Monte (Oyarzábal *et al.*, 2018). Es notable la aparición de tipos polínicos de larga distancia como *Alnus* y *Podocarpus*, cuya

**Tabla 1.** Datos estadísticos correspondientes a las mediciones de la temporada 2012. Los valores de N corresponden al número de días presentes, mientras que el resto de los valores expresan concentraciones diarias en gr m<sup>-3</sup>. Se presentan únicamente aquellos tipos polínicos reportados como alergénicos en la bibliografía.

Tipo polínico	N	Mínimo	Moda	1 <sup>er</sup> cuartil	Media aritmética	Mediana	3 <sup>er</sup> cuartil	Máximo
POACEAE	95	0,3	0,3	0,6	5,3	2,2	8,1	25,3
CUPRESSACEAE	98	0,3	0,3	0,8	7	2,2	10	66,7
CHENOPODIACEAE	60	0,3	0,3	0,3	0,8	0,6	0,8	6,4
URTICACEAE	107	0,3	0,3	0,8	11,8	4,2	14,4	131,4
MORACEAE	59	0,3	0,3	0,6	4,2	1,1	3,6	48,3
<i>Pinus</i> sp.	45	0,3	0,3	0,3	0,6	0,3	0,8	1,9
<i>Ulmus</i> sp.	25	0,3	0,3	0,3	0,5	0,3	0,6	1,9
<i>Salix</i> sp.	24	0,3	0,3	0,3	0,7	0,6	1	1,9
<i>Betula pendula</i>	14	0,3	0,6	0,3	0,7	0,6	0,8	2,5
<i>Acer</i> sp.	7	0,3	0,3	0,3	0,5	0,3	0,6	1,1
<i>Platanus</i> sp.	25	0,3	0,3	0,3	1,4	0,6	1,4	13,3
<i>Fraxinus</i> sp.	33	0,3	0,8	0,6	1,9	0,8	1,9	13,6
<i>Quercus</i> sp.	23	0,3	0,3	0,3	0,7	0,6	0,8	3,1
<i>Populus</i> sp.	14	0,3	0,3	0,6	1,3	1,3	1,9	3,3
<i>Liquidambar styraciflua</i>	5	0,3	0,6	0,6	0,7	0,6	0,8	1,1

**Tabla 2.** Datos estadísticos correspondientes a las mediciones de la temporada 2013. Los valores de N corresponden al número de días presentes, mientras que el resto expresa valores de concentración diaria en gr m<sup>-3</sup>. Se presentan únicamente aquellos tipos polínicos reportados como alergénicos en la bibliografía.

Tipo polínico	N	Mínimo	Moda	1 <sup>er</sup> cuartil	Media aritmética	Mediana	3 <sup>er</sup> cuartil	Máximo
POACEAE	113	0,3	1,1	1,1	8,3	2,5	13,3	54,2
CUPRESSACEAE	108	0,3	0,8	1,1	7,9	3,2	8,2	128,9
CHENOPODIACEAE	73	0,3	0,3	0,3	1	0,6	0,8	9,2
URTICACEAE	104	0,3	0,6	1,1	8	3,1	9,7	73,3
MORACEAE	81	0,3	0,6	2,5	13,8	7,5	21,7	114,4
<i>Pinus</i> sp.	31	0,3	0,3	0,3	0,8	0,6	0,8	3,1
<i>Ulmus</i> sp.	30	0,3	0,3	0,3	0,8	0,4	1,1	3,9
<i>Salix</i> sp.	27	0,3	0,3	0,3	1,5	0,8	1,7	7,8
<i>Betula pendula</i>	29	0,3	0,6	0,6	0,8	0,6	0,8	1,9
<i>Acer</i> sp.	17	0,3	0,3	0,3	0,7	0,3	0,8	3,3
<i>Platanus</i> sp.	35	0,3	0,3	0,3	1,7	0,6	1,9	16,4
<i>Fraxinus</i> sp.	54	0,3	0,3	0,3	1,5	0,6	1,9	8,1
<i>Quercus</i> sp.	36	0,3	0,3	0,3	1	0,6	1,1	6,4
<i>Populus</i> sp.	15	0,3	0,3	0,3	0,6	0,3	0,6	2,5
<i>Liquidambar styraciflua</i>	4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,6

