



**Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas, opción Botánica**

**AEROBIOLOGÍA DE MONTEVIDEO: ANÁLISIS  
ESPACIAL Y TEMPORAL DEL POLEN  
AEROTRANSPORTADO**

**Lic. (MSc) Leticia Tejera**  
**Orientadora: Dra. Jane Bunting**  
**Co-orientadora: Dra. Ángeles Beri**

## **TRIBUNAL**

Presidente: Dra. Lina Betucci (Facultad de Ciencias, Udelar)

Vocales: Dra. Gabriela Murray (Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina)

Dr. Mauricio Bonifacino (Facultad de Ciencias y Facultad de Agronomía, Udelar)

## AGRADECIMIENTOS

A PEDECIBA y Facultad de Ciencias por el apoyo institucional.

A ANII (POS\_NAC\_2010\_1\_2291; FCE\_2\_2011\_1\_6460 "Análisis del polen y esporas de hongos en la atmósfera de Montevideo") y CSIC (CSIC I+D "Aeropalínología de la ciudad de Montevideo"; Iniciación a la Investigación - Modalidad 1 – 2014) por el apoyo económico.

Al Instituto Nacional de Meteorología de Uruguay, a la División de Medio Ambiente de ANCAP y a la Facultad de Agronomía por proveer los datos meteorológicos de las estaciones de Aeropuerto de Carrasco, LaTeja y Facultad de Agronomía, respectivamente.

A la Dirección Nacional de Museos (MEC) y la Facultad de Agronomía por permitir la instalación de los muestreadores en Ciudad Vieja y Sayago.

A la Dirección Arbolado y Espacios públicos de la IMM por facilitar datos sobre el arbolado público de la ciudad.

A los miembros del tribunal, Dra. Lina Betucci, Dra. Gabriela Murray y Dr. Mauricio Bonifacino por su tiempo y las correcciones que contribuyeron a mejorar esta tesis.

A mis orientadoras Ángeles Beri por su apoyo y estímulo constantes a lo largo de este camino que se hizo un poco largo. To Jane Bunting for her encouragement and guidance during the whole process, especially on bringing me confidence on the "unconventional" approach in aerobiology to relate pollen and vegetation.

A Ángeles y Richard por el apoyo durante el desarrollo de esta tesis.

A Alberto Pérez por el montaje de los nuevos equipos.

A Danila Balbi y Martín Bollazzi por cambiar muchas de las varillas en Facultad de Agronomía y Ciudad Vieja.

A Cecilia Fernández, por el apoyo y aliento en la etapa final de esta tesis, sin el cual terminar no habría sido posible.

A las compañeras de oro de la UDEPI, Leticia y Mare, por su apoyo en las etapas finales de la tesis.

A los compañeros de andanzas de posgrado: Xime por las tardes al micro, los recambios de varillas y las charlas a lo largo de estos años. Los "gurises" del 12, Seba, Santiago (que también cambió varillas), Luciano y Mariana, por los buenos ratos compartidos. A todos gracias por el "aguante" y la amistad.

A Sebastián Tambusso y Luciano Varela por los primeros destrabes en el uso de R.

A mi madre y Halía por los fines de semana con Araí.

Sobre todo gracias a mi familia, Araí, Chiara, Lina y Martín, por la paciencia y el enorme apoyo para desarrollar y terminar este doctorado, gracias!!

## ÍNDICE GENERAL

Resumen.....	vii
Abreviaturas.....	ix
<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUCCIÓN y ANTECEDENTES</b> .....	<b>1</b>
Aplicaciones de la aerobiología.....	5
Estación Polínica Principal.....	6
Categorías polínicas - Umbrales de concentración.....	7
Heterogeneidad espacial del polen aerotransportado e identificación de fuentes del polen aéreo.....	8
Antecedentes y Justificación.....	10
Objetivo general y organización de la tesis.....	11
<b>CAPÍTULO 2- MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1 MUESTREO DE POLEN</b> .....	<b>13</b>
Colecta de granos de polen.....	13
Períodos y sitios de colecta de polen.....	14
Análisis cuantitativo y cualitativo de los granos de polen.....	15
Tipos polínicos seleccionados.....	16
Estación polínica principal.....	16
Umbrales de concentración.....	17
Datos meteorológicos.....	18
<b>2.2 HETEROGENEIDAD ESPACIAL DEL POLEN AEROTRANSPORTADO</b> .....	<b>18</b>
Polen.....	18
Análisis de la vegetación.....	18
<b>2.3 RELACIÓN POLEN – VEGETACIÓN</b> .....	<b>21</b>
<b>2.4 ANÁLISIS DE DATOS</b> .....	<b>23</b>
Patrones anuales, diferencias espaciales y temporales.....	23
Polen – variables meteorológicas.....	23
Software utilizado.....	25
<b>CAPÍTULO 3- POLEN AÉREO EN MALVÍN NORTE: CARACTERÍSTICAS GENERALES Y TAXONES PRINCIPALES</b>	
Organización del Capítulo 3.....	27
<b>CAPÍTULO 3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL POLEN AÉREO EN MALVÍN NORTE</b> .....	<b>28</b>
<b>CAPÍTULO 3.2 – POACEAE</b> .....	<b>48</b>
<b>RESULTADOS</b> .....	<b>49</b>
Estación polínica principal.....	51
Umbrales polínicos.....	52
Relación con condiciones meteorológicas.....	53
Modelo de pronóstico de las concentraciones de polen.....	56
<b>DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b> .....	<b>58</b>

<b>CAPÍTULO 3.3.- PLATANUS</b> .....	63
RESULTADOS.....	64
Estación polínica principal.....	65
Umbrales polínicos.....	66
Relación con condiciones meteorológicas.....	67
Modelo de pronóstico de las concentraciones de polen.....	69
DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	70
<b>CAPÍTULO 3.4. - ACANTHOSTYLES- RAULINOREITZIA</b>	
RESULTADOS.....	76
Identificación de las especies que contribuyen al polen de <i>Acanthostyles- Raulinoreitzia</i> .....	76
Resultados del muestreo aeropalínológico.....	78
Estación polínica principal.....	79
Umbrales polínicos.....	82
Relación con condiciones meteorológicas.....	82
Modelos de pronóstico de las concentraciones de polen.....	85
DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	
Anemofilia en <i>Acanthostyles y Raulinoreitzia</i> .....	86
<i>Acanthostyles- Raulinoreitzia</i> en el aire de Montevideo.....	87
<b>CAPÍTULO 4. HETEROGENEIDAD ESPACIAL DE LA NUBE POLÍNICA EN LA CIUDAD DE MONTEVIDEO: ¿ES UN SOLO PUNTO REPRESENTATIVO PARA TODA LA CIUDAD?</b> ...	92
Objetivo general.....	93
RESULTADOS	
Heterogeneidad espacial de las concentraciones de polen atmosférico.....	94
Distribución de polen	
Malvín Norte – Ciudad Vieja.....	96
Malvín Norte – Sayago.....	97
Meteorología	
Ciudad Vieja – Malvín Norte.....	99
Malvín Norte – Sayago.....	103
Vegetación.....	104
DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	109
<b>CAPÍTULO 5. ÁREAS FUENTE POTENCIALES DEL POLEN DE GRAMÍNEAS EN MONTEVIDEO</b>	
Objetivo.....	116
RESULTADOS.....	117
DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	119
<b>CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES GENERALES</b> .....	123
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	126

<b>ANEXO 1</b> – Análisis correspondientes al Capítulo 3: POLEN AÉREO EN MALVÍN NORTE: CARACTERÍSTICAS GENERALES Y TAXONES PRINCIPALES.....	140
<b>ANEXO 2</b> - Análisis correspondientes al Capítulo 4: HETEROGENEIDAD ESPACIAL DE LA NUBE POLÍNICA EN LA CIUDAD DE MONTEVIDEO: ¿ES UN SOLO PUNTO REPRESENTATIVO PARA TODA LA CIUDAD?.....	141
<b>ANEXO 3</b> - Análisis correspondientes al Capítulo 5: ÁREAS FUENTE POTENCIALES DEL POLEN DE GRAMÍNEAS EN MONTEVIDEO.....	143

## RESUMEN

La disciplina denominada Aeropalinología tiene como objetivo investigar el contenido de las partículas de origen biológico, mayoritariamente granos de polen y esporas de hongos, en la atmósfera y la relación con los factores que condicionan su producción y transporte.

Los objetivos generales de esta tesis fueron analizar el comportamiento temporal del polen aerotransportado en la ciudad de Montevideo, examinar la influencia de las condiciones meteorológicas sobre las concentraciones de polen, evaluar la predictibilidad de las concentraciones de polen e identificar las posibles áreas fuente de polen. Además se evaluó la heterogeneidad espacial y su relación con la vegetación y las variables atmosféricas en tres zonas de Montevideo.

Para cumplir con estos objetivos se realizó el muestreo diario de polen aéreo en tres puntos ubicados en Malvín Norte (MN), Ciudad Vieja (CV) y Sayago (Say), durante cuatro años en MN y un año calendario en CV y Say. En cuanto a la vegetación, se determinó la cobertura de áreas productoras potenciales de Poaceae y la abundancia de árboles de los taxones más importantes a dos escalas, en círculos concéntricos de 500 metros de ancho hasta un radio de 2,5 km y en círculos concéntricos de 5 km de ancho hasta un radio de 25 km.

Durante este estudio se contaron más de 280.000 granos de polen que fueron clasificados en 97 tipos polínicos y corresponden a 54 taxones arbóreos o arbustivos y a 43 herbáceos. Quince tipos polínicos pueden considerarse como relevantes para Montevideo, representan el 88,6% del total y alcanzan concentraciones altas. Este trabajo analiza en mayor profundidad a Poaceae, *Platanus* y *Acanthostyles- Raulinoreitzia* que representan en promedio el 68% del polen total registrado. Para estos taxones: se definió el procedimiento para establecer la estación polínica principal (EPP), se determinaron los principales parámetros de la EPP, los umbrales de concentración específicos para Montevideo, se evaluó la influencia de las condiciones meteorológicas sobre las concentraciones de polen y se evaluaron modelos predictivos de las concentraciones polínicas. En este sentido, los resultados indican que las precipitaciones tendrían un efecto instantáneo en la concentración de polen. Las concentraciones de polen se reducen hasta en un 30% el día que ocurren las lluvias y se mantienen relativamente bajas durante 48 y 72 horas para el caso del polen herbáceo y arbóreo, respectivamente. La temperatura media del aire influye mayor o menor grado en la concentración de polen, pero en general favorece el mantenimiento de las concentraciones altas al propiciar la liberación y la re

suspensión del polen. La velocidad del viento mostró correlaciones positivas o negativas

vii

dependiendo de los rangos de velocidad, siendo los vientos suaves-moderados los que favorecerían la dispersión y transporte de polen desde sus áreas fuente.

La especial representación de Poaceae, más del 35% del polen total y su reconocida alergenicidad, motivaron un estudio en mayor profundidad de este taxón, en particular la determinación de las posibles áreas fuente de polen. Los mapas de vegetación generados y los análisis de la influencia de los vientos permitieron identificar las posibles áreas productoras de polen de Poaceae y sugieren que la vegetación regional estaría determinando la dominancia de Poaceae en la nube polínica de Montevideo, mientras que la vegetación local influiría en los InA (integral anual o polen total anual) para este taxón en diferentes zonas de la ciudad.

En términos generales, las diferencias encontradas entre los puntos de muestreo evidencian que la nube de polen atmosférico es heterogénea en Montevideo. Estas diferencias, en relación a los InA, los picos de concentración y los parámetros de la EPP, serían explicadas parcialmente por las diferencias en la vegetación cercana al muestreador y en el área local de cada sitio de estudio. En este sentido, la extrapolación de los registros aeropalinológicos obtenidos en un solo punto debe ser realizada con recaudo, por ejemplo, para la prevención y manejo de polinosis en la población sensible.

Las altas concentraciones alcanzadas por taxones considerados alérgicos señala la importancia de este tipo de estudios y la necesidad de un abordaje interdisciplinario al tema de la polinosis en Uruguay.

**Palabras clave:** polen, aerobiología, umbrales de concentración polínica, integral anual, dispersión, Poaceae, *Platanus*, *Acanthostyles*- *Raulinoreitzia*, estación polínica principal, meteorología, heterogeneidad espacial.

## Abreviaturas

AAAAI	American Academy of Allergy, Asthma and Immunology
EPP	Estación polínica principal
IAP	Integral anual de polen (sumatoria de las concentraciones diarias de polen).
REA	Red Española de Aerobiología
Tmx	temperatura máxima
Tmn	temperatura mínima
Tmd	temperatura media
hr	humedad relativa del aire
dv	dirección del viento
vv	velocidad del viento
pp	precipitaciones
pp-1	precipitaciones del día anterior
pp-2	precipitaciones de dos días anteriores

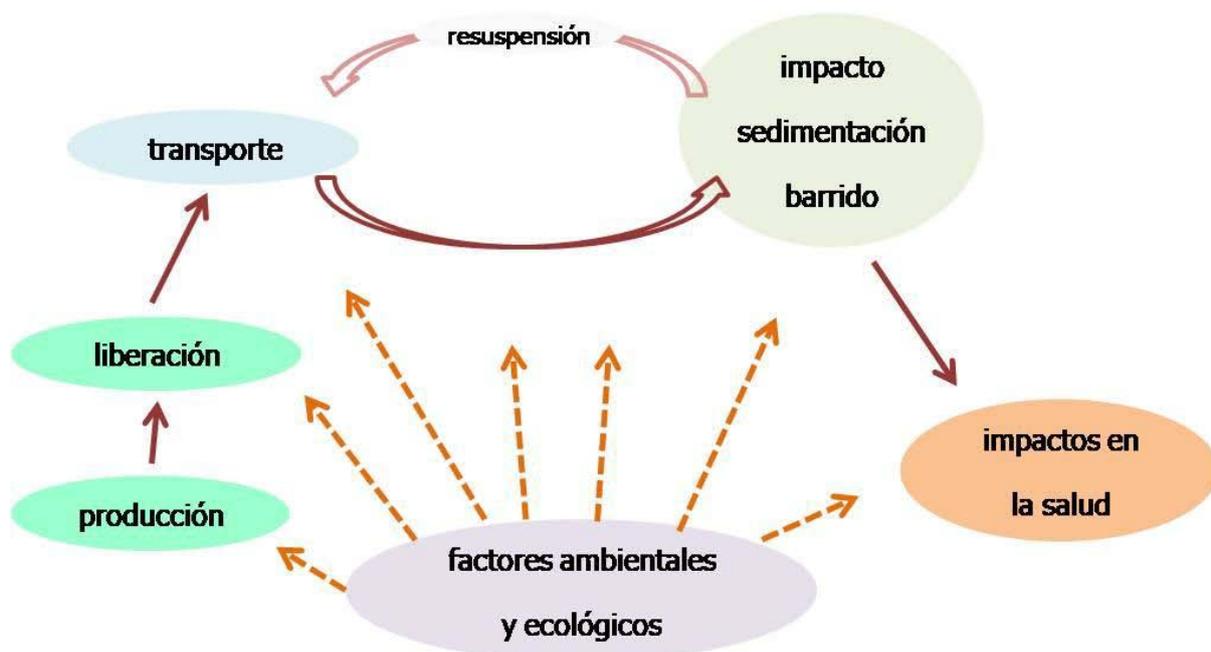
## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUCCIÓN y ANTECEDENTES**

## INTRODUCCIÓN

La aerobiología es la disciplina que investiga los organismos y partículas de origen biológico que se transportan de forma pasiva en la atmósfera y su relación con los factores que condicionan su producción y transporte (Pathirane 1975, Emberlin 1999). Este término comenzó a utilizarse en los años 30 por Fred Campbell Meier para referirse a los estudios realizados sobre esporas de hongos, granos de polen y bacterias presentes en la atmósfera (Gregory 1973), siendo los granos de polen y esporas de hongos las partículas más importantes por su abundancia y capacidad alergénica (Dahl *et al.* 2012).

El proceso aerobiológico (Figura 1. 1) incluye una serie de etapas fundamentales que son producción, liberación, dispersión o transporte, depósito (que puede ocurrir por impacto, sedimentación o barrido) y resuspensión (Deacon 2006; Edmonds 1979). Cada una de las cuales es influenciada por factores ecológicos (biológicos) y ambientales (climáticos y meteorológicos) que regulan e influyen sobre la composición del polen aerovagante.



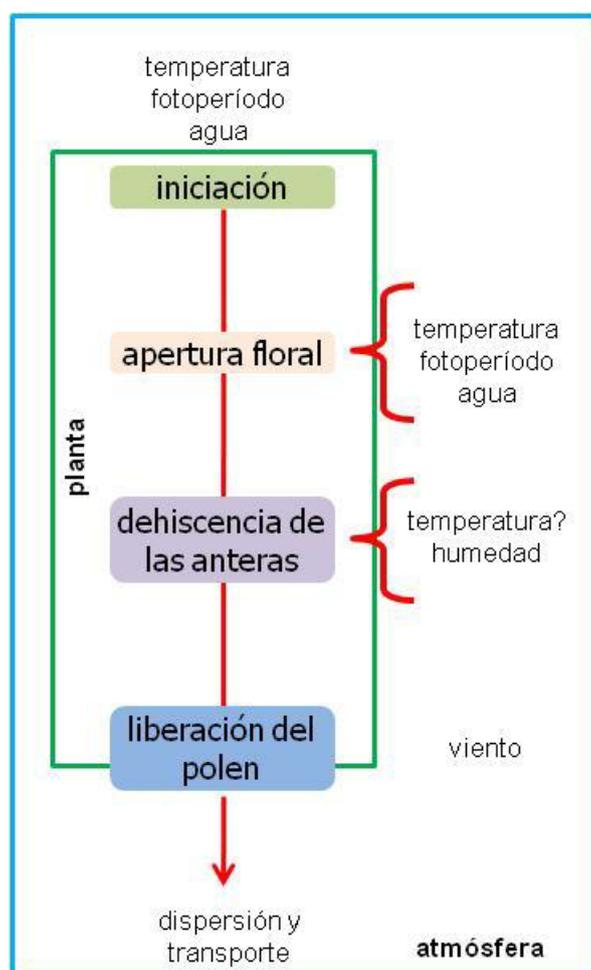
**Figura 1. 1.** Etapas del proceso aerobiológico. Modificado de Sofiev *et al.* (2012).