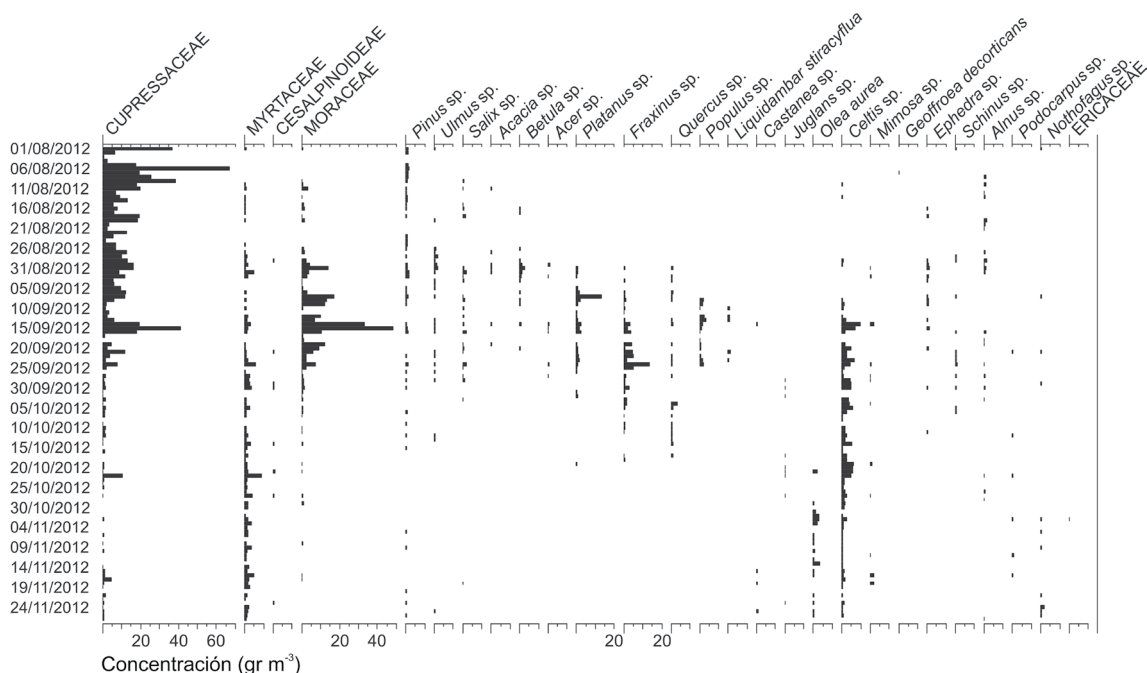


Fig. 3. Registro polínico de tipos arbóreos seleccionados de la temporada 2012.

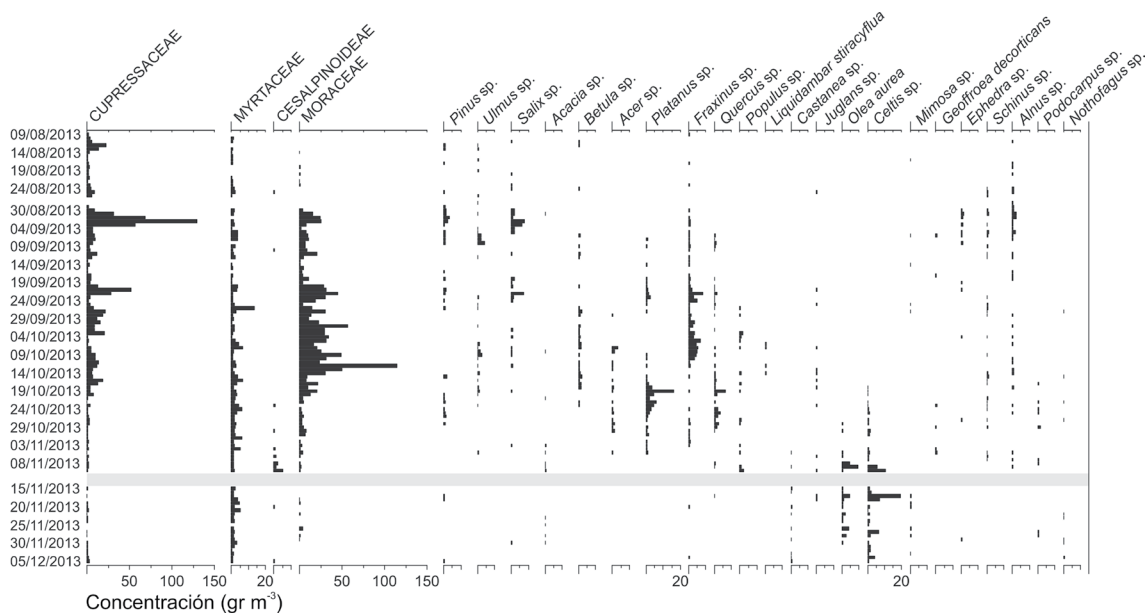


Fig. 3 (continuación). Registro polínico de tipos arbóreos seleccionados de la temporada 2013. El área sombreada corresponde a días sin datos por mal funcionamiento de la trampa.



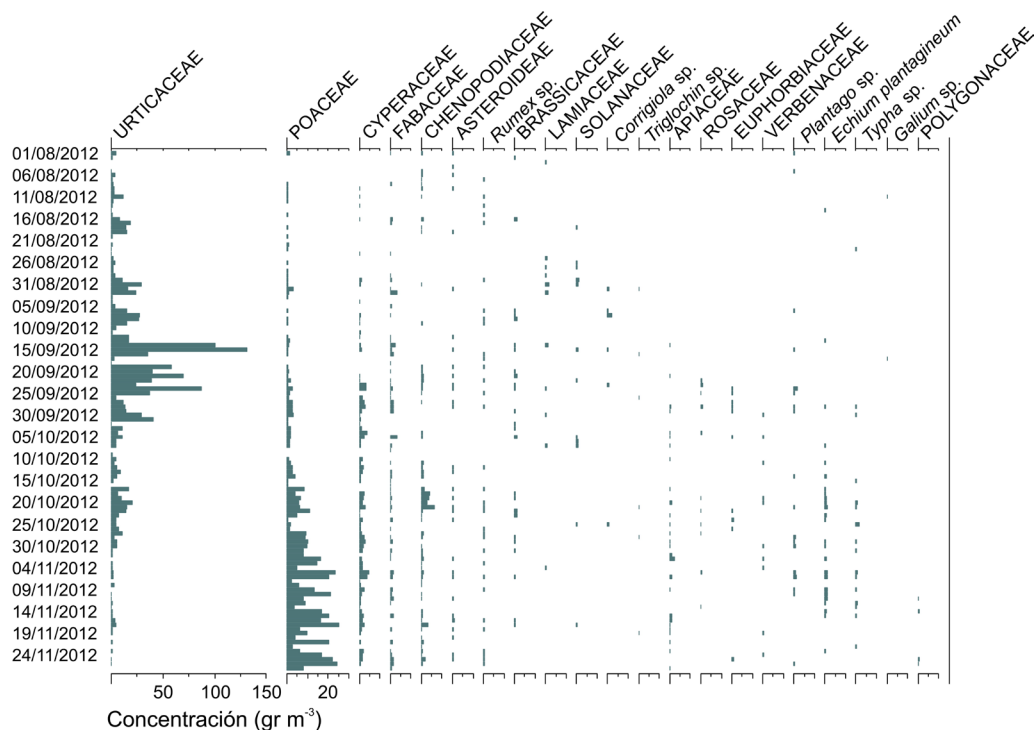


Fig. 4. Calendario polínico de tipos herbáceos seleccionados de la temporada 2012.

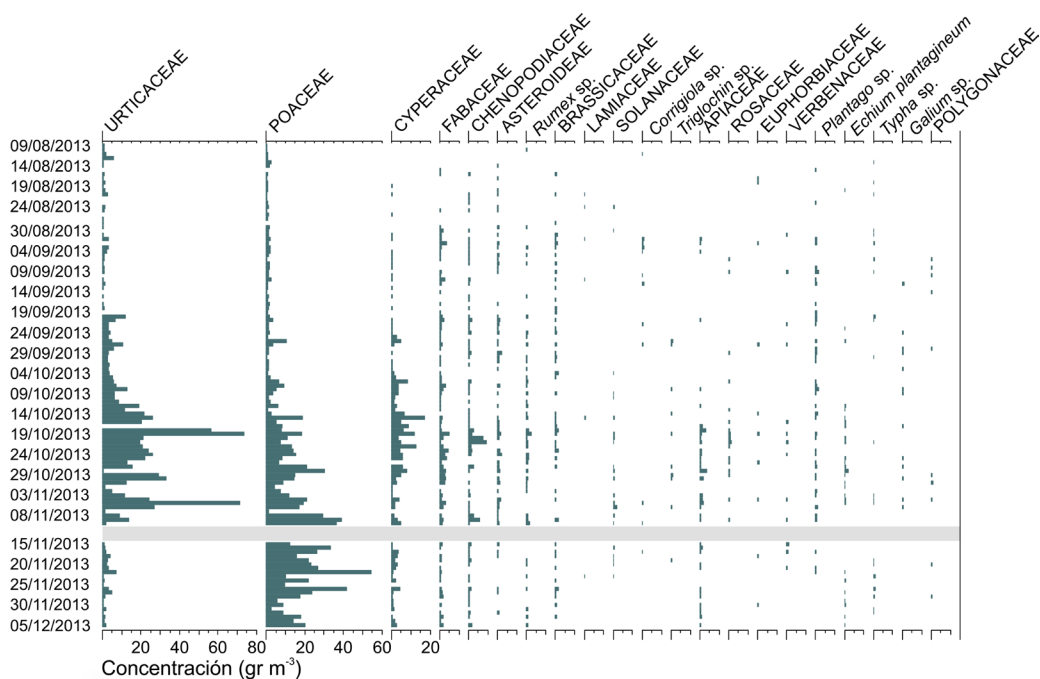


Fig. 4 (continuación). Calendario polínico de tipos herbáceos seleccionados de la temporada 2013. El área sombreada corresponde a días sin datos por mal funcionamiento de la trampa.

aparición está presumiblemente relacionada con la circulación de viento norte durante la época de emisión de *Alnus acuminata* Kunth y *Podocarpus parlatorei* Pilg. en la provincia de Yungas (Pérez *et al.*, 2011), que en esta época aparecen en alta concentración en el aire de la provincia de Tucumán (García 2006, 2010). Otros tipos de larga distancia como *Nothofagus* sp. y Ericaceae se relacionan con el ingreso de frentes fríos desde Patagonia Norte, donde se ubican sus fuentes (Gassmann & Pérez, 2006).

La mayoría del polen herbáceo está representado por Poaceae y Urticaceae que dominan esta fracción del registro (Fig. 4). El resto alcanza concentraciones muy inferiores, la mayoría un orden de magnitud menor. Los representantes en general corresponden a malezas, mientras que algunos tipos como *Triglochin* sp., *Typha* sp., Cyperaceae y Polygonaceae están asociados a ambientes de humedal.

#### *Comparación con otros registros en el país*

Dado que no se cuenta con el registro anual completo, se comparan solamente algunas características del registro con la información disponible para otras ciudades del país donde se realizaron estudios con la misma técnica de muestreo.