La **producción de polen** en las especies anemófilas, plantas cuyo polinizador es el aire, es mayor que en las entomófilas debido a la poca especificidad del vector (Birks & Birks 1980, Dafni 1992, Faegri & Iversen 1989). Por ejemplo, el número de granos de polen producido por algunas herbáceas puede ser de 57.000 granos por flor como en *Rumex*, mientras que en algunos árboles como *Pinus sylvestris* y *Olea europaea* producen 160.000 y 200.000 granos de polen por flor respectivamente (Tormo Molina *et al.* 2009). Por otra parte,

características tales como número de anteras por flor, número de flores y el tamaño de las plantas determinan el potencial de producción de polen (Subba Reddi & Reddi 1986). Estas características tienen como consecuencia que los granos de polen de plantas anemófilas sean los dominantes en el espectro polínico atmosférico. Si bien la genética de cada planta regula en primera instancia la producción de polen por antera, la producción real por planta puede variar debido a factores ambientales previos a la polinización como el fotoperíodo, la temperatura y las precipitaciones (Driesen et al 1989). Estos factores ambientales influyen a varios niveles desde la inducción a la floración y producción de polen hasta la apertura de las anteras (Figura 1.2).

La **liberación** es el proceso, que puede ocurrir de forma pasiva o activa, por el cual los granos de polen pasan de la fuente productora a la atmósfera (Birks & Birks 1980, Deacon 2006). Variables meteorológicas como la temperatura, la radiación solar y la humedad relativa regulan la dehiscencia de las anteras en algunas especies (Liem 1980). Por otra parte, los ritmos circadianos provocan una serie de cambios en las plantas en respuesta al fotoperíodo, entre los que se encuentra la liberación de los granos de polen a diferentes horas del día (Rantio-Lehtimäki et al. 1991, Berggren et al. 1995, Latalowa et al. 2007). Luego de liberados, los granos de polen pasan a capas turbulentas de la atmósfera, incorporándose a masas de aire donde quedan sujetos a variaciones de temperatura, precipitaciones, vientos y turbulencias (Deacon 2006). Se estima que las tres cuartas partes del polen emitido son incorporadas a la atmósfera en días de viento (Edmonds 1979). La **dispersión** polínica depende también de factores biológicos como la cantidad de polen producido y la altura a la cual es liberado por la planta, así como la forma, el tamaño y el peso específico del grano de polen (Birks & Birks 1980). Sin embargo, el transporte y dispersión de los granos de polen están fuertemente relacionado a factores meteorológicos que determinan por ejemplo la distancia a la cual serán transportados. En el transporte del polen se reconocen dos direcciones, en la vertical por corrientes de convección, turbulencias atmosféricas y vientos; y en dirección horizontal fundamentalmente por el viento (Gregory 1973). La mayor parte del polen es transportado a distancias relativamente cortas y se deposita en las proximidades de las plantas productoras (Bricchi et al 2000; Hernández Ceballos et al. 2014), aunque existe también transporte de larga distancia (Pérez 2009, Siljamo et al. 2008, Williams 2010). Por ejemplo, los granos de polen de algunas especies son transportados a corta distancia, asociado al gran tamaño de los granos de polen, por ejemplo en el caso de *Juglans regia* (Potter & Rowley 1960). Por otra parte, granos de polen grandes como el de *Nothofagus*, pueden ser transportados más de 1000 km desde bosques subantárticos y son registrados en Montevideo (Tejera & Beri 2005) y la Provincia de Buenos Aires (Gassman & Pérez 2006). En este caso el transporte de larga distancia estaría favorecido por la morfología del grano de polen, así como por su

incorporación a capas altas de la atmósfera. Mientras que otras especies que poseen granos de polen pequeños, como el caso de *Platanus* son transportados a distancias menores a 1 km (Bricchi *et al.* 2000). Con respecto a la escala de dispersión, Prentice (1985) definió la escala local hasta 20 m del punto de muestreo, hasta 2 km como extra-local, de 2 a 200 km como regional y más allá de los 200 km como extraregional. Por su parte Seinfeld y Pandis (2006) definen las escalas a las que ocurren los procesos atmosféricos considerando la microescala a aquella que ocurre a pocos metros de la planta, la escala local hasta 1 kilómetro, la escala regional o meso hasta 100 km (donde ocurre gran parte de la dispersión y remoción del polen) y la escala sinóptica o continental donde ocurriría el transporte del polen a largas distancias.



**Figura 1. 2.** Esquema de los procesos involucrados en la liberación del polen y los factores ambientales con mayor influencia en cada paso. Modificado de Cresti & Linskens (2000).

La etapa de transporte terminaría de forma exitosa con la llegada del grano de polen al estigma de una flor de su propia especie, de esta forma cumpliría con su función biológica y se produciría la fecundación, sin embargo sólo una pequeña fracción llega al estigma. La

remoción de los granos de polen presentes en la atmósfera puede ocurrir por **sedimentación** gravitacional, por **impacto** en diferentes superficies o por **barrido** durante las lluvias, ya sea dentro de núcleos de condensación, o al ser arrastrados por las gotas de lluvia (Deacon 2006, Oke 1991). Por otra parte, después de que los granos y esporas sedimentan, pueden ser removidos de diferentes superficies y reincorporarse a la atmósfera por **resuspensión**, proceso que es favorecido por las altas temperaturas, el viento y en ambientes urbanos por las turbulencias provocadas por el tráfico (Gagnon & Comtois 1989). En resumen, la presencia de los granos de polen en la atmósfera depende no sólo de las características de la vegetación fuente y de las condiciones meteorológicas al momento de la liberación del polen, sino también de las condiciones previas a éstos procesos, durante el desarrollo vegetativo de las plantas, y las que ocurren durante la dispersión y transporte del polen.

### **Aplicaciones de la aerobiología**

En los estudios aerobiológicos se realiza el análisis de la presencia y variación de los granos de polen y esporas de hongos en el aire, así como al influencia de las variables meteorológicas para establecer modelos predictivos de la presencia de estas partículas en el aire. Este tipo de trabajos tiene aplicaciones en diversas áreas, por ejemplo en el campo de la agricultura, donde es posible utilizar las concentraciones de polen para predecir el volumen de las cosechas (González Minero & Candau 1995; González Minero *et al.* 1998; Ribeiro, Cunha, & Abreu, 2007; García-Mozo, 2011), en el estudio del cambio climático donde se observan tendencias hacia el adelanto en el comienzo de la floración y el aumento de los picos polínicos en respuesta al calentamiento global (Frei & Gassner 2007, Jäger 2002, Newnham 1999). Sin embargo, la aplicación más difundida y de mayor desarrollo está relacionada con las alergias. Las afecciones tales como asma, rinosinusitis y conjuntivitis alérgica, que afectan a más del 25% de la población mundial (Bousquet *et al.* 2001, Brozek *et al.* 2017), repercuten notablemente en la calidad de vida de los individuos sensibles y de su entorno y generan un impacto negativo en el bienestar socio-económico de la población (Pawankar *et al.* 2011). Los granos de polen y esporas de hongos son algunos de los alérgenos más comunes. Estas partículas frecuentemente entran en contacto con los ojos y con la superficie de la tráquea y de los bronquios. Este contacto provoca la liberación de una o varias proteínas (alergénicas) por parte del grano de polen que puede desencadenar una respuesta inmunológica de Tipo I (Munuera *et al.* 2001). La capacidad de desencadenar síntomas de alergias luego de la exposición al polen depende de varios factores como la especie o familia a la que pertenece el taxón, la concentración en el aire, la duración del período de polinización, así como la presencia de determinados antígenos en

los granos de polen (Pomes *et al.* 2002; Traidl-Hoffmann *et al.* 2009). Otros factores incluyen el tiempo de exposición, materia particulada presente en el ambiente y condiciones meteorológicas (Tosca *et al.* 2014). A nivel mundial existen numerosos programas de monitoreo aeropalinológico para identificar los granos de polen y esporas de hongos alergénicos. La información acerca de la composición y concentración de estas partículas en determinada región y momento del año, así como la posibilidad de predecir su tendencia en los días siguientes, resulta esencial para el diagnóstico y prevención de este tipo de alergias, ya que contribuye a la planificación de estudios clínicos y posibilita un tratamiento profiláctico óptimo (D'Amato *et al.* 1991; Gentile *et al.* 2013; Chini *et al.* 2014). De esta forma se mejora no sólo la calidad de vida de los individuos sensibles, sino también disminuyen los costos directos (sistema de salud, medicamentos) e indirectos (disminución de la productividad, ausentismo laboral y escolar) que ocurren durante el transcurso de la alergia. Además posibilita la planificación de áreas verdes urbanas de manera de minimizar el impacto en la población sensible (Cariñanos & Casares-Porcel 2011). A nivel mundial existen numerosos programas de monitoreo aeropalinológico para identificar los granos de polen y esporas de hongos alergénicos.

Para ello es necesario recabar datos durante varios años que permitan analizar el comportamiento del polen aerovagante y evaluar la relación entre las concentraciones polínicas y las variables atmosféricas.

### **Estación Polínica Principal**

La concentración de polen en el aire se corresponde en términos generales con la floración de las plantas de la zona, sin embargo otros factores que influyen en la dispersión del polen producen que la relación no sea exacta. En aerobiología se denomina estación polínica principal (EPP) al período en el cual los granos de polen se registran en concentraciones significativas en la atmósfera (Galán *et al.* 2017; Sofiev *et al.* 2012). Definir este período es crucial para analizar la influencia de diferentes factores sobre las concentración de polen en aire. Existen numerosos criterios para determinar este período para diferentes tipos polínicos, pero se pueden agrupar en dos grandes grupos, los criterios basados en un porcentaje determinado del integral anual o estacional de polen (Nilsson and Persson 1981; Andersen 1991; Galán *et al.*, 1995; Spieksma *et al.* 1995) y los criterios basados en un determinado umbral de concentración (Giorato *et al.*, 2000; Clot, 2001; Sánchez-Mesa *et al.*, 2003). En el primer grupo, se realiza el porcentaje acumulado del polen diario y se establece, por ejemplo, la fecha de inicio y finalización los días que se alcanza el 5% y 95% de porcentaje acumulado, respectivamente. La diferencia fundamental entre estos dos grupos es que la determinación de la EPP mediante porcentajes es retrospectiva, es posible

determinar el inicio y fin cuando se tienen todos los datos al final de la misma. Mientras que con los criterios de concentración es posible establecer el inicio y fin de la EPP en “tiempo real”.

Por otra parte, para la selección de un criterio para establecer la EPP de un taxa se deben considerar los factores que influyen en la presencia de polen en el aire como las especies que contribuyen al polen de este taxon, las condiciones meteorológicas locales durante la EPP y los integrales anuales de polen, entre otros (Jato *et al.*, 2006). De esta forma, en términos generales se utilizan los criterios más amplios (que comprende el 90% del total de polen registrado) para tipos polínicos de floración prolongada o que comprenden muchas especies. Mientras que se emplean criterios más restrictivos, inicio de la EPP cuando la concentración acumulada alcanza el 1%, para taxones con floración intensa y corta. Bastl y colaboradores (2018) sugieren utilizar lo criterios retrospectivos cuando los objetivos de la investigación son análisis aerobiológicos rutinarios para, por ejemplo, determinar calendarios polínicos o dinámicas estacionales. Mientras que los criterios que utilizan umbrales de concentración serían recomendados cuando los objetivos son el análisis de la EPP, el uso de información en estudios clínicos, establecer umbrales de concentración y para informar de forma rápido sobre el inicio y fin de la EPP (Bastl *et al.* 2018).

En resumen, la selección del criterio para establecer los parámetros de la EPP depende de los objetivos de la investigación y de las características de cada tipo polínico. De esta forma en un mismo proyecto de investigación podrán utilizarse criterios de uno u otro grupo, y diferentes porcentajes acumulados o concentraciones dependiendo de los taxones a estudiar.

### **Categorías polínicas - Umbrales de concentración**

Las categorías polínicas se establecen en base a distintos umbrales de concentración y permiten clasificar las concentraciones de polen de los muestreos aerobiológicos. Expresar la información en base a estas categorías facilita su interpretación por parte de la población y el personal de salud. De esta forma, se han establecido categorías polínicas para diferentes regiones como por ejemplo en España (Galán *et al.*, 2007) y Estados Unidos (AAAAI 2018). Para establecer los umbrales se tiene en cuenta que las especies sean anemófilas, InAP relativamente altos y la posible alergenicidad del grano de polen (Galán *et al.*, 2007). En algunas regiones se poseen datos clínicos que han asociado las concentraciones de polen en el aire con el desarrollo de síntomas en la población sensible, y de esta forma las categorías se han ajustado de acuerdo a que un porcentaje bajo, medio o alto de la población desarrolle síntomas (Galán *et al.* 2007).

El polen en el aire es una mezcla que varía en su composición de forma cuantitativa y cualitativa de acuerdo a las características de la vegetación, el clima, la urbanización y las condiciones meteorológicas del área. Por lo cual, diferentes poblaciones humanas son expuestas a mezclas de diferentes concentraciones y tipos de polen alergénico<sup>1</sup>.

Esto hace que sea prácticamente imposible determinar un umbral de concentración universal al cual las personas desarrollan síntomas (Cecchi 2013). Por ejemplo, los umbrales clínicos de polen (el umbral al que se manifiestan síntomas en los individuos sensibles) de *Platanus* varía en diferentes regiones de España de 50 granos de polen.m<sup>-3</sup> (Alcázar *et al.*, 2004), a 30 granos de polen.m<sup>-3</sup> (Camacho *et al.* 2008).

En Estados Unidos, los umbrales de concentración se establecieron en base a los datos de 51 estaciones de muestreo aerobiológico y de acuerdo a percentiles de las concentraciones (Burge 1992), que luego se han adaptado con datos específicos para cada zona o ciudad en particular (Kosisky *et al.* 2011)

Determinar las categorías de concentración de polen para una zona constituye una primera herramienta para estandarizar la información aerobiológica y su uso en los estudios clínicos; y el primer paso para establecer umbrales clínicos.

### **Heterogeneidad espacial del polen aerovagante e identificación de fuentes del polen aéreo**

Los datos aerobiológicos son generalmente obtenidos de estaciones localizadas en sitios representativos de la zona urbana, accesibles y despejados<sup>1</sup>. Los captadores usualmente se colocan en el centro de la ciudad y a alturas de entre 15 y 20 m para captar la señal regional del espectro palinológico y de esa forma extrapolar los resultados al resto de la ciudad. Se ha establecido que factores como la altura de muestreo, la urbanización, la vegetación local y la topografía influyen la circulación del aire y por tanto la concentración y composición de polen en el aire.

En las últimas décadas se ha incrementado la investigación entorno a estos aspectos para evaluar la relación entre la cobertura vegetal, los usos del suelo y el polen para determinar la vegetación fuente (Skjøth *et al.* 2012; Fernández-Rodríguez *et al.* 2014; Peel *et al.* 2014) y la relevancia de contar con una o más estaciones de monitoreo. Varios trabajos señalan la relevancia de la vegetación local en el espectro polínico (Emberlin & Norris-Hill, 1991; Frenz

---

<sup>1</sup> Esto es relevante dada la existencia de reactividad cruzada entre granos de polen de diferentes especies.

2000), mientras que en algunos casos la vegetación regional parecería jugar un rol importante (Gonzalo-Garijo *et al.* 2006). Algunos estudios que analizan diferentes zonas en una ciudad han encontrado diferencias cuantitativas en la concentración polínica entre diferentes zonas (Rodríguez-Rajo *et al.*, 2010), mientras que en otras ciudades estas diferencias no son significativas (Velasco-Jiménez *et al.* 2013). Otros trabajos concluyen que tanto fuentes locales como regionales influyen la composición y dinámica del espectro polínico atmosférico (Maya-Manzano *et al.*, 2017a; b). Analizando la composición del polen aéreo y la distribución de las fuentes en un área de 500 m de radio alrededor de dos puntos de muestreo, Fernández-Rodríguez y colaboradores (2014b) concluyeron que una estación de monitoreo sería representativa de un área de 3km de radio e indican la importancia de la flora local en el polen aerovagante.

Maya Manzano y colaboradores (2017) analizaron los usos del suelo en áreas de 10km de radio en tres ciudades de Extremadura, España, y relacionó el contenido de polen en función de los usos del suelo, la velocidad y dirección del viento. Esto les permitió establecer el posible origen del polen de los taxones más relevantes. Algunos trabajos indican una influencia diferencial de la vegetación local o regional dependiendo de los taxones en consideración. En el caso de las gramíneas, las fuentes locales parecerían tener una fuerte influencia en las concentraciones urbanas de polen de Poaceae (Skjøth *et al.* 2012). Más recientemente se ha iniciado el desarrollo de modelos que permitan identificar las áreas de influencia de la vegetación sobre el polen aéreo de forma más precisa, con el objetivo de determinar las fuentes potenciales y el pronóstico de índices polínicos a partir de mapas de uso del suelo (Oteros *et al.*, 2017; 2013). Si bien no es explícito en estos artículos, estos modelos presentan similitudes con los desarrollados para la reconstrucción de la vegetación a partir del registro polínico fósil (Parsons & Prentice 1981; Prentice and Parsons 1983; Prentice 1985; Sugita 1993, 1994).

En resumen, los resultados de los estudios realizados para determinar la influencia de la vegetación en el polen no son concluyentes. Esto puede ser debido en parte a que las escalas de trabajo han sido local o regionales pero muy pocos han integrado ambas escalas de estudio y en parte a que dependerían de las características locales de cada zona.