Aunque el período de monitoreo corresponde a la época de mayor diversidad polínica en el aire, Sunchales tiene sumas muy inferiores a las de otras ciudades del país donde se han hecho estudios similares (por ejemplo, Mar del Plata, Pérez & Paez, 1998; La Plata, Nitiu & Romero, 2001 y Buenos Aires, Nitiu & Mallo, 2012), con excepción de los detectados para igual período de 1992 y 1993 en la ciudad de Mar del Plata (Latorre & Caccavari, 2009) o para Diamante (Latorre & Caccavari, 2010), donde las sumas son comparables a las del presente estudio. Sin embargo, mientras que en los demás casos el monitoreo se realizó dentro del ejido urbano, en Sunchales la trampa se ubicó a cierta distancia del centro de la ciudad, lo que puede influir fuertemente en las concentraciones reportadas si se tiene en cuenta que la concentración decae exponencialmente al alejarse de las fuentes (Di-Giovanni & Beckett, 1990), y que la casi totalidad de las fuentes arbóreas resultan ser especies exóticas plantadas en la ciudad. Mientras que la fracción arbórea para Mar del Plata y La Plata

supera ampliamente el 80% (Latorre & Pérez, 1997) y 78% (Nitiu & Romero, 2001) respectivamente, en Sunchales el valor alcanza solamente el 47%, lo que indica un claro predominio de la fracción herbácea, que refleja la posición semi-rural de la trampa. Respecto de los tipos más abundantes, el registro es similar al de la ciudad de Diamante, con quien comparte la dominancia de Moraceae, Cupressaceae, Poaceae, Urticaceae y *Celtis* (Latorre & Caccavari, 2010). Los tipos nativos son de escasa representación, como ocurre con los registros de otras ciudades, con la sola excepción de San Carlos de Bariloche, donde el 64% del espectro polínico está dominado por árboles nativos (*Nothofagus* y Cupressaceae -principalmente *Austrocedrus*-) (Bianchi & Olabuanaga, 2006).

#### *Tipos alergénicos del período analizado*

La mitad de la cantidad promedio de tipos polínicos que aparecen diariamente son alergénicos (5 para 2012, 6 para 2013) si se tiene en cuenta que, del total, 15 tipos polínicos (Tablas 1 y 2) corresponden a géneros o familias que incluyen al menos una especie alergénica (Nitiu *et al.*, 2019; Latorre & Sánchez 2011; Akdis & Agache, 2014). Otros tipos como: *Ambrosia*, *Ginkgo biloba*, *Araucaria*, *Artemisia* y Oleaceae están presentes en el registro, pero no se reportaron debido a su muy baja representatividad. Aproximadamente 80% del total capturado es alergénico, el cual en su mayoría (74 y 72%, Fig. 2) corresponde a los tipos polínicos: Poaceae, Cupressaceae, Urticaceae y Moraceae. Algunas especies pertenecientes a algunas de estas familias ya han sido detectadas como sensitizantes en tests realizados en la ciudad de Rosario (Pendino *et al.*, 2013), y en otras ciudades del noreste argentino (Strass *et al.* 2002). Poaceae es una de las familias de mayor incidencia en las alergias respiratorias. En Europa, son responsables del 95% de los casos de pacientes con polinosis o asma (D'Amato *et al.*, 2007), con 11 grupos de géneros identificados como alergénicos (Andersson & Lidholm, 2003). En particular, un grupo de alérgenos presentes en esta familia (las profilinas) son desencadenantes de reacciones cruzadas con muchas especies de árboles y malezas (Akdis & Agache, 2014), lo que las hace especialmente perjudiciales para personas sensibles. Cabe notar que, a pesar de ser un tipo polínico abundante, el máximo de concentración generalmente se produce entre principios y



mediados del verano, por lo que los valores reportados en este trabajo subestiman los valores de concentración máximos esperables para el área de estudio. URTICACEAE representa a un conjunto de plantas ruderales, constituido principalmente por los géneros: *Urtica* y *Parietaria*, los cuales han sido reportados como alergénicos en numerosos trabajos (D'Amato *et al.*, 2007; Akdis & Agache, 2014). De los dos, *Parietaria* es el que genera mayores problemas en Europa y Estados Unidos (Cvitanovic *et al.*, 1986; Kaufman, 1990), causando síntomas preferentemente en pacientes entre 10 y 30 años. Urticaceae, suele además tener reactividad cruzada con géneros de las familias Asteraceae y Chenopodiaceae - Amaranthaceae como, por ejemplo: *Ambrosia*, *Atriplex* o *Amaranthus* (Akdis & Agache 2014). Cupressaceae y Moraceae son dos familias de árboles exóticos muy utilizados como ornamentales, barreras rompeviento o en el arbolado público. El polen de Cupressaceae ha sido largamente reconocido como agente etiológico de polinosis y asma en Europa (Caballero *et al.*, 1996; Nardi *et al.*, 1996). La segunda familia, puede incluir diferentes géneros de los cuales los más comunes son: *Morus*, *Broussonetia*, *Ficus* y *Maclura*. Su alergenicidad es poco conocida. Sólo se conoce la reactividad de algunas especies de *Morus*, como *Morus papyrifera* (Micheal *et al.*, 2013) o *Morus alba* (Lorenzoni-Chiesura *et al.*, 2000), mientras que recientemente, Wu *et al.* (2019) son los primeros en demostrar la capacidad antigénica de *Broussonetia papyrifera*. En cuanto a *Ficus* y *Maclura*, no existen reportes de polinosis o asma asociados a la inhalación de polen, por lo que se las considera especies seguras (Lorenzoni-Chiesura *et al.*, 2000).

La mayoría de los trabajos provienen de otras regiones (generalmente, Europa y Estados Unidos), por lo que sólo es posible suponer la potencialidad alergénica de especies en base a resultados para el hemisferio norte. En Argentina, pocos trabajos analizan la potencialidad alergénica del polen aerotransportado (por ejemplo, Nitiu & Mallo, 2002) mientras que, un único antecedente relaciona su presencia en el aire con tests de sensibilización (Olabuenaga *et al.*, 2007). Por este motivo, este trabajo es preliminar, si se considera que no representa un relevamiento anual completo del contenido de polen de la atmósfera, o que no investiga su incidencia en la salud de la

población. Sin embargo, constituye una guía para futuras investigaciones que aborden el estudio epidemiológico de las alergias y enfermedades respiratorias en la ciudad de Sunchales. También es una herramienta útil para la gestión del medio ambiente urbano, permitiendo a los tomadores de decisiones decidir el reemplazo paulatino de árboles implantados en el espacio público, por especies de baja alergenicidad.

## CONCLUSIONES

El estudio de aerosoles biológicos en la ciudad de Sunchales permitió obtener la primera caracterización del contenido de polen de la atmósfera para las primaveras de 2012 y 2013. La integral polínica para el período 2012 fue 1.4 veces mayor que la 2013, mientras que 45,7% de los tipos polínicos registrados respondieron a este aumento entre períodos. Junto con el aumento de la concentración hay un retraso concomitante de las estaciones de polinización de la mayoría de los tipos polínicos arbóreos que no se observó en los tipos herbáceos. Estas respuestas están siendo estudiadas, pero presumiblemente se deben a las mayores temperaturas registradas en ese año. La mayoría de los tipos arbóreos corresponden a especies exóticas plantadas en el arbolado público de la ciudad mientras que las hierbas corresponden principalmente a malezas y especies ruderales. La mitad de la cantidad promedio de tipos polínicos que aparecen diariamente son alergénicos habiéndose detectado un total de 15 tipos alergénicos en ambos períodos según la bibliografía consultada.

## CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

CFP, MIG y AGU diseñaron la investigación y participaron de la redacción del manuscrito. CFP realizó el recuento microscópico y determinación de las muestras. CM realizó los cálculos, preparó las figuras, las tablas y la bibliografía.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo de la empresa SanCor Cooperativa de Seguros Ltda. quien se encargó

de la instalación de la trampa Burkard y la logística para el transporte de las muestras hacia el Departamento de Cs. De la Atmósfera y los Océanos donde fueron analizadas. Especialmente, al personal de la estación meteorológica Sunchales quienes estuvieron a cargo de la operación de la trampa Burkard y la obtención de las muestras. Sin su invaluable colaboración este trabajo no hubiera sido posible. Este trabajo se realizó con fondos de ANPCyT, subsidio PICT 2008 - 1739 "Transporte y dispersión de trazadores en el sudeste de Sudamérica" otorgados a G.U. y C.F.P.