## Antecedentes y Justificación

En Uruguay, se realizó el primer estudio del polen atmosférico volumétrico en el período 2000-2001 (Tejera 2002). Por primera vez se obtuvieron datos de este tipo para nuestro país, registrándose polen todos los días del año. A partir del año 2011 se reiniciaron los muestreos aerobiológicos en Montevideo con la instalación de un muestreador Rotorod en Malvín Norte, el cual estuvo en funcionamiento hasta junio de 2015. A su vez, se realizó el monitoreo de polen durante un año en otros dos puntos de la ciudad, Ciudad Vieja y Sayago.

En la región se han desarrollado programas de monitoreo en varias ciudades de Argentina como Mar del Plata (Bianchi 1992; Latorre 1997; Latorre & Caccavari 2009; Latorre & Pérez 1997; Pérez *et al.* 2001; 2003), Buenos Aires (Noetinger *et al.* 1994; Nitiu *et al.* 2003), La Plata (Nitiu 2006; Nitiu & Mallo 2011; Mallo *et al.* 2011), Bariloche (Bianchi & Olabuenaga 2006) y Bahía Blanca (Murray *et al.* 2002; 2007; 2008; 2010; 2016). En Brasil, se cuentan los trabajos de Lorscheitter y colaboradores (1986) y Vergamini *et al.* (2006) en Caxias do Sul. Mientras que en Chile se ha establecido una red de monitoreo aerobiológica que incluye las ciudades de Talca, Valparaíso, Santiago de Chile y Temuco (Pólenes Chile 2018). El relativamente bajo número de estudios aerobiológicos de la región contrasta con el amplio rango de ecosistemas presentes en la zona subtropical – templada de América del Sur (Olson *et al.* 2001).

En Montevideo al sólo disponer de un año de muestreo, no se conoce la influencia de las condiciones meteorológicas sobre las concentraciones de polen, así como tampoco las posibles áreas fuente de los tipos polínicos más importantes.

Además, estos datos fueron recabados en un punto de muestreo, en la Facultad de Ciencias a aproximadamente 15 m de altura y por ende la representatividad de los datos para el resto de la ciudad de Montevideo no han sido considerados. Ésto es particularmente relevante para los tipos polínicos citados como alergénicos ya que su presencia y concentración podría ser diferente en diferentes zonas de la ciudad, lo cual es de relevancia para la población sensible. Por ello, resulta indispensable determinar si existen diferencias, y de qué tipo, en la nube polínica en diferentes zonas de Montevideo y determinar si un sólo punto de muestreo podría ser representativo para toda la ciudad.

Esta tesis constituirá la línea de base de los estudios aerobiológicos en Uruguay, una herramienta para los estudios clínicos y epidemiológicos de las alergias al polen; y una contribución a los estudios aerobiológicos en la región.

## **Objetivo general y organización de la tesis**

El objetivo general de esta tesis fue analizar el comportamiento temporal y espacial del polen aéreo en la ciudad de Montevideo y examinar la influencia de las condiciones meteorológicas y la vegetación en las concentraciones de polen.

Los **objetivos específicos** se presentan en los capítulos correspondientes.

Esta tesis está organizada en seis capítulos de la siguiente forma: el **Capítulo 3** analiza las características generales del polen aerovagante (**Capítulo 3.1**) y los taxones considerados como más relevantes que son Poaceae (**Capítulo 3.2**), *Platanus* (**Capítulo 3.3**) y *Acanthostyles- Raulinoreitzia* (**Capítulo 3.4**) a partir de los datos colectados en Malvín Norte. En el **Capítulo 4** se comparan los datos obtenidos en tres puntos de la ciudad de Montevideo en relación al polen registrado, la vegetación de la zona y las variables meteorológicas. El **Capítulo 5** constituye una aproximación al estudio de las posibles áreas fuente de polen de gramínea en Montevideo. Por último, en el **Capítulo 6**, se concluyen los principales resultados de la tesis, y se postulan las perspectivas derivadas de esta tesis.

**CAPÍTULO 2**  
**MATERIALES Y MÉTODOS**

## MATERIALES Y MÉTODOS GENERALES

Esta tesis sigue las recomendaciones de la Asociación Internacional de Aerobiología respecto a la terminología utilizada en estudios aerobiológicos (Galán *et al.* 2017).

### 2.1 MUESTREO DE POLEN

#### Colecta de granos de polen

El muestreo palinológico se llevó a cabo utilizando captadores por impacto, Rotorod Modelo 40, diseñado por Sampling Technologies, Inc. (Figura 2. 1.) y un captador de manufactura propia con las mismas prestaciones que el original<sup>1</sup>. Todos los muestreadores poseen un brazo, desmontable, sobre un cabezal que gira a 2500 r.p.m.



**Figura 2. 1.** Captador de polen Rotorod Modelo 40, detalle del cabezal con las varillas desplegadas captando polen y porta objetos para análisis al microscopio.

En cada uno de los extremos se colocan dos varillas de poliestireno transparentes sobre bases retráctiles pintadas con aceite de silicona como sustancia adhesiva. Cuando el rotor está apagado las varillas se encuentran retraídas dentro del brazo y por lo tanto no recogen partículas del aerosol. Cuando es puesto en funcionamiento, por fuerza centrífuga quedan en posición vertical, impactando las partículas del aerosol sobre la cara expuesta.

---

<sup>1</sup> Para determinar si los muestreadores de manufactura propia y el original colectaban polen de la misma forma se realizó un muestreo simultáneo de polen con los dos aparatos y no se encontraron diferencias significativas en los recuentos del polen total entre los dos equipos.

Las varillas son transportadas a través de un volumen de aire que es posible determinar y por tanto, posibilita convertir los datos a concentración ( $\text{granos.m}^{-3}$ ). Las varillas se cambiaron todos los días al mediodía, excepto los fines de semana que el polen fue colectado desde el viernes hasta el lunes (72 horas); por lo tanto, se realizaron los correspondientes ajustes en la programación (se programó que colectara el 5%, en vez del 10% del tiempo) y en el cálculo del volumen de aire muestreado.

Los muestreadores se instalaron en las azoteas de los edificios, a aproximadamente 12 m sobre el nivel del suelo, cumpliendo los requerimientos para la instalación de los muestreadores tipo Rotorod (Brown *et al.* 1993).

Se perdieron 18 días de muestreo en total debido a fallas en el muestreador de polen, o por fuertes vientos y otros debido a la saturación de las varillas con ceniza volcánica proveniente de la explosión del complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle en el sur de Chile, que se registraron de manera intermitente en el aire de Montevideo desde el 4 de junio al 24 de setiembre de 2011.

### **Períodos y sitios de colecta de polen**

Se colectó polen aéreo en tres puntos de la ciudad de Montevideo, con diferencias en la vegetación, así como en el grado y tipo de urbanización (Figura 2. 2.). En el punto de muestreo ubicado en Malvín Norte (Facultad de Ciencias) se colectó polen de manera continua desde el 8 de junio de 2011 al 1 de junio de 2015.

Por razones técnicas los muestreos en los puntos de la ciudad fueron realizados en diferentes años, desde agosto 2012 a julio 2013 en Ciudad Vieja (Museo Romántico) y desde agosto 2014 a marzo 2015 en Sayago (Facultad de Agronomía). Los datos recabados en estos sitios se compararon con los obtenidos durante los mismos períodos de tiempo en Malvín Norte.

### **Análisis cuantitativo y cualitativo de los granos de polen**

Para realizar el análisis microscópico de las muestras, las varillas fueron colocadas en un portaobjetos provisto con canaletas. Como medio de montaje y colorante se utilizó solución de Calberla (fucsina, alcohol y glicerina). El análisis microscópico se realizó en un microscopio fotónico Olympus CX41 con una magnificación total de 400 x. Se contaron e identificaron todos los granos de polen presentes, aproximadamente 280.000 granos de polen. Para su identificación se utilizaron preparados de referencia de la palinoteca del Laboratorio de Palinología - Instituto de Geología (Facultad de Ciencias, Udelar) y bibliografía específica (Bassett *et al.*, 1978; Lewis *et al.*, 1983; Markgraf & D'Antoni, 1978;

Smith, 1990).

**Tabla 2. 1.** Períodos de colecta en cada punto de muestreo aeropalínológico.

Sitio de muestreo	Período de colecta
Malvín Norte	Junio 2011 – mayo 2015
Ciudad Vieja	Agosto 2012 – julio 2013
Sayago	Agosto 2014 – marzo 2015



**Figura 2. 2.** Mapa de la ciudad de Montevideo. Los puntos rojos señalan la localización de los sitios de muestreo aerobiológico.

Los recuentos fueron transformados a datos volumétricos, expresados como granos de polen.m<sup>-3</sup> por día de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{granos de polen.m}^{-3} = \frac{N}{V}$$

Donde N = número de granos de polen y V es el volmúmen de aire muestreado.

$$V = (\text{área de la varilla}) \times (\text{diámetro de los brazos}) \times (\text{tiempo de exposición}) \times 2400 \times \pi$$

$$\text{granos de polen.m}^{-3} = \frac{N}{V}$$

$$V = (\text{área de la varilla}) \times (\text{diámetro de los brazos}) \times \pi \times 2400 \\ \times (\text{tiempo de exposición})$$

Donde N= número de granos de polen y V es el volúmen de aire muestreado.

Para el cálculo de los integrales anuales de polen (InA), se realizó la sumatoria de las concentraciones diarias.

El polen total se estimó como la suma de las concentraciones diarias de todos los taxones registrados. Por otra parte, se agruparon los taxones en arbóreos (polen arbóreo, PA) y no arbóreos (PNA) para evaluar el comportamiento estacional de estos grupos y la influencia de las condiciones meteorológicas en sus concentraciones polínicas. Los tipos polínicos son frecuentemente agrupados en estas categorías debido a su interés epidemiológico, ya que afectan de manera diferente a las personas sensibles (Cakmak *et al.* 2005; Dales *et al.* 2004).

### **Tipos polínicos seleccionados**

Se seleccionaron como tipos polínicos importantes a aquellos taxones que en Malvín Norte alcanzaron al menos el 1% de la concentración total registrada. Para estos taxones se presenta la distribución media y el desvío estándar de la concentración diaria, estimadas a partir de la serie de datos de 4 años.

Se analizaron en mayor profundidad a Poaceae, *Platanus* y tipo *Acanthostyles-Raulinoreitzia* ya que constituyen tipos polínicos dominantes del espectro (integrales anuales mayores al 5% del total). Para estos taxones se analizaron los parámetros más relevantes de su comportamiento anual y estacional, la influencia de las condiciones meteorológicas en las concentraciones de polen y la relación con la vegetación de la zona.

### Estación polínica principal

Se exploraron diferentes criterios para determinar la estación polínica principal (EPP) de los tipos polínicos más relevantes, como por ejemplo, el método del porcentaje acumulado del 90% (Nilsson and Persson 1981), el 95% (Andersen 1991) y el del 99% (Galán *et al.* 1995). Por otra parte, se modificaron los criterios de concentraciones propuestos por Sánchez Mesa y colaboradores (2003). Para Poaceae se determinó el inicio de la EPP el día en que la concentración supera el umbral correspondiente al percentil 50 (13 granos de polen.m<sup>-3</sup>) y al mismo tiempo, que presentaran 5 días consecutivos de concentraciones iguales o mayores al mencionado percentil. Para los casos de *Platanus* y tipo *Acanthostyles-Raulinoreitzia* se siguió el criterio de García Mozo y colaboradores (1999) en el que el inicio de la EPP está dado por el primer día en el que se registra una concentración de 1 grano de polen.m<sup>-3</sup> y además que los días subsecuentes registren al menos 1 grano de polen.m<sup>-3</sup>. La fecha de finalización de la EPP es el último día en que se registra una concentración de 1 grano de polen.m<sup>-3</sup>, seguido por días con concentraciones menores a ese valor. Se exploró la posibilidad de utilizar el percentil 50 de concentración, que son valores mayores a 1 grano de polen.m<sup>-3</sup>, sin embargo, para taxones de floración corta los resultados obtenidos con el criterio elegido fueron más consistentes.

Para el caso de Poaceae, se analizaron las curvas de distribución del polen diario siguiendo una modificación de la metodología propuesta por Medek (Medek *et al.*, 2016), para evaluar la existencia de varios períodos de concentraciones altas. Los análisis se realizaron sobre la distribución de las medias móviles de cinco días y se exploró el uso de los umbrales moderado y alto para establecer el inicio y fin de cada período.

Los parámetros de la EPP considerados son la fecha de inicio y fin la duración en días, la concentración polínica máxima alcanzada y la fecha en que se registra; y el índice polínico. Este último expresado como la suma de las concentraciones diarias durante el período de polinización principal (Mandrioli 1998).

Para comparar la variación interanual de la EPP se utilizaron los descriptores básicos media aritmética, valor mínimo y máximo, desviación estándar y coeficiente de variación.

### Umbrales de concentración

La ausencia de estudios sobre la incidencia de polinosis en Uruguay, los tipos polínicos involucrados y la falta de estimaciones de los umbrales polínicos para la región motivó la estimación de estas categorías para los tipos polínicos más importantes de Montevideo.

Para ello , se utilizó la metodología propuesta por Burge (Burge 1992) y la Asociación Americana de Alergia, Asma e Inmunología (AAAAI 2018) A partir de la serie temporal de las EPP de todos los años se calcularon los percentiles 50, 75 y 99 para determinar los diferentes umbrales de concentración para cada taxón principal. Las concentraciones registradas por debajo del percentil 50 se consideran bajas, moderadas entre el percentil 50 y el 75, altas entre los percentiles 75 y 99, y muy altas si están por encima del percentil 99 (Tabla 2.2).

Además se calculó el número de días que cada taxón superó los umbrales de concentraciones altas.

**Tabla 2. 2.** Categorías de concentración y percentiles que las definen.

<b>Categorías</b>	<b>Percentiles</b>
baja	< 50
media	50-75
alta	75-99
muy alta	> 99

## **Datos meteorológicos**

Los datos meteorológicos utilizados fueron las medias diarias de temperatura media, mínima y máxima del aire, precipitaciones acumuladas, velocidad y dirección del viento, humedad relativa del aire. Los datos fueron proporcionados por el Instituto Uruguayo de Meteorología (estación meteorológica del Aeropuerto de Carrasco, Prado), Ancap (estación meteorológica de La Teja) y Facultad de Agronomía (estación meteorológica propia). La información proveniente de estas estaciones meteorológicas fue utilizada para los análisis de los datos de Malvín Norte, Ciudad Vieja y Sayago, respectivamente.

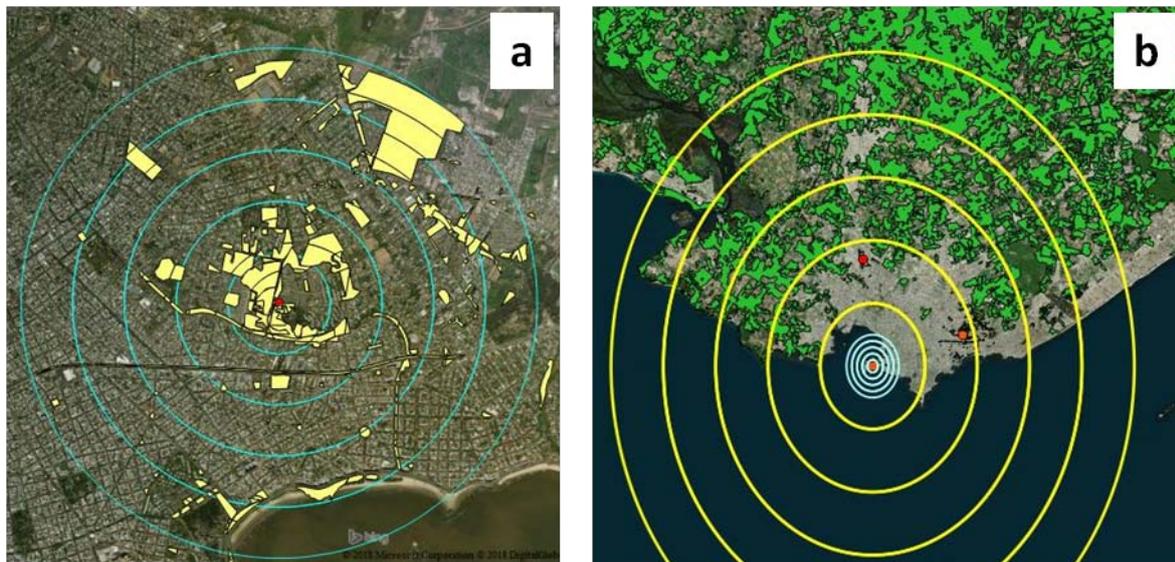
## **2.2 HETEROGENEIDAD ESPACIAL DEL POLEN AEROTRANSPORTADO**

### **Polen**

Los datos obtenidos del muestreo aeropalínológico en las tres zonas de la ciudad de Montevideo se analizaron en base a los IAP, las distribuciones de concentración diarias y los parámetros de la EPP de los taxones más importantes.

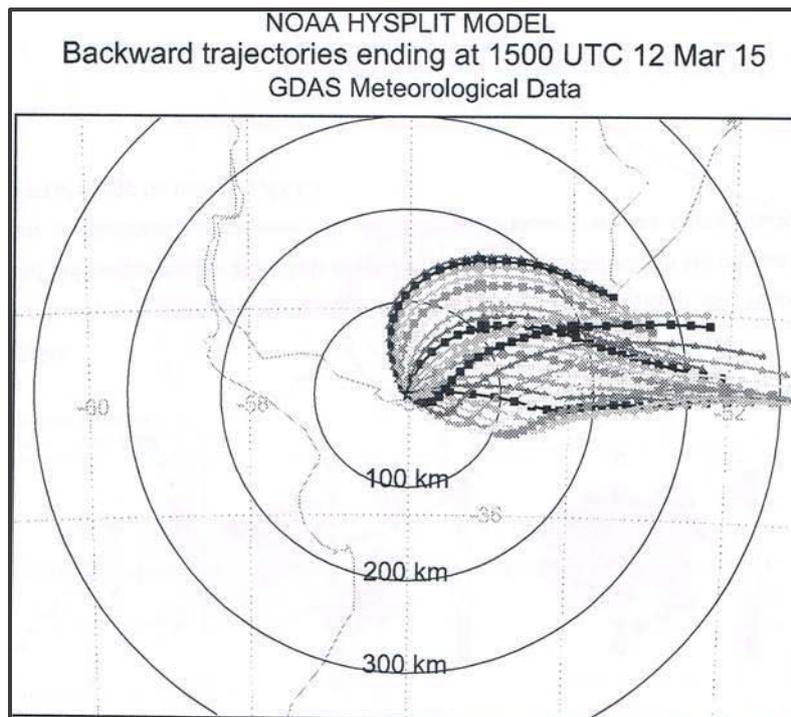
## Análisis de la vegetación

La vegetación se analizó en dos escalas espaciales, una primera zona local de 2,5 km de radio y una zona que abarca las escalas extra local y regional, de 25 km de radio. En la zona local, la vegetación se analizó en una primera área de 250 m de radio y subsecuentes radios con incrementos de 500 m de ancho hasta una distancia de 2,5 km (Figura 2. 3.a). En la zona regional, se analizó la vegetación en anillos concéntricos de 5 km de ancho hasta un radio de 25 km desde cada punto de muestreo aerobiológico (Figura 2. 3.b). Los granos de polen pueden ser transportado largas distancias. La denominación de las zonas como local, extralocal y regional sigue la terminología clásica de Prentice En Montevideo, por ejemplo, las simulaciones de la trayectoria de las masas de aire indican posibilidad de transporte de hasta 300 kilómetros en 24 h (Figura 2. 3.) e incluso se detecta polen de *Nothofagus* (Tejera y Beri 2005) proveniente de zonas ubicadas a más de 1500 km de



**Figura 2. 3.** Anillos concéntricos delimitados para el análisis de la vegetación a escala local (a) y regional (b). **a.** Anillos concéntricos de 500 m de espesor. **b.** Anillos concéntricos de 5 Km de espesor.

distancia. Sin embargo, estudios experimentales de dispersión polínica muestran que la concentración de polen en el aire sigue una curva logarítmica desde la fuente y que alcanza una asíntota en muy bajas concentraciones en el entorno de los 2 km (Mac Innis, 2012). En Montevideo, la velocidad media del viento está en el entorno de los 13 km/h, de esta forma la mayor parte de los granos de polen colectados durante un día provienen de zonas cercanas al muestreador, que han sido transportados algunos minutos o pocas horas.



**Figura 2. 4.** Simulación de trayectorias de aire en un período de 24 horas realizadas en HYSPLIT (<https://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>)

Para el estudio de la vegetación se utilizaron los planos de información (capas de un sistema de información geográfica) de los espacios públicos y arbolado de la ciudad de Montevideo (Servicio de Geomática 2012) y la capa Usos del Suelo de Uruguay (DINOT 2014). Para estimar la cobertura de Poaceae en los diferentes anillos, se trabajó con la capa Usos del Suelo de Uruguay (DINOT 2014) y se seleccionaron las categorías: pradera natural, pradera natural con afloramiento rocoso, herbáceo psamófilo, arbustos y pradera natural, y urbano disperso y pradera.

En la zona local, los mapas fueron corregidos por medio de imágenes satelitales de manera de agregar a éstos la cobertura de Poaceae. Las áreas fuentes “potenciales” de Poaceae se definieron como aquellas zonas cubiertas por Poaceae en las fotos aéreas. Se incluyeron zonas tales como plazas, plazoletas, terrenos baldíos, zonas parquizadas (como por ejemplo las ubicadas en la rambla de Montevideo) parques y patios privados, etc. Se las denomina áreas “potenciales” porque no se recabaron datos del manejo de éstas, por lo tanto, la producción efectiva de polen de Poaceae no fue determinada, y tampoco se validaron en el campo todos los datos.

El número de árboles de cada especie en cada anillo se obtuvo a partir del análisis de la capa Árboles de la IMM (Servicio de Geomática 2012). El número de árboles de *Platanus*

presentes en la zona local (250 m) se corrigió con datos de los árboles presentes en esa zona alrededor de cada punto de muestreo aeropalínológico.

A partir de estas capas se estimó la cobertura de Poaceae y el número de árboles para cada área y círculo concéntrico, para los tres puntos de muestreo aerobiológico.

A su vez, se determinó el porcentaje de cobertura de la categoría suelo urbano para cada anillo y zona.

Por otra parte, se clasificaron a los árboles de acuerdo a la forma de dispersión de los granos de polen en entomófilos, anemófilos y anemófilos con capacidad alergénica. Estos últimos se clasificaron como alergénicos de acuerdo a la bibliografía general que indica su alergenicidad teniendo en cuenta la capacidad de desencadenar respuestas alérgicas en la población sensible (De Weger *et al.* 2013, D'Amato *et al.* 2007, Lewis *et al.* 1983).

La diferencia en la vegetación entre las Malvín Norte, Sayago y Ciudad Vieja se evaluó mediante estadística descriptiva y el test de varianza de Kruskal-Wallis con el test de Dunn a post hoc en caso de resultado significativo.

La edición de las capas, elaboración de mapas y análisis de la información espacial de la vegetación y el arbolado se realizó mediante metodologías estándares de sistemas de información geográfica.

## **2.3 RELACIÓN POLEN – VEGETACIÓN**

Los datos palinológicos fueron correlacionados con la vegetación alrededor de cada punto de muestreo de manera de evaluar las zonas representadas en el espectro polínico y establecer la zona de influencia local o regional de la vegetación.

Con tal fin, se dividieron las áreas, de 2,5 y 25 km de radio descritas en la sección anterior, en octantes y se estimó la cobertura en cada octante de cada anillo (Figura 2. 5.) para las tres zonas (Ciudad Vieja, Malvín Norte y Sayago).

La cobertura fue ponderada en relación a la distancia, de acuerdo con una modificación de las metodologías propuestas por otros autores para analizar la representación de la vegetación en el espectro polínico (Jackson, 1990; Bunting, 2002) y similar a la realizada por Oteros y colaboradores (2017). Sin embargo la diferencia principal con este último

trabajo radica en la ponderación de la vegetación con respecto a la distancia y que su objetivo fue la predicción de mapas polínicos. En cada anillo la cobertura fue dividida por la distancia al punto de muestreo (cobertura relativa) y la cobertura ponderada de cada área se estimó mediante la suma de la cobertura relativa de los anillos ubicados a distancias menores.

La cobertura ( $C_{\text{relativa}}$ ) y la cobertura ponderada ( $CP$ ) se estimaron de la siguiente manera:

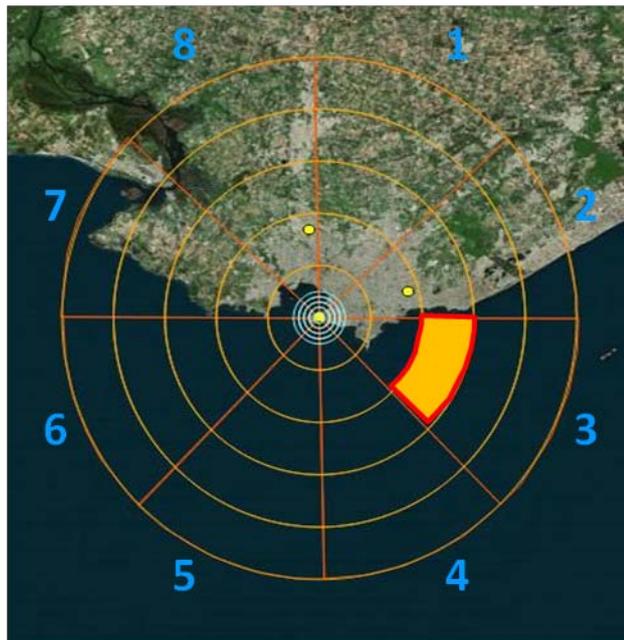
$$C_{\text{relativa } ix} = \frac{\text{cobertura en el octante } i \text{ en el anillo a la distancia } x}{X}$$

$$CP = C_{\text{relativa } xi} + C_{\text{relativa } ix-1} + \dots + C_{\text{relativa } i0,25\text{km}}$$

De esta forma, a modo de ejemplo, la cobertura relativa en el tercer octante en el anillo ubicado a 15 km de distancia del punto de muestreo se estimó de la siguiente forma:

$$C_{\text{relativa } 3-15\text{km}} = \frac{\text{cobertura octante 3 en anillo 15km}}{15}$$

$$CP_{3-20\text{km}} = C_{3-20\text{ km}} + C_{3-15\text{km}} + \dots + C_{3-0,25\text{ km}}$$



**Figura 2. 5.** Diseño de muestreo de cobertura por octantes (1 a 8) y anillos concéntricos. Se indica anillo ubicado a 15km en el tercer octante.

Para cada uno de los sitios de muestreo aerobiológico se estimó la concentración media de polen de Poaceae por octante, de acuerdo a la dirección del viento para cada día.

Se realizó la correlación entre las concentraciones de polen y la vegetación por octante para cada una de las distancias (áreas de radio incremental) utilizando el coeficiente de correlación de Spearman. Se realizaron las correlaciones utilizando la base de las tres zonas de muestreo aerobiológico en su conjunto y para cada sitio de forma individual. Además, para analizar la influencia de zonas con muy baja cobertura, se realizaron correlaciones excluyendo los octantes con coberturas totales menores a 0,2 km<sup>2</sup>.

## **2.4 ANÁLISIS DE DATOS**

### **Patrones anuales, diferencias espaciales y temporales**

Para Poaceae, que se registra durante períodos largos de tiempo y puede presentar varios picos de concentración, se analizó la distribución de las concentraciones diarias de polen en base a medias móviles de 5 días. De esta forma, se reduce la varianza y se puede observar el patrón general de los datos de forma más clara.

La estacionalidad y las diferencias interanuales en las concentraciones de los diferentes períodos de muestreo fue analizada mediante un análisis de varianza de Kruskal-Wallis con el test post-hoc de Dunn debido a la no normalidad de los datos.

Para evaluar la distribución de las concentraciones de polen entre años se utilizó el test de Kolmogorov-Smirnov. Este test evalúa la diferencia máxima entre las dos funciones de distribución acumuladas, de forma que, cuando la diferencia es significativamente grande se consideran diferentes. El protocolo estadístico general utilizado en esta tesis se esquematiza en la Figura 2. 5. Se empleó estadística no paramétrica debido a que la falta de normalidad de los datos, incluso luego de su transformación logarítmica o raíz cuadrática.

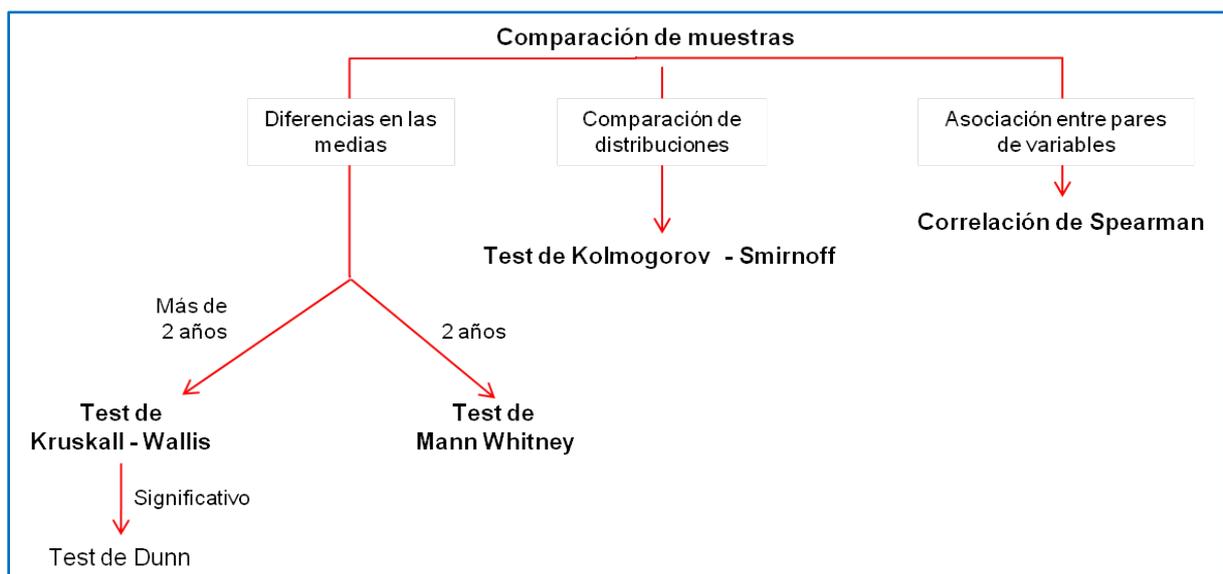
### **Polen – variables meteorológicas**

Para evaluar la relación entre las variables meteorológicas y las concentraciones de polen de los taxones estudiados se utilizó el coeficiente de correlación no paramétrico de Spearman. Se analizaron los datos correspondientes al total de días estudiados, la EPP y los períodos pre y post pico concentración de polen.

A su vez, a los efectos de evaluar el carácter predictivo de la base de datos obtenida, se empleó el método de regresión de pasos sucesivos que elimina aquellas variables no representativas con un nivel de colinealidad alto. Los datos correspondientes a los fines de semana, que son muestreados en períodos de 72 horas, no son incluidos en los análisis. Por ello, los datos no serían los más apropiados para este tipo de análisis, ya que se estaría perdiendo información relevante para la serie continua, y por ende, estos análisis son de carácter exploratorio.

Se empleó una combinación de variables de concentración de polen del mismo día como variable dependiente y medias móviles de las concentraciones de polen de días previos, con diferentes variables meteorológicas, como variables independientes. A partir del modelo con mejor coeficiente de determinación ajustado y menor error cuadrático medio (RMSE) se estimaron las concentraciones de polen para el año 2000-2001. Para evaluar el ajuste entre los valores observados y estimados diarios a partir del modelo se utilizó el test de Kolmogorov-Smirnov.

Para evaluar la influencia de la velocidad y la dirección del viento en las concentraciones de polen se realizaron gráficos polares bivariados de las concentraciones medias de polen en relación a la velocidad y dirección de los vientos diarios. Además, se realizaron análisis de varianza para determinar la influencia de ambas variables en las concentraciones de polen.



**Figura 2. 6.** Protocolo estadístico general utilizado para el análisis de datos en esta tesis.

La influencia de las precipitaciones diarias sobre el polen aerotransportado fue analizado mediante el método de análisis de series temporales de superposición de épocas (Panofsky

and Brier 1968). Para este análisis se utilizaron los datos de los muestreos de lunes a viernes, períodos de 24hs, dejando fuera del análisis los fines de semana por ser períodos de 72 horas. Se establece como día 0 a los días en que ocurren precipitaciones, -1 como el día previo, y como días 1 a 5 a los días posteriores a las lluvias (Tabla 2. 3.).

**Tabla 2. 4.** Clasificación de las concentraciones de acuerdo al día en que ocurren las precipitaciones.

Día previo	llueve	días posteriores a la lluvia			
-1	0	1	2	3	5

### Software utilizado

Para los análisis estadísticos se utilizaron los programas GraphPad Prism version 6.01 (GraphPad Software 2012), JMP® 11 (SAS Institute Inc. 2013), SigmaPlot Versión 11.0 (Systat Software) y el paquete OpenAir en el entorno R (Carslaw 2015)

El análisis de las imágenes y la confección de mapas de vegetación se realizó con el programa Quantum GIS Valmiera 2.2. (QGIS 2014).

### **CAPÍTULO 3**

## **POLEN AÉREO EN MALVÍN NORTE: CARACTERÍSTICAS GENERALES Y TAXONES PRINCIPALES**

## Organización del Capítulo 3

Este capítulo analiza las características generales del polen aéreo registrado en Malvín Norte y el comportamiento de los tipos polínicos más importantes, así como la influencia de las condiciones meteorológicas sobre las concentraciones polínicas.

Al inicio del capítulo se presentan los datos obtenidos desde el 1 de junio de 2011 al 30 de mayo de 2015 en relación a las características principales del polen total y se presentan los resultados y discusión correspondientes al período 2011-2013 en el artículo adjunto al final de esta sección (**Capítulo 3.1**). Se analiza en mayor profundidad el comportamiento de Poaceae (**Capítulo 3.2**), *Platanus* (**Capítulo 3.3**) y *Acanthostyles- Raulinoreitzia* (**Capítulo 3.4**), que representan entre el 53 y el 60% del polen total registrado, constituyen tipos polínicos dominantes del espectro y son de especial relevancia por las concentraciones registradas y por ser citados como alergénicos en otras regiones (*Poaceae* y *Platanus*). En el caso de *Acanthostyles - Raulinoreitzia* si bien no se han encontrado referencias sobre su capacidad alergénica se decidió su análisis dadas las altas concentraciones registradas y por tratarse de taxones nativos.

### Objetivos

El **objetivo general** de este capítulo es analizar las características generales del espectro polínico atmosférico en la ciudad de Montevideo a partir de datos obtenidos en Malvín Norte.

### Objetivos específicos

Establecer la estación polínica principal y los umbrales de concentración para los tipos polínicos principales.

Analizar la influencia de las variables meteorológicas sobre la intensidad y estacionalidad del polen total y de los tipos polínicos más relevantes.

Determinar los factores que influyen en la concentración de polen y explorar la capacidad predictiva de tal relación.

### 3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL POLEN AÉREO EN MALVÍN NORTE.

Basado en: Leticia Tejera, Ángeles Beri, Ximena Martínez Blanco. 2018. General characteristics of airborne pollen in Montevideo city, Uruguay. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 53 (2): 239-253.