## BIBLIOGRAFÍA

- AKDIS, C. A. & I. AGACHE (Eds.). 2014. *Global Atlas of Allergy*. European Academy of Allergy and Clinical Immunology. Zürich.
- ANDERSSON, K. & J. LIDHOLM. 2003. Characteristics and Immunobiology of grass pollen allergens. *Int. Arch. Allergy Immunol.* 130: 87-107. <https://doi.org/10.1159/000069013>
- ARROYO, I., L. C. BRAVO M., H. LLINÁS & F. L. MUÑOZ. 2014. Distribuciones Poisson y Gamma: Una discreta y continua relación. *Prospect.* 12: 99-107. <http://dx.doi.org/10.15665/rp.v12i1.156>
- BAUCHAU, V. & S. R. DURHAM. 2004. Prevalence and rate of diagnosis of allergic rhinitis in Europe. *Eur. Respir. J.* 24: 758-764. <https://10.1183/09031936.04.00013904>
- BENEDETTI, G. M., B. S. SASTRE & A. M. CAMPO. 2014. Calendario polínico de especies potencialmente alergógenas y su relación con parámetros meteorológicos en Villa Ventana, provincia de Buenos Aires. *Boletín Geográfico* 36: 85 - 99.
- BIANCHI, M. M. 1992. Calendario polínico de la ciudad de Mar del Plata (agosto 1987 - agosto 1989). *Arch. argent. alerg. inmunol. Clín.* 23: 73-86.
- 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*. Academia Nacional de Ciencias, Buenos Aires, Monografía N°10.
- BIANCHI, M. M. & S. OLABUENAGA. 2006: A 3-year airborne pollen and fungal spores record in San Carlos de Bariloche, Patagonia, Argentina. *Aerobiologia* 22: 247 - 257.
- BIANCHI, M. M., S. OLABUENAGA, M. A. DZENDOLETAS & E. CRIVELLI. 2004. El registro polínico de San Carlos de Bariloche. Septiembre 2001-septiembre 2002. *Revista del Museo de Ciencias Naturales N. S.* 6: 1-7.
- BORROMEI, A. M. & M. QUATTROCCHIO, 1990. Dispersión del polen actual en el área de Bahía Blanca (Buenos Aires, Argentina). *Anales de la Asociación de Palinólogos de la Lengua Española* 5: 39-52.
- CABALLERO, T., L. ROMUALDO, J. F. CRESPO, C. PASCUAL, M. MUÑOZ-PEREYRA & M. MARTIN-ESTEBAN. 1996. Cupressaceae pollinosis in the Madrid area. *Clin. exp. Allergy* 26: 197-201. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2222.1996.tb00080.x>
- CABRERA, A. L. 1976. Regiones fitogeográficas argentinas. En: KUGLER, W. F. (ed.) *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Tomo 2*. 2da edición. pp. 1-85. Acme, Buenos Aires.
- CARAMUTI, V. E., O. A. NAAB & M. G. MURRAY. 2014. First report of airborne pollen in Santa Rosa, La Pampa, Argentina: a 2-year survey. *Aerobiologia* 30: 1 - 13.
- COMTOIS, P. 2000. The gamma distribution as the true aerobiological probability density function (PDF). *Aerobiologia* 16: 171-176. <https://doi.org/10.1023/A:1007667531246>
- CUADRADO, G. A. 1978. Polen atmosférico de la ciudad de Corrientes (Argentina). *Facena* 2: 55-68.
- CUADRADO, G. A. 1979. Calendario polínico preliminar para Corrientes (Argentina). *Facena* 3: 63-83.
- CVITANOVIC, S., M. MARUSIC, L. ZEKAN & N. KOEHLER-KUBELKA. 1986. Allergy induced by *Parietaria officinalis* pollen in southern Croatia. *Allergy* 41: 543-545. <https://doi.org/10.1111/j.1398-9995.1986.tb00341.x>
- D'AMATO, G. D., L. CECCHI, S. BONINI, C. NUNES, I. ANNESI-MAESANO, H. BEHENDT, G. LICCARDI, T. POPOV & P. VANCAUWENBERGE. 2007. Allergic pollen and pollen allergy in Europe. *Allergy* 62: 976-990. <https://doi.org/10.1111/j.1398-9995.2007.01393.x>
- DESPRÉS, V. R., J. A. HUFFMAN, S. M. BURROWS, C. HOOSE, A. S. SAFATOV, G. BURYAK, J. FRÖHLICH-NOWOISKY, W. ELBERT, M. O. ANDREAE, U. PÖSCHL & R. JAENICKE. 2012. Primary biological aerosol particles in the atmosphere: a review. *Tellus series B; Chemical and Physical Meteorology* 64: 1-40.