#### Polen total

En esta sección se presenta una breve reseña de los análisis realizados para el polen total (PT) a partir de la serie temporal de cuatro años. El resto de los análisis, resultados y discusión en relación a las características generales del polen aéreo en Malvín Norte se presentan en el artículo adjunto a continuación.

Durante este estudio se contaron más de 280.000 granos de polen que se clasificaron en 97<sup>1</sup> tipos polínicos, correspondientes a 54 taxones arbóreos o arbustivos y 42 taxones herbáceos (Tabla 3.1.1), que fueron identificados a nivel de familia, género o especie. 18 tipos polínicos que pueden considerarse como relevantes para Montevideo, representan el 88,6% del total de las concentraciones registradas y al menos en un año el 1% del polen total.

En la atmósfera de Montevideo se registra polen prácticamente todos los días del año (Figura 3.1. 1), en promedio sólo 4 días por año las concentraciones son nulas. Mayo, junio y julio son los meses que registran las menores concentraciones diarias de polen las cuales comienzan a aumentar a fines de julio – inicios de agosto. En agosto comienzan a registrarse los primeros picos de concentración polínica, los cuales se van sucediendo a lo largo del año en respuesta a la floración de las diferentes especies vegetales. Todos los años se registró un descenso en las concentraciones de polen total hacia fines de setiembre e inicios de octubre, las que vuelven a aumentar a fines de octubre. Otra disminución se observa a fines de diciembre y las concentraciones vuelven a aumentar durante enero registrándose un nuevo período de concentraciones altas en febrero-marzo (Figura 3.1. 1). Las concentraciones diarias muestran correlaciones positivas y significativas entre todos los años estudiados, si bien los coeficientes de correlación fueron relativamente moderados (Figura 3.1. 1), lo cual indica que el patrón de concentraciones totales diarias fue relativamente similar entre todos los años.

---

<sup>1</sup> Se incluyen en este recuento los granos de polen identificados en Ciudad Vieja y Sayago

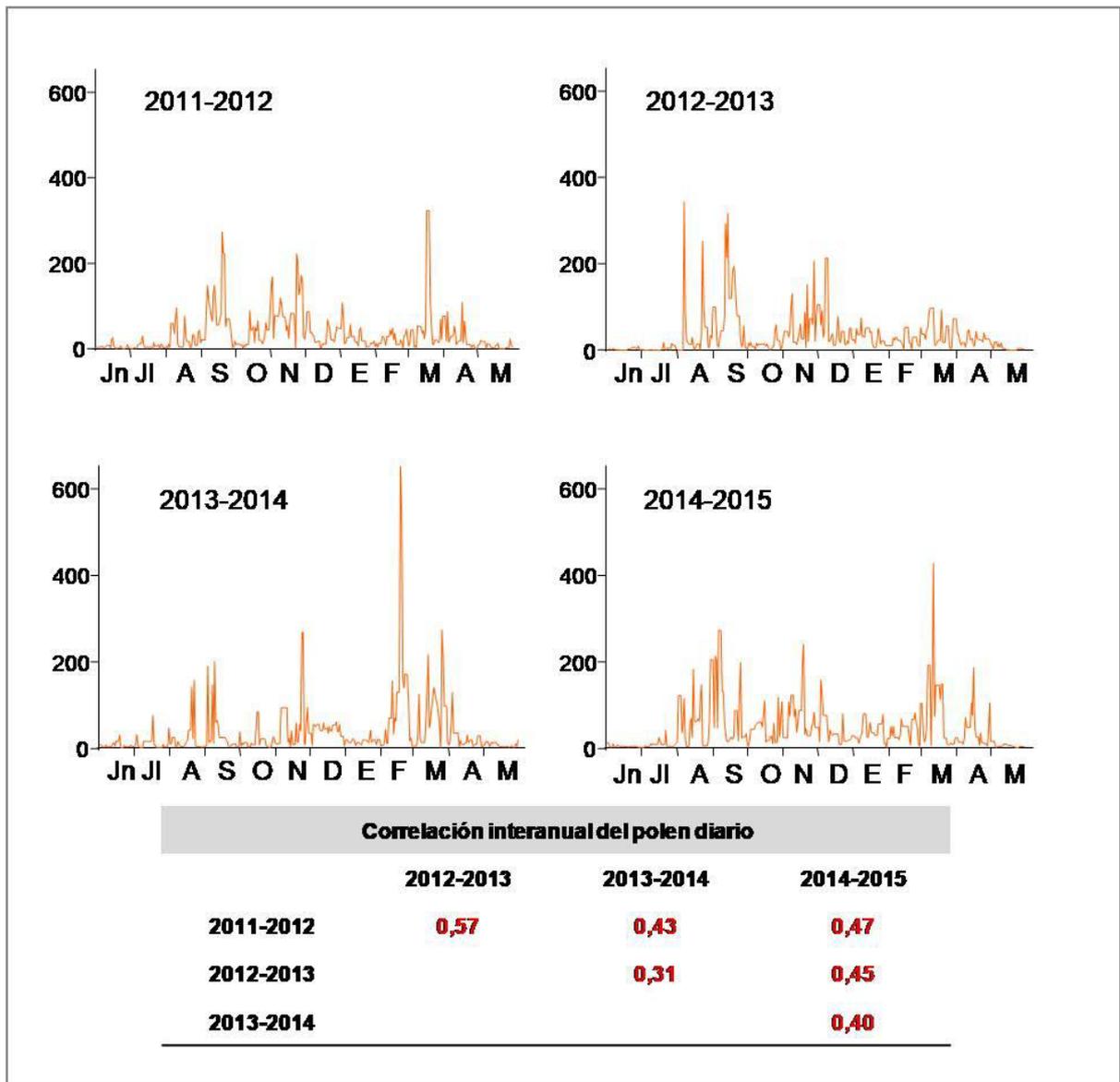
Sin embargo, en el período 2014-2015 presentó un integral de polen total mayor y registró una concentración media anual levemente superior al resto de los años, en particular de los períodos 2012-213 y 2013-2014 (Figura 3.3. 2.). Estas diferencias en el polen total, son explicadas por diferencias en los comportamientos interanuales de los diversos tipos polínicos. Los cuales serán analizados en los siguientes capítulos.

**Tabla 3.1. 1.** Tipos polínicos identificados.

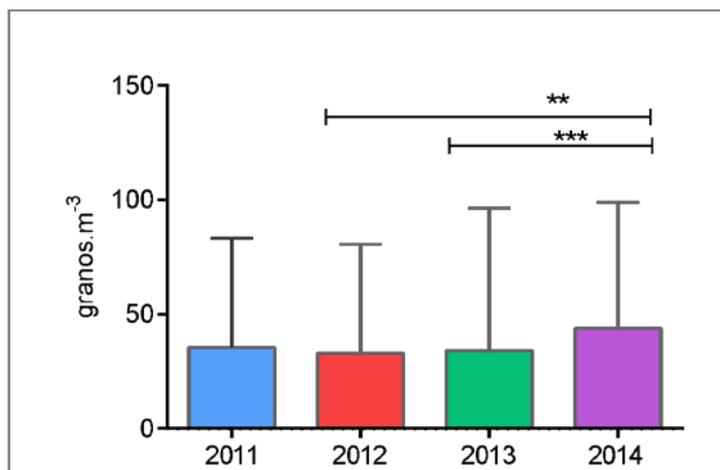
<b>Familia</b>	<b>Tipo polínico</b>	<b>Familia</b>	<b>Tipo polínico</b>
Aceraceae	<i>Acer</i>	Asteraceae	Mutisioideae indeterminada
Altingiaceae	<i>Liquidambar</i>		Asteraceae indeterminada
	<i>Alternanthera</i>		<i>Senecio</i>
Amaranthaceae	Amaranthaceae indeterminadas		Taraxacum
Anacardiaceae	Anacardiaceae (incluye <i>Schinus</i> , <i>Lithrea</i> )		Xanthium
	<i>Ammi visnaga</i>	Betulaceae	<i>Alnus</i>
Apiaceae	<i>Eupatorium</i>		<i>Betula</i>
Aquifoliaceae	<i>Ilex</i>	Boraginaceae	<i>Echium plantagineum</i>
Araucariaceae	<i>Araucaria</i>	Brassicaceae	<i>Brassicaceae</i>
	Arecaceae	Cannabaceae	<i>Celtis</i>
Arecaceae	<i>Butia</i>	Cannabinaceae	<i>Cannabis</i>
Asteraceae	<i>Acanthostyles-</i> <i>Raulinoreitzia</i>	Caprofoliaceae	<i>Lonicera japonica</i>
	<i>Ambrosia</i>	<u>Caryophyllaceae</u>	<u>Caryophyllaceae</u>
	Anthemideae	Casuarinaceae	<i>Casuarina</i> <i>cunninghamiana</i>
	<i>Artemisia</i>	Cupressaceae- Taxaceae	Cupressaceae- Taxaceae
	Cardueae	Cyperaceae	Cyperaceae
	<i>Cichorium intybus</i>	Ephedraceae	<i>Ephedra tweediana</i>
	Heliantheae indeterminada	Ericaceae	Ericaceae
		Euphorbiaceae	<i>Ricinus communis</i>

**Tabla 3.1. 1.** Tipos polínicos identificados. *Continuación.*

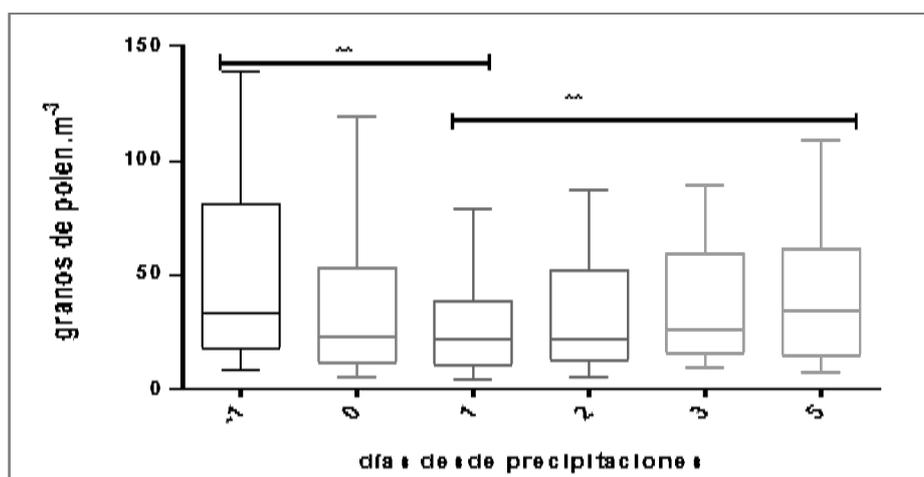
Familia	Tipo polínico	Familia	Tipo polínico
	<i>Parkinsonia aculeata</i>	Phytolaccaceae	<i>Phytolacca dioica</i>
Fabaceae	<i>Pelthophorum dubium</i>	Pinaceae	Pinaceae
	<i>Trifolium pratense</i>		<i>Tsuga</i>
	<i>Trifolium repens</i>	Plantaginaceae	<i>Plantago</i>
Fagaceae	<i>Castanea sativa</i>	Platanaceae	<i>Platanus</i>
	<i>Quercus</i>	Poaceae	Poaceae
Ginkgoaceae	<i>Ginkgo biloba</i>	Poaceae	<i>Zea mays</i>
Juglandaceae	<i>Carya</i>		Polygalaceae
	<i>Juglans regia</i>	Polygonaceae	<i>Rumex</i>
Juncaginaceae	Juncaginaceae	Ranunculaceae	<i>Ranunculaceae</i>
Lamiaceae	Lamiaceae	Rhamnaceae	<i>Colletia - Discaria</i>
Lauraceae	Lauraceae		<i>Scutia buxifolia</i>
Loranthaceae	<i>Struthanthus acuminatus</i>	Rosaceae	<i>Prunus</i>
Magnoliaceae	<i>Magnolia</i>	Rutaceae	<i>Citrus</i>
Malvaceae	<i>Tilia cordata</i>	Salicaceae	<i>Populus</i>
Mimosoideae	Mimosoideae		<i>Salix</i>
Myrsinaceae	<i>Myrsine</i>	Santalaceae	<i>Acanthosyris</i>
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx tweedii</i>	Sapindaceae	<i>Allophylus edulis</i>
	<i>Eugenia</i>		<i>Dodonaea viscosa</i>
	Myrtaceae tipo <i>Eucalyptus</i>		Sapindaceae indeterminada
Myrtaceae	Myrtaceae indeterminada	Scrophulariaceae	<i>Myoporum laetum</i>
Nothofagaceae	<i>Nothofagus</i>	Thymelaeaceae	<i>Daphnopsis racemosa</i>
Oleaceae	<i>Fraxinus</i>	Typhaceae	<i>Typha</i>
Oleaceae	<i>Ligustrum</i>	Ulmaceae	<i>Ulmus</i>
	<i>Olea</i>	Urticaceae	Urticaceae
		Verbenaceae	Verbenaceae
		Vitaceae	<i>Vitis</i>



**Figura 3.1. 1** – Polen total diario en cada período de muestreo y coeficientes de correlación de Spearman entre los años.  $p < 0,01$



**Figura 3.1. 2.** Diagrama de cajas de la concentración de polen total en función del período de estudio. Las líneas horizontales indican la mediana de los datos, las cajas comprenden el primer y tercer cuartil y las líneas verticales los percentiles 10 y 90 de la distribución de los los datos. Test Kruskal Wallis, *post hoc* Dunn, \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ .



**Figura 3.1.3.** Concentración de polen total en función del día en que ocurren las precipitaciones. Test de Kurskall Wallis, *post hoc* Dunn significativo entre -1 y 0; 1 y 2,3,5; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$

Por otra parte, se observó un claro efecto negativo de las lluvias sobre las concentraciones de polen total en función del día que llueve. Se observa que las precipitaciones disminuyen las concentraciones polínicas el mismo día que ocurren (Figura 3.1.3). Las bajas concentraciones se mantienen bajas al día siguiente de llover (día 1), comenzando a aumentar las concentraciones de polen a partir del segundo día.

## GENERAL CHARACTERISTICS OF AIRBORNE POLLEN IN MONTEVIDEO CITY, URUGUAY

LETICIA TEJERA<sup>1</sup>, ÁNGELES BERI<sup>1</sup> and XIMENA MARTÍNEZ BLANCO<sup>1</sup>

**Resumen:** Características generales del polen aéreo en Montevideo, Uruguay. Este trabajo analiza las variaciones diarias y estacionales y la influencia de las condiciones meteorológicas en las concentraciones de polen en el período de junio de 2011 a mayo de 2014. Fueron identificados noventa y tres taxones polínicos, correspondientes a 49 tipos arbóreos y a 44 tipos polínicos herbáceos. Los tipos polínicos más importantes fueron Poaceae, *Platanus*, Cupressaceae/Taxaceae, Eupatorieae type, *Celtis*, Urticaceae, Myrtaceae, *Casuarina*, Amaranthaceae, Cyperaceae, *Fraxinus*, *Arecaceae*, *Ricinus communis*, Moraceae, *Myrsine*, *Ambrosia*, *Quercus* y Pinaceae. Se registró polen todos los días del año, pero el período de polinización principal se registró desde agosto a abril. Se observaron diferencias interanuales en los índices polínicos, en las fechas y concentraciones diarias máximas, así como en las concentraciones mensuales acumuladas. La temperatura media, la humedad relativa del aire y la dirección y velocidad del viento fueron las variables meteorológicas con mayor influencia sobre el polen aéreo. Las concentraciones polínicas excedieron los umbrales considerados como moderados o altos un promedio de 182 días al año.

**Palabras clave:** Polen aéreo, meteorología, umbrales de concentración, viento, Montevideo, Uruguay.

**Summary:** This paper analyses daily and seasonal variations on pollen concentrations and the influence of meteorological conditions on the airborne pollen from June 2011 to May 2014. Data is also compared with results from a previous pollen survey from 2000-2001. Ninety-three taxa were identified, belonging to 49 trees and shrub taxa and 44 herbaceous taxa. The most important pollen sources were Poaceae, *Platanus*, Cupressaceae/Taxaceae, Eupatorieae type, *Celtis*, Urticaceae, Myrtaceae, *Casuarina*, Amaranthaceae, Cyperaceae, *Fraxinus*, *Arecaceae*, *Ricinus communis*, Moraceae, *Myrsine*, *Ambrosia*, *Quercus*, and Pinaceae. Pollen was recorded all year round but the main pollen season was from August to April. Inter-annual differences were observed on pollen indexes, dates and values of daily peak concentrations and monthly accumulated concentrations. Temperature, relative air humidity and wind speed and direction seem to be the most influential meteorological variables on pollen concentrations. The number of days that pollen concentrations are above moderate and high thresholds levels is estimated and woody and non-woody pollen concentrations would be above moderate levels on average 182 days per year.

**Key words:** Airborne pollen, meteorology, threshold levels, wind, Montevideo, Uruguay.

### INTRODUCTION

Airborne pollen is a common component of atmospheric aerosols and knowing its content in the atmosphere has ecological, agronomic, climatic and clear clinical interests. In particular, pollen allergy has a great impact on public health due to its high prevalence and associated costs.

Allergic diseases like asthma and rhinitis can affect up to 30% of population in industrialized countries (Asher *et al.*, 2006) and its prevalence seems to be on the increase (D'Amato *et al.*, 2007). Therefore, for allergic patients and allergists it is relevant to know the pollen types present in a particular area at a particular time of the year and the concentrations these taxa achieve (Gentile *et al.*, 2013). Moreover, during this globalization era this information is also relevant for allergic people travelling around the world. Furthermore, long-term airborne pollen records may provide information about plant responses to climate

<sup>1</sup> Laboratorio de Palinología, Facultad de Ciencias, Iguá 4225, Montevideo 11400, Uruguay.

\* Corresponding author: lete@fcien.edu.uy

change (Ziello *et al.*, 2012; Frei & Gassner, 2007) and its impact on the allergic population (Cecchi *et al.*, 2010). Pollen counts, usually expressed as pollen grains  $m^{-3}$ , are still frequently communicated to the population as pollen levels that correspond to different concentration ranges usually based on percentile values, not on health effects (AAAAI 2016). Despite several studies have related pollen concentrations with the development of allergic symptoms (e.g. Breton *et al.*, 2006; Fuhrman *et al.*, 2007), threshold values vary among studies due to several factors and concentration levels for sensitization remain unknown (de Weger *et al.*, 2013).

The aerobiological process includes the production, liberation, transport and impact of pollen grains, fungal spores and other particles (Gregory, 1973). Several meteorological and ecological factors affect this process at different spatial and temporal scales, days to years for pollen preconditioning and impact, minutes to weeks for transport and seconds to hours for liberation, ascent and deposition (Edmonds, 1979). Meteorological conditions may have different effects on atmospheric pollen values, affecting positively or negatively different parts of the aerobiological pathway. Temperature and relative humidity affect anthers formation and dehiscence, thus influencing the amount of pollen produced and liberated (Spieksma *et al.*, 1989). Wind speed favors pollen shedding from anthers and pollen dispersion (Damialis *et al.*, 2005) but has a dilution impact on pollen concentration. Rainfall can also have a positive or negative effect on atmospheric pollen concentrations whether it happens during plant growth, when it has a positive influence on plant physiology, increasing pollen production (Recio *et al.*, 2010) or during the pollination period when it has a washout effect on the atmosphere and decreases the pollen content (Pérez *et al.*, 2009).

Airborne pollen monitoring in Uruguay airborne was first done in 2000 for just one year (Tejera & Beri, 2003; 2005) and restarted in June 2011. In the region monitoring programs have been done in several cities in Argentina such as Mar del Plata (Bianchi, 1992; Latorre, 1997; Latorre & Caccavari, 2009; Latorre & Pérez, 1997; Pérez *et al.*, 2001; 2003), Buenos Aires (Noetinger *et al.*, 1994; Nitiu *et al.*, 2003), La Plata (Nitiu, 2006; Nitiu & Mallo, 2011; Mallo *et al.*, 2011), Bariloche

(Bianchi & Olabuenaga, 2006) and Bahía Blanca (Murray *et al.*, 2002; 2007; 2008; 2010; 2016). Research programs are ongoing in Caxias do Sul (Lorscheitter *et al.*, 1986; Vergamini *et al.*, 2006) in Brazil and mainly in Santiago de Chile in Chile (Toro *et al.*, 2015). The relative low number of aerobiological studies performed in the region strongly contrast with the very broad range of environmental gradients present in temperate South America (Olson *et al.*, 2001). Therefore, this study would represent a relevant contribution to aerobiological studies in the region.

The aim of the present study is to analyze the main characteristics of atmospheric pollen in Montevideo city in terms of total, non-woody and woody- plants pollen values and assess the influence of meteorological conditions on pollen concentrations from June 2011 to May 2014.

## MATERIALS AND METHODS

### *Study area and plant cover*

Montevideo (34°56'S-56°09'W) the capital and most populated city in Uruguay, with about 1.5 million inhabitants, is located on the Río de la Plata estuarine coast (Fig. 1). The climate is temperate-subtropical humid, with rainfalls throughout the year (1098 mm), mean annual temperature of 16.5 °C and relative humidity of 75%. Rainfalls are basically

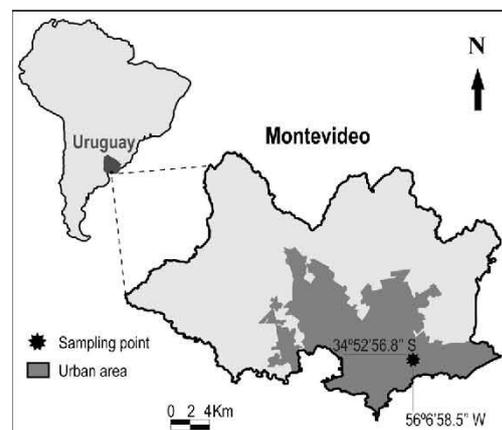


Fig. 1. Location of sampling site at Montevideo, Uruguay.

controlled by the interaction between the South Atlantic and South Pacific Anticyclones. The region belongs to the Pampa Province, “Uruguayense” District (Cabrera & Willink, 1973). This “campos” landscape is dominated by grasslands although native woodlands are found along water courses and hills (Soriano, 1992). Montevideo’s urban flora is mainly composed of exotic trees and shrub species cultivated for ornamental purposes along streets, avenues, parks and cemeteries over the city. The most abundant trees and shrubs cultivated in public areas of the city are *Melia azedarach*, *Fraxinus pennsylvanica*, *Eucalyptus globulus*, *E. camaldulensis* and *Platanus x acerifolia*, other important species are *Pinus pinaster*, *Tipuana tipu*, *Fraxinus excelsior*, *F. lanceolata* and *Acer negundo*. Tree species like *Nerium oleander*, *Schinus molle*, *Jacaranda mimosifolia*, *Phoenix canariensis*, *Casuarina cunninghamiana*, *Populus deltoides*, *Ligustrum lucidum*, *Ulmus procera*, *Eucalyptus globulus*, *Acer saccharinum*, *Ceiba speciosa*, *Salix babylonica* and *S. elegantissima*, *Arecastrum romanzoffianum*, *Washingtonia filifera* and *W. robusta* are also very frequent in public spaces (Lombardo 1979, Arcos & Pose 2008). Herbaceous vegetation is cultivated in parks and private gardens or occurs spontaneously in open areas of the city. The most important herbaceous pollen sources belong to the families Apiaceae, Amaranthaceae, Asteraceae, Poaceae and Urticaceae (Lombardo 1982; 1983; 1984).

#### *Airborne pollen*

Daily pollen concentration was sampled during three years from June 2011 to May 2014. The periods were defined as seasonal years and not to calendar years, and correspond to June 2011- May 2012, June 2012- May 2013 and June 2013- May 2014 sampling periods, respectively. A Rotorod sampler Model 40 (Sampling Technologies Inc.) was used to recover airborne pollen. The sampler was installed on the roof of the Faculty of Science (34°52'56.8"S, 56°06'58.5"W) in an open area at ca. 12 m above ground level, complying with requirements for the installation of Rotorod samplers (Brown *et al.*, 1993). Nomenclature follows the recommendations of the International Association of Aerobiology (Galán *et al.*, 2017).

Daily data were obtained according to standard methods (Brown *et al.*, 1993). The rods were

collected daily and all pollen grains were counted and analyzed under 400 x magnification. Pollen was identified with the aid of the reference collection of the Palynology laboratory and specific bibliography (Bassett *et al.*, 1978; Markgraf & D'Antoni, 1978; Lewis *et al.*, 1983).

Monthly and total pollen values were estimated by the sum of daily pollen concentration values. Pollen types were grouped according to the growing form of species that produce them in non-woody (NW) and woody (W) pollen types. Data were collected following exactly the same methodology and pollen was identified and counted by the same person as in the present dataset.

Taxa representing at least 0.5% of total pollen of the period were selected as important taxa and their mean daily pollen concentration and standard deviation were estimated for the whole sampling period.

To look for statistical differences between airborne pollen from all sampled periods and due to the lack of normality of data, Kruskal-Wallis analysis of variance were performed on daily, weekly and monthly values.

Meteorological data used for site characterization corresponds to the historical period 1971-1990. On the other hand, daily data during the studied period were supplied by the Dirección Nacional de Meteorología and correspond to the nearest meteorological station at Carrasco Airport (34°50'S, 56°00'W) located 4 km apart from the sampling point. Kruskal-Wallis analyses of variance were performed on annual means and monthly values in order to assess for differences between years.

To analyze the correlation between woody and non-woody pollen and meteorological data the Spearman Rank non parametric correlation coefficient and multiple linear regression analysis, considering daily values of the whole sampled period, were performed. In order to assess the influence of wind speed and direction on pollen concentrations, bivariate polar plots of mean pollen concentrations by wind direction and speed for the study site and sampling were done on the R package Openair (Carslaw 2015).

Missed sampling days were excluded from all statistics analyses. A total of 14 days of sampling were lost due to a failure of the sampler and saturation of rods with volcanic ash coming from the Puyehue-Cordón Caulle Volcanic Complex

in southern Chile that erupted on June 4 and September 24, 2011 and remained in the atmosphere for months.

In order to estimate the average number of days pollen concentration was above moderate and high levels, pollen thresholds levels indicated by the AAAAI's National Allergy Bureau (AAAAI 2016) were used. Local pollen threshold levels were estimated for woody and non-woody plants pollen types at Montevideo city considering percentile 50 as the inferior threshold for moderate concentrations and 75 percentile as the inferior threshold for high concentrations. Thresholds were estimated using data of the whole sampled period (3 years) and averaged values of the most important woody and non-woody plant pollen types.

## RESULTS

### General pattern

In Montevideo atmosphere a similar total Annual Pollen Integral was obtained for all sampled periods, with the highest value recorded in 2000-2001 (12792 pollen grains  $m^{-3}$ ) and the lowest registered in 2012-2013 (11659 pollen grains  $m^{-3}$ ) while 2011-2012 and 2013-2014 12568 and 12193 pollen grains  $m^{-3}$  respectively were recorded. Daily pollen totals also showed a similar pattern along all sampling periods where a main pollen season, representing 97% of annual totals on average, can be established from August to April (Fig. 2). Moreover, the period of lowest pollen concentration is observed from May to July (Fig. 2), when the minimum pollen values of the period were recorded and monthly totals did not exceed 2% of total pollen (TP). In general, daily pollen concentrations rise at the end of July-early August, reaching higher values in September, November-December and late February-March.

Despite this similar general pattern some differences are appreciated. For instance, the highest peaks were registered in November-December for 2000-2001, March for 2011-2012, August-September for 2012-2013 and February for 2013-2014 (Fig. 2).

Non-woody pollen contributed similarly to Annual Pollen Integral during all periods analyzed. However, during 2013-14 period non-woody plants pollen was significantly higher ( $p < 0.01$ ) and explained the higher pollen index registered that

year. The highest monthly non-woody totals were reached in different months and December 2000 and February 2013-14 concentrations were significantly higher ( $p < 0.01$ ) (Fig. 3).

Woody pollen showed a similar pattern and roughly similar monthly values all years analyzed, with the highest concentrations recorded in September (Fig. 3). However, statistically significantly higher monthly totals were observed in November 2011-12, August 2012-13, February and March 2013-14 ( $p < 0.01$ ). In addition, March 2000-01 showed the lowest accumulated concentrations for that month ( $p < 0.01$ ).

Ninety-three pollen taxa were identified at family, genus and, occasionally, species level, where 49 correspond to tree and shrub taxa (woody-pollen) and 44 to herbaceous taxa (herbaceous-pollen). Although 93 pollen taxa were recorded, only few were registered frequently or in high concentrations. On average, 18 taxa exceeded 0.5% of total pollen concentration and represent 90% of total pollen. Figure 4 shows the variation in daily pollen concentrations from year to year. Poaceae was the main and most important contributor to the airborne pollen, accounting for 45.7% of TP (Total Pollen) in 2000-2001, 47% of TP in 2013-14, 40% of TP in 2012-13 and just 32.6% of TP in 2011-12. Other important taxa, ordered according their first appearance in the year, considering 1 of June as the start of the calendar year, were: *Fraxinus*, Cupressaceae/Taxaceae, Pinaceae, Moraceae, *Platanus*, *Quercus*, *Celtis*, Myrtaceae, Urticaceae, Amaranthaceae, *Ricinus*, Cyperaceae, *Myrsine*, *Casuarina*, Arecaceae, *Ambrosia* type and Eupatorieae type. The first peaks on TP registered in June correspond to Cupressaceae (10.5% TP) and *Fraxinus* (1.3% TP) (Fig. 4). The former reached its higher concentration in August while the latter increased its concentration at the end of August-start of September together with Pinaceae (0.5% TP), Moraceae (0.6%), *Platanus* (8.5% TP) and *Quercus* (1.1% TP) (Fig. 4). Pollen concentrations of these winter taxa decreased gradually in October and spring while other woody taxa, in particular, *Celtis* (0.7% TP) (Fig. 4) but also *Salix*, *Olea* and Anacardiaceae showed its highest values in October and November. Myrtaceae pollen grains (2.1% TP) were recorded almost all year round, reaching moderate concentrations from November to January, with another period of moderate concentrations

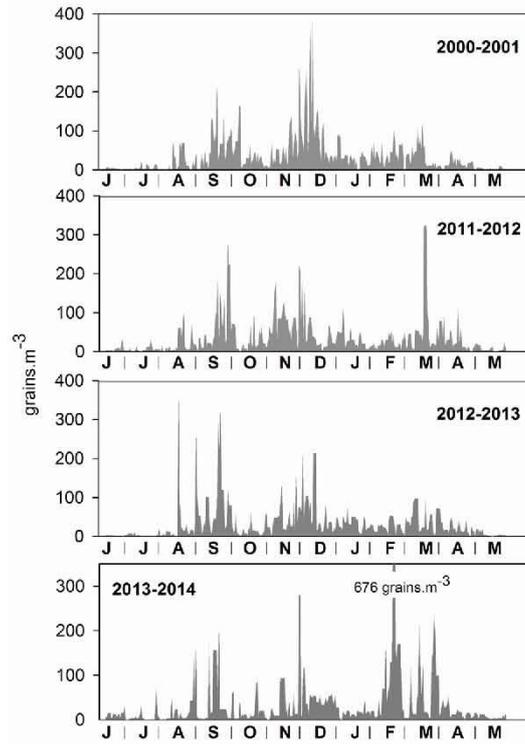


Fig. 2. Daily total pollen concentration per sampling year, expressed as pollen grains  $m^{-3}$

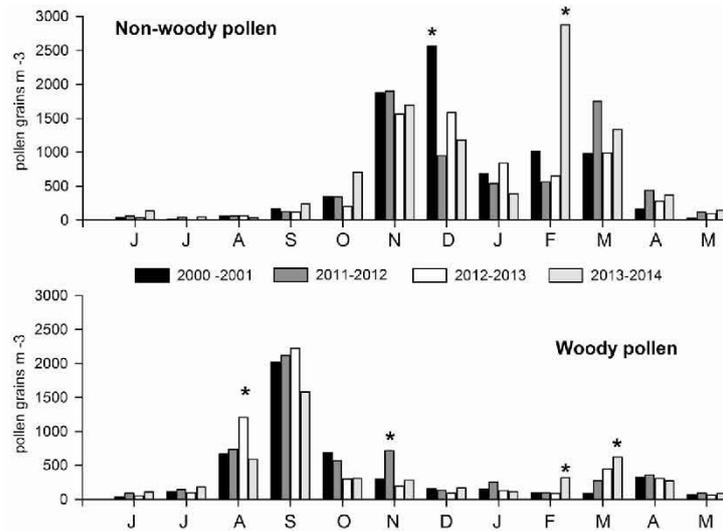


Fig. 3. Accumulated monthly pollen totals of non-woody and woody pollen. \* Months with significant differences on pollen concentration.

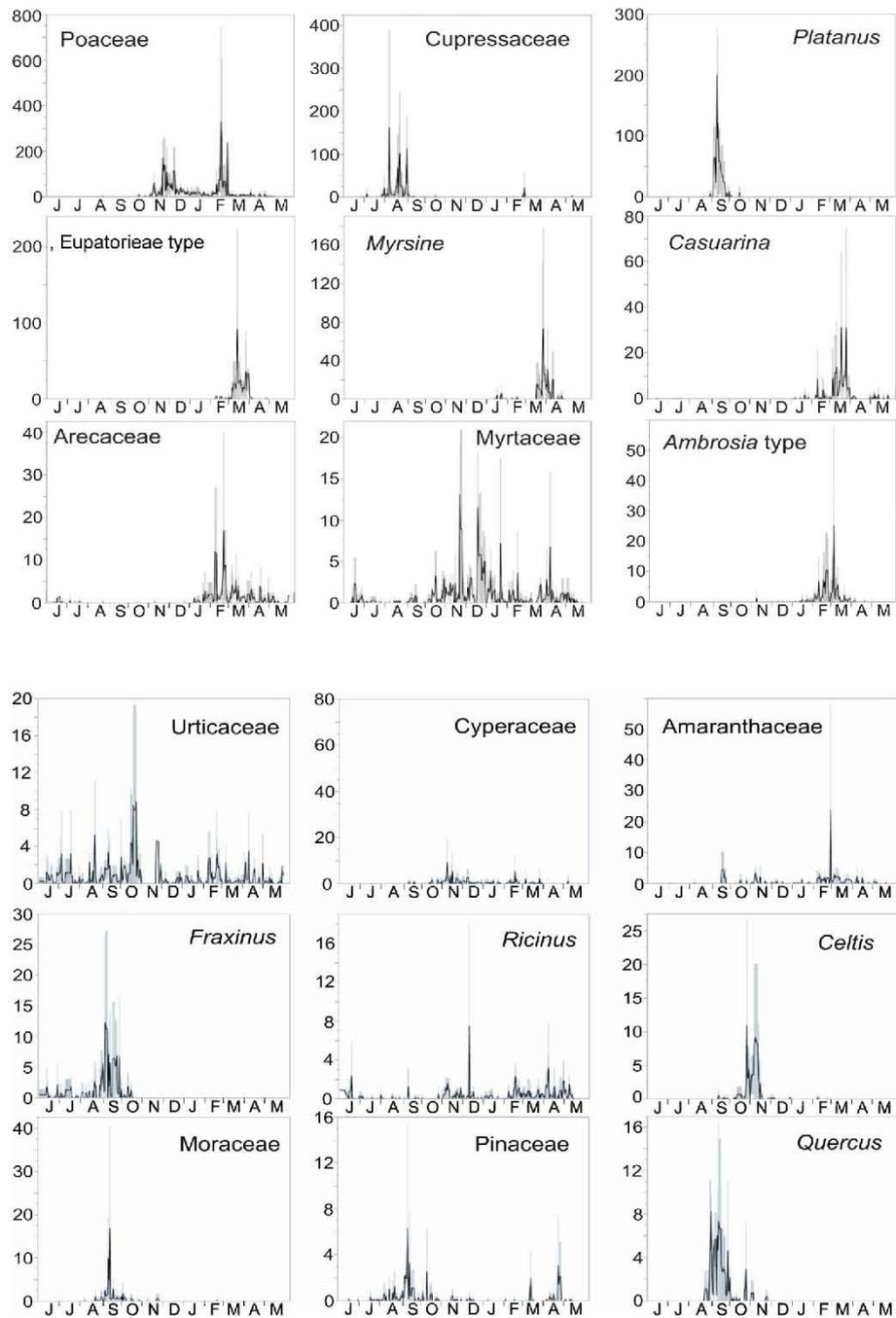


Fig. 4. Average daily counts of the most important pollen types with their corresponding standard deviations for the three year study period, expressed as pollen grains  $m^{-3}$ . Note the different scale on the y-axis.

in March (Fig. 4). Non-woody taxa pollen concentrations began to increase in spring. Poaceae and Urticaceae (1.8% TP) despite being recorded all year, reached high concentrations in October and November-December, respectively (Fig. 4). In fact, Poaceae concentrations remained in high values until the end of summer, recording another period of very high concentrations in February (Fig. 4). Other non-woody taxa with very long pollination periods and contributing with moderate or high concentrations in spring and summer were Amaranthaceae (1.5% TP), *Ricinus* (0.8% TP) and Cyperaceae (1.7% TP) (Fig. 4). In January, summer woody taxa such as *Myrsine* (3.8% TP), *Casuarina* (2.4% TP) and Arecaceae (2.3% TP) began their pollination periods (Fig. 4). Non-woody taxa representing the Asteraceae family, in particular *Ambrosia* (1.9% TP) (Fig. 4), also contribute to the airborne pollen recorded on January. Total pollen concentrations remained slightly lower during February and increased again in March, mainly due to high concentrations of Eupatorieae type (5.3% TP), *Myrsine* and *Casuarina* (Fig. 4). Some taxa exhibited little inter-annual variation, like *Platanus* and Myrtaceae, but in general considerable differences were observed, for instance, in the value and dates of peak concentrations (Fig. 4).