- DI-GIOVANNI, F. & P. M. BECKETT. 1990. On the mathematical modelling of pollen dispersal and deposition. *J. Appl. Meteorol.* 29: 1352-1357. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1990\)029<1352:OTMMOP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1990)029<1352:OTMMOP>2.0.CO;2)
- DIMITRI, M. J. & L. R. PARODI. 1977. *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*. Tomo 1. Vol 1 y 2. Acme. Buenos Aires.
- GARCÍA, M. E., 1990. Aeropalinología de Santiago del Estero I. *Archivos Argentinos de Alergia e Inmunología Clínica* 22: 6-12.
- GARCÍA, M. E., 1992. Aeropalinología de Santiago del Estero. *Asociación Paleontológica Argentina* No 2: 59-62.
- GARCÍA, M. E., 1993. Aeropalinología de Santiago del Estero II. *Archivos Argentinos de Alergia e Inmunología Clínica* 24: 76-78.
- GARCÍA, M. E. 2006. Lluvia polínica en Selvas Montanas de la provincia de Tucumán (Argentina). *Rev. Mus. Argentino Cienc. Nat.* 8: 159-164 [Online]. Disponible en: <http://revista.macn.gov.ar/ojs/index.php/RevMus/article/viewFile/315/299>
- GARCÍA, M. E., 2010. Aeropalinología de la ciudad de Yerba Buena, provincia de Tucumán, Argentina. *Acta Bot. Malacit.* 35: 95-111[Online]. Disponible en: [https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/4330/35\\_Garcia.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/4330/35_Garcia.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- GASSMANN, M. I. & C. F. PÉREZ. 2006. Trajectories associated to regional and extra-regional pollen transport in the southeast of Buenos Aires province, Mar del Plata (Argentina). *Int. J. Biometeorol.* 50: 280–291. <https://doi.org/10.1007/s00484-005-0021-8>
- HEUSSER, C. J. 1971. *Pollen and spores of Chile*. Univ. Arizona Press, Tucson.
- HIRST, J. M. 1952. An automatic volumetric spore trap. *Ann. Appl. Biol.* 39: 259-265. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1952.tb00904.x>
- JANSON, C., J. ANTO, P. BURNEY, *et al.* 2001. European community respiratory health survey: what are the main results so far?. European Community Respiratory Health Survey II. *Eur. Respir. J.* 18: 598-611.
- JELKS, M. L. 2001. *Allergy pollen key with images*. Sarasota (FL). ML Jelks.
- KÄPYLÄ, M. & A. PENTTINEN. 1981. An evaluation of the microscopical counting methods of the tape in Hirst-Burkard pollen and spore trap. *Grana* 20: 131-141. <https://doi.org/10.1080/00173138109427653>
- KAUFMAN, H. S. 1990. *Parietaria* an unrecognized cause of respiratory allergy in the United States. *Ann. Allergy* 64: 293–296.
- KOTTEK, M., J. GRIESER, CH. BECK, B. RUDOLF & F. RUBEL. 2006. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol. Z.* 15: 259-263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- 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. <https://doi.org/10.1007/s10453-009-9134-6>
- LATORRE, F. & M. A. CACCAVARI. 2010. Diversidad polínica en el aire de Diamante (Entre Ríos, Argentina). *Scient. Interfluv.* 1: 7-17.
- LATORRE, F. & C. F. PÉREZ. 1997. One year of airborne pollen sampling in Mar del Plata (Argentina). *Grana* 36: 49-53. <https://doi.org/10.1080/00173139709362590>
- LATORRE, F., E. J. ROMERO & V. MANCINI. 2008. Comparative study of different methods for capturing airborne pollen, and effects of vegetation and meteorological variables. *Aerobiologia* 24: 107-120. <https://doi.org/10.1007/s10453-008-9090-6>
- LATORRE, F. & A. A. SÁNCHEZ. 2011. Flora alergógena urbana y polen atmosférico de Diamante (Argentina). *Arch. argent. alerg. inmunol. Clín.* 42: 15-23.
- LEWIS, J. P. & M. B. COLLANTES. 1973. El Espinal Periestépico. *Cienc. Invest.* 29: 360-377.
- LORENZONI-CHIESURA, F., M. GIORATO & G. MARCER. 2000. Allergy to pollen of urban cultivated plants. Short communication. *Aerobiologia* 16: 313-316.
- MAJAS, F. D., M. NOETINGER & E. J. ROMERO, 1992. Airborne pollen and spores monitoring in Buenos Aires city: A preliminary report. Part I: Trees and shrubs. (AP). *Aerobiology* 8: 285-296.
- MARKGRAF, V. & H. L. D'ANTONI. 1978. *Pollen flora of Argentina. Modern spore and pollen types of Pteridophyta, Gymnospermae and Angiospermae*. The Univ. Arizona Press, Tucson, AZ.
- MICHEAL, S., A. WANGORSCH, S. WOLFHEIMER, K. FOETISCH, K. MINHAS, S. SCHEURER & A. AHMED. 2013. Immunoglobulin E Reactivity and Allergenic Potency of *Morus papyrifera* (Paper Mulberry) Pollen. *J. Investig. Allergol. Clin. Immunol.* 23: 168-175.
- NARDI, G., A. CANZIANI, P. STRIANI, C. COCCIA, L. SEGHETTI & R. KRANIC. 1996. Cupressaceae pollen in the atmosphere of Ascoli Piceno (Central Italy) and sensitization of allergic subjects. *Aerobiologia* 12: 269- 271.