In general, considering the pollen thresholds levels indicated by the AAAAI's National Allergy Bureau (AAAAI 2016), pollen concentrations were above moderate levels an average of 74 days for woody pollen and 265 days for non-woody taxa (Table 1, Fig. 2). However, if thresholds are established using Montevideo percentile values (Table 1), woody and non-woody pollen concentrations would be above

moderate levels (above percentile 50) an average of 182 days per year. Although, non-woody pollen concentrations exceeded high levels approximately the same days per year independently of the threshold value used. On the other hand, the high concentration threshold estimated in Montevideo (percentile 75) had a much lower value (12 pollen grains  $m^{-3}$ ) than that established by the NAB (90 pollen grains  $m^{-3}$ ). Therefore the average number of days above high concentration levels varied according the threshold used (I).

#### Relationship with meteorological data

Mean annual temperature values showed some differences between the periods (Fig. 5A). 2000-2001 annual average mean temperature was 0.88 °C above historical values mainly due to warmer end of summer and autumn seasons. In addition, except for January, April and September all monthly mean temperatures showed significant differences between the sampled periods analyzed.

As expected, daily total pollen and non-woody pollen values showed a strong positive correlation with mean daily temperatures (Table 2).

Accumulated rainfall values showed some differences between the years considered. In 2000-2001 and 2013-2014 higher total rainfalls were registered and in particular the summer of these periods showed larger rainfalls (Fig. 5C). Daily accumulated rainfall values showed a very weak correlation with total daily and non-woody pollen, while total and non-woody pollen concentrations were positively correlated with accumulated rainfalls of previous weeks (Table 2).

Table 1. Pollen concentration thresholds according to NAB and estimated for Montevideo.

Threshold		National Allergy Bureau		Montevideo	
		non-woody	woody	non-woody	woody
Moderate	concentration <sup>1</sup>	5	15	6	4
	days per year <sup>2</sup>	265	74	182	182
High	concentration	20	90	23	12
	days per year	97	12	91	88

<sup>1</sup> Concentration as grains. $m^{-3}$ . <sup>2</sup> Average number of days per year above threshold levels.

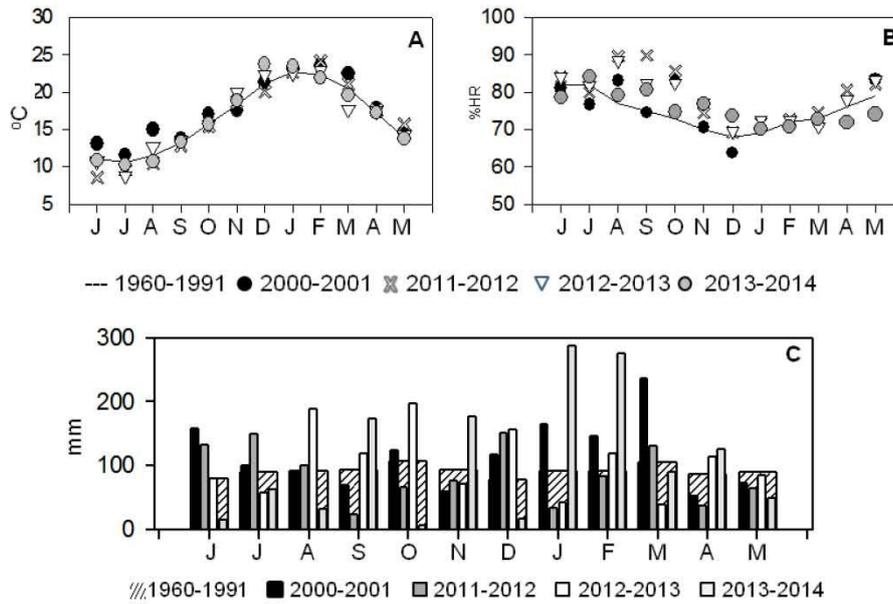


Fig. 5. Meteorological variables of periods analyzed and historical values. **A:** Average mean monthly temperatures. **B:** Average relative air humidity. **C:** Accumulated monthly rainfall.

No significant differences were observed on monthly air relative humidity average values between the years considered and this variable showed a negative correlation with all pollen variables (Table 2).

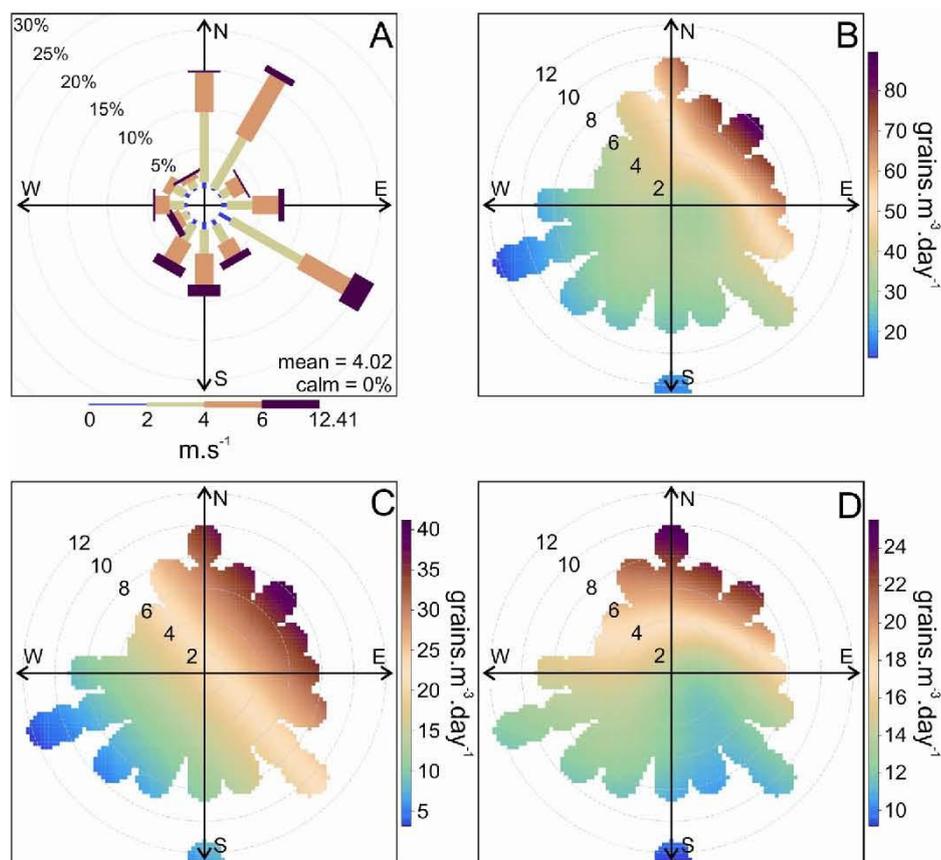
The prevailing wind directions in Montevideo airport were N, NNE and SE (Fig. 6A) but moderate and high pollen values were also recorded when

wind blew from other quadrants (Fig. 6B). Highest mean total pollen values were observed from the NNE at wind speeds above  $6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  (Fig. 6B). Non-woody pollen showed maximum concentrations with winds from the north-east quadrant at speeds above  $4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  (Fig. 6C) while woody mean pollen concentrations showed highest values with N-NNE winds above  $6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  (Fig. 6D). Moderate pollen

Table 2. Spearman rank correlation coefficients between pollen and meteorological variables.

	total	non-woody	woody
T°C	0.48**	0.71**	ns
RH	-0.32*	-0.3**	-0.12*
Rf	-0.14**	-0.11**	-0.09*
Rf'	0.21*	0.17*	ns
ws	0.14**	0.18**	0.08**
wd	-0.16**	-0.15**	-0.112**

Significance level \* $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.001$ .



**Fig. 6.** A: Frequency of wind direction and speed over the study period. Bivariate polar plot of mean pollen concentrations by wind direction and speed for the study site and sampling period (concentric circles represent wind speed in  $m.s^{-1}$ ) B: Total pollen. C: Non-woody pollen. D: woody pollen.

values were observed at lower wind speeds and covering a wider range of wind directions, from the west-north quadrant for woody-pollen (Fig. 6D) and from the NW to the SE for non-woody pollen (Fig. 6C). Therefore, concerning wind intensity and direction, intensity showed very low but significant influence over pollen concentration values, mainly for total and woody pollen values (Table 2).

Given the high correlation between total daily pollen and non-woody pollen values with mean temperatures and relative humidity, multiple linear regression analysis were performed in order to assess the predictive value of such variables. Average daily temperatures and relative air humidity

explained 28% of total daily pollen concentrations ( $r=0.529$ ,  $R^2=0.28$ ,  $p<0.001$ ) and 51 % of non-woody pollen concentrations ( $r=0.714$ ,  $R^2=0.51$ ,  $p<0.001$ ) while daily average temperatures alone explained 47.1% of all variation.

## DISCUSSION

The annual pollen pattern observed in Montevideo is consistent with seasonal fluctuations described in other cities with temperate climate, where maximum values are recorded in spring and early summer while lower values are registered

in autumn and winter. The period of major pollen concentration corresponds to the flowering period of most species growing in the city (Lombardo, 1979; 1982; 1983; 1984). In particular, in Mar del Plata and Bahía Blanca maximum concentrations were also recorded from August to April, and relatively low monthly concentrations were observed from January to April (Latorre & Caccavari, 2009; Murray *et al.*, 2010). However, in other cities such as Buenos Aires (Nitiu *et al.*, 2003) the main emission period ends a month earlier, in March, as it was the case for the period 2000-2001 in Montevideo. The period of minimum pollen values, called residual period in some cases, corresponds to the very end or start of pollen periods of some taxa. Pollen taxa that include several species with very long pollen periods are present all year round e.g. Urticaceae (mainly *Parietaria*), Myrtaceae, Poaceae and Amaranthaceae.

During the studied period, an average of 12150 pollen grains m<sup>3</sup> per year were recorded, similar to total pollen indexes recorded in Caxias (Vergamini *et al.*, 2006) and slightly lower than in Bahía Blanca (Murray *et al.*, 2010) and Santiago de Chile (Rojas & Roure, 2001). However, Montevideo airborne pollen index is lower than those recorded in other cities of the region such as La Plata (Nitiu, 2006), Buenos Aires (Nitiu *et al.*, 2003), Mar del Plata (Latorre & Pérez, 1997; Pérez & Páez, 1998). Even considering the relative higher efficiency of suction samplers (Peel *et al.*, 2014), those indexes are higher than in Montevideo. Furthermore, when overrepresented taxa are excluded from the sum (Latorre & Caccavari, 2009) total pollen values resemble those of Montevideo. However, in those cities, urban flora is mainly represented by several species of Cupressaceae and *Platanus x acerifolia*, trees that release vast numbers of pollen grains per pollination season (Tormo *et al.*, 1996; Hidalgo *et al.*, 1999). In Montevideo city some abundant trees present in public areas are entomophilous and low pollen producers like *Melia azedarach*, and *Tipuana tipu* while *Eucalyptus globulus* and *E. camaldulensis* trees despite being considered mainly entomophilous, produce and liberate high amounts of pollen. Nevertheless, anemophilous trees as *Fraxinus pennsylvanica*, *F. lanceolata*, *Platanus x acerifolia*, *Pinus pinaster* and *Cupressus sempervirens* are also abundant in public areas in the city (Arcos & Pose, 2008). It should be considered

that these values represent the percentage of trees present in public areas but plants are also cultivated in private gardens and parks.

Non-woody pollen contributed slightly more than woody pollen to Total Pollen in Montevideo atmosphere. Conversely, woody pollen dominates the spectra in other cities of Southern South America like Santiago de Chile (Rojas & Roure, 2001; Toro *et al.*, 2015), Mar del Plata (Latorre & Caccavari, 2009), La Plata (Nitiu, 2006) and Caxias (Vergamini *et al.*, 2006). In Montevideo, Poaceae is the most important pollen contributor. Its dominance could be related to the influence of local vegetation on the spectra since the area around the sampling point is an open and grass covered zone. In addition, extra-local (avenues, parks, private gardens) and regional (rural areas) contribution to the spectra could be relevant given that Uruguay belongs to the phytogeographical zone Campos del Río de la Plata (Soriano, 1992) where grasslands are the dominant vegetation. In fact, bivariate analysis of pollen concentration per wind direction and speed support this hypothesis. Despite that moderate concentrations recorded at low wind speed (<2 m.s<sup>-1</sup>) would indicate local origin, higher pollen concentrations observed at higher wind speed may represent an important contribution from more distant grass pollen sources. In fact, rural areas that are potential grass pollen sources are located in the north-east quadrant at 6 km from the sampling point (Fig. 1). However, if Poaceae is removed from the analysis, woody pollen acquires more importance in the spectra resembling pollen assemblages of all cities of the region.

No significant differences were observed between Annual Pollen Integrals in Montevideo city. Nevertheless, significant inter-annual differences were noticed in monthly total concentrations in August, October, November, December, February and March. In addition, many important taxa also exhibited variations in dates and peak concentrations from year to year. The higher total pollen observed at the end of October-early November 2011-12 and 2013-14 periods seems to be an early equivalent of the peaks observed in December 2000-2001 and December 2012-13 and seems to be an indication of an early start of the pollen season for non-woody pollen. No major land use changes have occurred around the sampling point or in the city from 2001 that could explain the

pollen variations observed. Inter-annual differences in airborne pollen concentration is a widely known phenomena and has been explained by a number of events like differences in meteorological conditions (McLauchlan *et al.*, 2011), episodes of long-range transport (Mahura *et al.*, 2007; Cecchi *et al.*, 2007) or inter-annual variation of plant reproductive efforts (Ranta *et al.*, 2008). The main objective the present study was to analyze the main characteristics of atmospheric pollen and therefore more analyses are needed to identify other factors that could explain the inter-annual differences observed. For instance, analyses regarding the individual behavior of pollen types are required.

The diversity of pollen taxa recorded in Montevideo atmosphere represents the floral diversity and the abundance of the anemophilous species growing in the city. The pollination sequence observed was as expected: 1. introduced and native temperate trees flowering at the end of winter with a peak during spring, 2. subtropical trees in summer and autumn, 3. grasses in spring and summer, 4. weeds in summer and early autumn. The most important species recorded in Montevideo's atmosphere are either introduced taxa cultivated for ornamental purposes along public and private spaces or adventitious plants growing in green areas. The predominance of introduced taxa on the pollen spectra seems to be a general characteristic of urban areas where exotic flora is preferred over native taxa. This feature is observed in cities of the region such as Mar del Plata (Latorre & Pérez, 1997), and Buenos Aires (Nitiu *et al.*, 2003). Despite this, pollen from native taxa such as those from the genus *Celtis* (mainly *Celtis spinosa* and *Celtis tala*), Anacardiaceae (*Schinus*, *Lithraea*), *Dodonaea viscosa* and *Myrsine* (from *Myrsine coriacea*, *Myrsine laetevirens*, *Myrsine parvula*) were recorded in the atmosphere. In addition, other native types accounted for low values, representing all together a sort of geographic signature on the atmospheric spectra. *Celtis* was also recorded in cities of the same biogeographic region such as Mar del Plata (Latorre & Pérez, 1997), La Plata (Nitiu, 2003), Buenos Aires (Nitiu *et al.*, 2003) and Bahía Blanca (Murray *et al.*, 2010). *Schinus* was recorded in La Plata (Nitiu, 2003) and Bahía Blanca (Murray *et al.*, 2010) while *Myrsine* was registered in Caxias do Sul (Brasil) (Vergamini *et al.*, 2006) and La Plata (Nitiu, 2003).