- NITIU, D. S. & A. C. MALLO. 2002. Incidence of allergenic pollen of *Acer* spp., *Fraxinus* spp. and *Platanus* spp. in the city of La Plata, Argentina: preliminary results. *Aerobiologia* 18: 65-71. Disponible en: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1023%2FA%3A1014957628672.pdf>
- NITIU, D. S. & A. C. MALLO. 2012. Variación interanual de la diversidad y contenido polínico en la atmósfera de la ciudad de Buenos Aires. Actas del 7<sup>mo</sup> Congreso de Medio Ambiente. La Plata. 12 pp. Disponible en: <https://digital.cic.gba.gob.ar/handle/11746/3275>
- NITIU, D. S., A. C. MALLO, I. MEDINA & C. PARISI. 2019. Atlas de pólenes alergénicos de Buenos Aires, Argentina. *Arch. argent. alerg. inmunol. Clín.* 50: 67-88.
- NITIU, D. S., A. C. MALLO & E. J. ROMERO. 2003. Quantitative aeropalynology in the atmosphere of Buenos Aires city, Argentina. *Aerobiologia* 19: 1-10.
- NITIU, D. S. & E. J. ROMERO. 2001. Contenido polínico en la atmósfera de la ciudad de La Plata. *Polen* 11: 79-85.
- NOETINGER, M. 1993. Tres años de monitoreo de la lluvia polínica en la ciudad de Buenos Aires. *Archivos Argentinos de Alergia e Inmunología Clínica* 24: 2-14.
- NOETINGER, M., E. J. ROMERO & F. D. MAJAS. 1994. Airborne pollen and spores monitoring in Buenos Aires city: A preliminary report Part II. Herb, weeks (NAP) and spores. General discussion. *Aerobiologia* 10: 129-139.
- OLABUENAGA, S., M. M. BIANCHI, M. VACCHINO, C. C. OZORES & B. FAINSTEIN. 2007. Polen y polinosis en San Carlos de Bariloche. *Desde la Patagonia: difundiendo saberes* 4: 42 - 47.
- OYARZABAL, M., J. CLAVIJO, L. OAKLEY, F. BIGAZOLI, P. TOGNETTI, I. BARBERIS, H. M. MATURO, R. ARAGÓN, P. I. CAMPANELLO, D. PRADO, M. OESTERHELD & R. J. C. LEÓN. 2018. Unidades de vegetación de la Argentina. *Ecol. Aust.* 28: 40- 63. <https://doi.org/10.25260/EA.18.28.1.0.399>
- PAWANKAR, R., S. T. HOLGATE, G. W. CANONICA & R. F. LOCKEY (eds.). 2011. *World Asthma Organization, White Book on Allergy*. World Asthma Organization, Milwaukee, USA [Online]. Disponible en: [https://www.worldallergy.org/UserFiles/file/WAO-White-Book-on-Allergy\\_web.pdf](https://www.worldallergy.org/UserFiles/file/WAO-White-Book-on-Allergy_web.pdf)
- PENDINO, P., C. AGÜERO, P. CAVAGNERO, K. LÓPEZ, I. KRIUNIS & J. MOLINAS. 2013. Prevalencia de sensibilización alérgica a pólenes anemófilos en una población pediátrica de Granadero Baigorria, Argentina. *Arch. Argent. Alerg. Inmunol. Clín.* 44: 85-89,
- PÉREZ, C. F., M. I. GASSMANN, N. TONTI & L. CURTO. 2019. Panorama sobre la producción, el transporte y depósito de aerosoles de origen biológico. *Meteorologica* 45: 1-24.
- PÉREZ, C.F., F. LATORRE, N. TONTI, M. I. GASSMANN & A. G. ULKE. 2011. Trazadores aerobiológicos del Bosque Montano de Yungas en la Atmósfera de la Ciudad de Diamante (Entre Ríos). XXXIII Jornadas Argentinas de Botánica. Posadas, Misiones. Resúmenes: *Bol. Soc. Argent. Bot.* 46 (Supl.) pp 261.
- PÉREZ, C. F. & M. M. PAEZ. 1998. Seasonal airborne pollen pattern in Mar del Plata city, Argentina. *Aerobiologia* 14: 383-389.
- PIRE, S. M., L. M. ANZÓTEGUI & G. A. CUADRADO (Eds.). 1998. *Flora polínica del Nordeste Argentino. Volumen I*. EUDENE-UNNE. Corrientes.
- PIRE, S. M., L. M. ANZÓTEGUI & G. A. CUADRADO (Eds.). 2001. *Flora polínica del Nordeste Argentino. Volumen II*. EUDENE-UNNE. Corrientes.
- RAMÓN, G. D., F. M. RAMÓN, M. G. MURRAY, M. I. SONAGLIONI, C. B. VILLAMIL & S. A. APPHAITE. 2000. Polinosis por árboles en la ciudad de Bahía Blanca. *Archivos Argentinos de Alergia e Inmunología Clínica* 31 (Supl.1): S45.
- RAMÓN, G. D., M. G. MUURAY, M. I. SONAGLIONI, C. B. VILLAMIL & F. M. RAMÓN. 2001. Relevamiento de pólenes aéreos en época de polinosis en la ciudad de Bahía Blanca. *Archivos de Alergia e Inmunología Clínica* 32 (Supl.2): S66.
- ROMERO, E., F. D. MAJAS & M. NOETINGER. 1992. Polen aéreo en la ciudad de Buenos Aires. *Archivos Argentinos de Alergia e Inmunología Clínica* 23: 4-14.
- SAHNEY, M. & S. CHAURASIA. 2008. Seasonal variations of airborne pollen in Allahabad, India. *Ann Agric Environ Med* 15: 287-293.
- SEDGHY, F., A. R. VARASTEH, M. SANKIAN & M. MOGHADAM. 2018. Interaction Between Air Pollutants and Pollen Grains: The Role on the Rising Trend in Allergy. Review article. *Rep. Biochem. Mol. Biol.* 6: 219-224.
- SPIEKSMAN, F. Th. M., J. M. CORDEN, M. DETANDT, W. M. MILLINGTON, H. NIKKELS, N. NOLARD, C. H. H. SCHOENMAKERS, R. WACHTER, L.A. de WEGER, R. WILLEMS & J. EMBERLIN. 2003. Quantitative trends in annual totals of five common

C. F. Pérez *et al.* - Polen atmosférico en la ciudad de Sunchales

- airborne pollen types (*Betula*, *Quercus*, Poaceae, *Urtica*, and *Artemisia*), at five pollen-monitoring stations in western Europe. *Aerobiologia* 19: 171-184.
- STRASS, M. D., L. R. ARDUSSO & C. D. CRISCI. 2012. Prevalencia de sensibilidad aeroalergenos en pacientes con rinitis y/o asma en el sur de Misiones y noreste de Corrientes, Argentina. *Arch. argent. alerg. inmunol. Clin.* 33: 47-52.
- WU, P.-C., H.-J. SU, S.-C. C. LUNG, M.-J. CHEN & W.-P. LIN. 2019. Pollen of *Broussonetia papyrifera*: An emerging aeroallergen associated with allergic illness in Taiwan. *Sci. Total Environ.* 657: 804-810. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.324>