It must be highlighted that many important taxa recorded in this study, in particular Poaceae, Cupressaceae, *Platanus*, *Quercus*, Urticaceae, Chenopodiaceae and *Ambrosia*, are cited as the most aeroallergenic pollen types in Europe (Baroni *et al.*, 2008; D'Amato *et al.*, 2007). In addition, many of them exceeded moderate and high concentrations thresholds during considerable periods of time along the year. Grasses could be particularly important in Montevideo since they are the major cause of pollinosis in Europe (D'Amato *et al.*, 2007) and represented up to 47% of total pollen in Montevideo. Furthermore, Poaceae pollen concentrations exceeded during weeks threshold levels indicated in other countries as responsible for triggering allergic responses in sensitive individuals (Feo Brito *et al.*, 2011). However, the potential impact of allergenic airborne pollen in public health has not been evaluated in Uruguay and should be addressed in further investigations.

Regarding the meteorological influence on the airborne pollen, mean daily temperature showed a positive influence on pollen values, in particular, over non-woody pollen mainly due to most non-woody plants flower during spring and summer. In addition, high temperatures, may have prompted not only anthesis, and therefore pollen emission, but, together with moderate winds and low relative humidity, also pollen dispersion (Helbig *et al.*, 2004).

The washout effect of rainfall on pollen concentrations can be difficult to establish. This effect could explain some differences, for instance, March 2001 was rainier than other periods and rainfall could have washed out airborne pollen, bringing also the pollen season to an end. Even though, on the studied periods, rainfalls during summer were similar to the average values for the 1961-1990 period, while very low rainfalls were recorded in January 2011-12 when a severe summer drought was experienced. This could explain the low non-woody pollen recorded in January and February 2011-12 since herbaceous vegetative growth could have been severely affected because of the drought. On the other hand, higher accumulated rainfall values previous to pollination period can have a positive effect on non-woody pollen concentration values (Cariñanos *et al.*, 2004; McLauchlan *et al.*, 2011). Higher rainfalls recorded weeks before February and March 2013-14 may have prompted higher non-woody pollen concentrations recorded during these months. The influence of

meteorological conditions on pollen concentrations, previous and during the pollination periods, could be veiled by the fact that non-woody and woody categories include a wide range of species that have different climatic requirements and will be the subject of further analysis.

## CONCLUSIONS

The marked seasonality observed on the pollen spectra of Montevideo city is determined by the flowering periods of the plants that are sources of most abundant pollen types, in particular, anemophilous species.

Woody pollen dominated the spectra by the end of winter and spring while non-woody pollen accounted for most of anemophilous pollen by the end of spring and summer. The most important contributor to total pollen was Poaceae, a well represented pollen type since species of this family are dominant in the local and regional vegetation.

Inter-annual differences were observed in terms of pollen concentration, and peak concentration dates. Temperature, relative humidity and accumulated rainfalls of previous weeks were the most important parameters influencing pollen concentrations.

Bivariate analysis of wind speed and direction suggest that rural areas are potential sources of pollen and have some influence on the pollen concentrations recorded in Montevideo.

Allergenic taxa were registered in high concentrations in Montevideo city, highlighting the relevance of aeropalynological studies for public health and urban planning.

This study spanned only four year and just three of them consecutive; therefore, more data are needed to evaluate inter-annual and seasonal variations, to elaborate predictive models for particular pollen taxa and to assess the influence of meteorological variables on pollen values at species level, issues that are the focus of further studies.

## ACKNOWLEDGMENTS

We acknowledge CSIC I+D (2010), PEDECIBA and ANII for their financial support. We also thank INUMET for providing the meteorological data from Carrasco Airport meteorological station.

## BIBLIOGRAPHY

- AAAAI. 2016. NAB pollen and mold spore levels. *American Academy of Allergy, Asthma & Immunology*. Available: [http://pollen.aaaai.org/nab/index.cfm?p=reading\\_charts3&statid=85](http://pollen.aaaai.org/nab/index.cfm?p=reading_charts3&statid=85).
- ARCOS, A. & R. POSE. 2008. *Informe preliminar del censo de arbolado público*. Montevideo, Intendencia Municipal de Montevideo.
- ASHER, M.I., S. MONTEFORT & B. BJORKSTEN 2006. Worldwide time trends in the prevalence of symptoms of asthma, allergic rhinoconjunctivitis, and eczema in childhood: ISAAC phases one and three repeat multicountry cross-sectional surveys. *The Lancet* 368: 733-743.
- BARONI, M.V., D.A. ALVAREZ, G.A. WUNDERLIN & G.A. CHIABRANDO. 2008. Analysis of IgE binding proteins of Celtis tala pollen. *Food and Agricultural Immunology* 19: 187-194.
- BASSETT, I.J., C.W. CROMPTON & J.A. PARMELEE. 1978. *An atlas of airborne pollen grains and common fungus spores of Canada*. Ottawa: Department of Agriculture.
- BIANCHI, M.M. 1992. Calendario polínico de la ciudad de Mar del Plata (Agosto 1987-Agosto 1989). *Archivos Argentinos de Alergia Immunología. Clínica* 23: 73-86.
- BIANCHI, M.M. & S.E. OLABUENAGA. 2006. A 3-year airborne pollen and fungal spores record in San Carlos de Bariloche, Patagonia, Argentina. *Aerobiologia* 22: 247-257.
- BRETON, M.C., M. GARNEAU, I. FORTIER, F. GUAY & J. LOUIS. 2006. Relationship between climate, pollen concentrations of Ambrosia and medical consultations for allergic rhinitis in Montreal, 1994-2002. *Science of the Total Environment* 370: 39-50.
- BROWN, T., D.A. FRENZ & T.L. WIMPSETT. 1993. *Operating instructions for the Rotorod Sampler*. Minnetonka: Sampling Technologies, Inc, USA.
- CABRERA, A.L. & A. WILLINK. 1973. *Biogeografía de América Latina*. Washington, D.C., Secretaría de la OEA.
- CARIÑANOS, P., C. GALAN, P. ALCAZAR & E. DOMINGUEZ. 2004. Airborne pollen records response to climatic conditions in arid areas of the Iberian Peninsula. *Environmental and Experimental Botany* 52: 11-22.
- CARSLAW, D.C. 2015. *The openair manual - open-source tools for analyzing air pollution data*. Manual for version 1.1-4, King's College London.
- CECCHI, L., T.T. MALASPINA, R. ALBERTINI, M. ZANCA, E. RIDOLO, I. USBERTI, M. MORABITO, P. DALL'AGLIO & S. ORLANDINI. 2007. The contribution of long-distance transport to the presence of Ambrosia pollen in central northern Italy. *Aerobiologia* 23: 145-151.

## L. Tejera *et al.* - Airborne pollen in Montevideo city, Uruguay

- CECCHI, L., G. D'AMATO, J.G. AYRES, C. GALAN, F. FORASTIERE, B. FORSBERG, J. GERRITSEN, C. NUNES, H. BEHRENDT, C. AKDIS, R. DAHL & J. ANNESI-MAESANO. 2010. Projections of the effects of climate change on allergic asthma: The contribution of aerobiology. *Allergy* 65: 1073-1081.
- D'AMATO, G., L. CECCHI, S. BONINI, C. NUNES, I. ANNESI-MAESANO, H. BEHRENDT, G. LICCARDI, T. POPOV & P. VAN CAUWENBERGE. 2007. Allergenic pollen and pollen allergy in Europe. *Allergy* 62: 976-990.
- DAMIALIS, A., D. GIOULEKAS, C. LAZOPOULOU, C. BALAFOUTIS & D. VOKOU. 2005. Transport of airborne pollen into the city of Thessaloniki: the effects of wind direction, speed and persistence. *International Journal of Biometeorology* 49: 139-145.
- DE WEGER, L.A., K.C. BERGMANN, A. RANTIO-LEHTIMÄKI, Å. DAHL, J. BUTERS, CH. DÉCHAMP, J. BELMONTE, M. THIBAUDON, L. CECCHI, J.P. BESANCENOT, C. GALÁN & Y. WAISEL. 2013. IMPACT OF POLLEN. IN: SOFIEV M, BERGMANN K. (eds.) *Allergenic Pollen. A Review of the Production, Release, Distribution and Health Impacts*. Dordrecht, Springer Science+Business Media. p. 161-215
- EDMONDS, R.L. 1979. *Aerobiology: The Ecological Systems Approach*. Stroudsburg (PA), Dowden, Hutchinson and Ross.
- FEO BRITO, F., P. MUR GIMENO, J. CARNÉS J, E. FERNÁNDEZ CALDAS & A.M. ALONSO, GARCIA, R. & M. GUERRA. 2011. Grass pollen, aeroallergens and clinical symptoms in Ciudad Real, Spain. *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology* 20: 295-302.
- FREI, T. & E. GASSNER. 2007. Climate change and its impact on birch pollen quantities and the start of the pollen season an example from Switzerland for the period 1969-2006. *International Journal of Biometeorology* 52: 667-674.
- FUHRMAN, C., H. SARTER, M. THIBAUDON, M.C. DELMAS, A. ZEGHNOUN & J. LECADET. 2007. Short-term effect of pollen exposure on antiallergic drug consumption. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology* 99: 225-231.
- GALÁN, C., A. ARIATTI, M. BONINI, B. CLOT, B. CROUZY, A. DAHL, D. FERNANDEZ-GONZÁLEZ, G. FRENGUELLI, R. GEHRIG, S. ISARD, E. LEVETIN, D.W. LI, P. MANDRIOLI, C.A. ROGERS, M. THIBAUDON, I. SAULIENE, C. SKJOTH, M. SMITH & M. SOFIEV. 2017. Recommended terminology for aerobiological studies. *Aerobiologia*, 33, 293–295.
- GENTILE, D., A. BARTHOLOW, E. VALOVIRTA, G. SCADDING & D. SKONER. 2013. Current and Future Directions in Pediatric Allergic Rhinitis. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice* 1: 214-226.
- GREGORY, P.H. 1973. *The Microbiology of the Atmosphere*. New York, John Wiley & Sons, Inc.
- HELBIG, N., B. VOGEL, H. VOGEL & F. FIEDLER. 2004. Numerical modelling of pollen dispersion on the regional scale. *Aerobiologia* 20: 3-19.
- HIDALGO, P.J., C. GALÁN & E. DOMÍNGUEZ. 1999. Pollen production of the genus *Cupressus*. *Grana* 38: 296-300.
- LATORRE, F. 1997. Comparison between phenological and aerobiological patterns of some arboreal species of Mar del Plata (Argentina). *Aerobiologia* 13: 49-59.
- LATORRE, F. & C. PÉREZ. 1997. One year of airborne pollen sampling in Mar del Plata (Argentina). *Grana* 36: 49-53.
- LATORRE, F. & M.A. CACCAVARI. 2009. Airborne pollen patterns in Mar del Plata atmosphere (Argentina) and its relationship with meteorological conditions. *Aerobiologia* 27: 297-312.
- LEWIS, W.H., P. VINAY & V.E. ZENGER. 1983. *Airborne and allergenic pollen in North America*. Baltimore, The Johns Hopkins University Press.
- LOMBARDO, A. 1979. *Los árboles cultivados en los paseos públicos*. Montevideo, Intendencia Municipal de Montevideo.
- LOMBARDO, A. 1982. *Flora Montevidensis. Vol. I*. Montevideo, Intendencia Municipal de Montevideo.
- LOMBARDO, A. 1983. *Flora Montevidensis. Vol. II Gamopétalas*. Montevideo, Intendencia Municipal de Montevideo.
- LOMBARDO, A. 1984. *Flora Montevidensis. Vol. III Monocotiledoneas*. Montevideo, Intendencia Municipal de Montevideo.
- LORSCHBITTER, M.L., F. MACHADO VIEIRA & F. DE OLIVERA. 1986. Conteúdo polínico atmosférico na cidade de Caixas do Sul, Rio Grande do Sul (Brasil), e sua correlação alérgica. *Paleobotânica e Palinologia da América do Sul*, Boletim IG-USP, Instituto Geociências, Universidade de São Paulo 17: 131-140.
- MAHURA, A.G., U.S. KORSHOLM, A.A. BAKLANOV & A. RASMUSSEN. 2007. Elevated birch pollen episodes in Denmark: Contributions from remote sources. *Aerobiologia* 23: 171-179.
- MALLO, A.C., D.S. NITIU & M.C. GARDELLA SAMBETH. 2011. Airborne fungal spore content in the atmosphere of the city of La Plata, Argentina. *Aerobiologia* 27: 77-84.

- MARKGRAF, V. & H.L. D'ANTONI. 1978. *Pollen flora of Argentina. Modern spore and pollen types of Pteridophyta, Gymnospermae and Angiospermae*. Tucson, The University Press.
- MCLAUCHLAN, K.K., CH.S. BARNES & J.M. CRAINE. 2011. Interannual variability of pollen productivity and transport in mid-North America from 1997 to 2009. *Aerobiologia* 27: 181-189.
- MURRAY, M.G., M.I. SONAGLIONI & C.B. VILLAMIL. 2002. Annual variation of airborne pollen in the city of Bahía Blanca, Argentina. *Grana* 41: 183-189.
- MURRAY, M.G., R.L. SCOFFIELD, C. GALÁN & C.B. VILLAMIL. 2007. Airborne pollen sampling in a Wildlife Reserve in the south of Buenos Aires province, Argentina. *Aerobiologia* 23: 107-117.
- MURRAY, M.G., C. GALÁN & C.B. VILLAMIL. 2008. Aeropalynological research in Salitral de la Vidriera, Buenos Aires province, Argentina. *Aerobiologia* 24: 181-190.
- MURRAY, M.G., C. GALÁN & C.B. VILLAMIL. 2010. Airborne pollen in Bahía Blanca, Argentina: seasonal distribution of pollen types. *Aerobiologia* 26: 195-207.
- MURRAY, M.G. & C. GALÁN. 2016. Effect of the meteorological parameters on the *Olea europaea* L. pollen season in Bahía Blanca (Argentina). *Aerobiologia* 32:541-553.
- NILSSON, S. & S. PERSSON. 1981. Tree pollen spectra in the Stockholm region (Sweden), 1973-1980. *Grana* 20:179-182.
- 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. 2006. Aeropalynologic analysis of La Plata City (Argentina) during a 3-year period. *Aerobiologia* 22: 79-87.
- NITIU, D.S & A.C. MALLO. 2011. Seasonal variation of pollen and fungal spores in the atmosphere of Plata city (Argentina). *Bol. Soc. Argent. Bot.* 46: 297-304
- NOETINGER, M., E.J. ROMERO & F.D. MAJAS. 1994. Airborne pollen and spores monitoring in Buenos Aires City: A preliminary report. Part II. Herbs, weeds (NAP) and spores. General discussion. *Aerobiologia* 10: 129-139.
- OLSON, D.M., E. DINERSTEIN, E.D. WIKRAMANAYAKE, N.D.BURGESS, G.V.N. POWELL, E.C. UNDERWOOD, J.A. D'AMICO, I. ITOUA, H.E. STRAND, J.C. MORRISON, C.J. LOUCKS, T.F. ALLNUTT, T.H. RICKETTS, Y. KURA, J.F. LAMOREUX, W.W. WETTENGEL, P. HEDAO & K.R. KASSEM. 2001. Terrestrial ecoregions of the world: A new map of life on Earth. *BioScience* 51: 933-938.
- PEEL, R.G., R. KENNEDY, M. SMITH & O.HERTEL. 2014. Relative efficiencies of the Burkard 7-Day, Rotorod and Burkard Personal samplers for Poaceae and Urticaceae pollen under field Conditions. *Ann. Agr. Environ. Med.* 21: 745-752.
- PÉREZ, C. & M.M. PÁEZ. 1998. Seasonal airborne pollen pattern in Mar del Plata City, Argentina. *Aerobiologia* 14: 383-389.
- PÉREZ, C.F., J.M. GARDIOL & M.M. PÁEZ. 2001. Comparison of intradiurnal variation of airborne pollen in Mar del Plata (Argentina). Non-arboreal pollen. *Aerobiologia* 17: 151-163.
- PÉREZ, C.F., J.M. GARDIOL & M.M. PÁEZ. 2003. Diurnal variation of airborne pollen in Mar del Plata (Argentina). Arboreal pollen. *Grana* 42: 161-167.
- PÉREZ, C., M.I. GASSMANN, M.COVI. 2009. An evaluation of the airborne pollen-precipitation relationship with the superposed epoch method. *Aerobiologia* 25: 313-320.
- RANTA, H.,T. HOKKANEN, T. LINKOSALO, L. LAUKKANEN, K.BONDESTAM & A. OKSANEN. 2008. Male flowering of birch: Spatial synchronization, year-to-year variation and relation of catkin numbers and airborne pollen counts. *Forest Ecol. Manag.* 255: 643-650.
- RECIO, M., S. DOCAMPO, J. GARCÍA-SÁNCHEZ, M.M TRIGO, M. MELGAR & B. CABEZUDO. 2010. Influence of temperature, rainfall and wind trends on grass pollination in Malaga (western Mediterranean coast). *Agr. Forest Meteorol.* 150: 931-940.
- ROJAS, G., J.M. ROURE. 2001. Atmospheric pollen in Santiago, Chile. *Grana* 40: 126-132.
- Soriano, A. 1992. The Río de la Plata Grasslands. In: COUPLAND RT. (ed.) *Natural grasslands. Introduction and Western hemisphere*. Amsterdam, Elsevier. p. 367-407.
- SPIEKSMAN, F.T.H., G. D'AMATO, J. MULLINS, N. NOLARD, R. WACHTER & E.R. WEEK. 1989. City spore concentrations in the European Economic Community (EEC). VI. Poaceae (Grasses) 1982-1986. *Aerobiologia* 5: 38-43.
- TEJERA, L. & A. BERI. 2003. Estudio palinológico de la ciudad de Montevideo, R.O.del Uruguay. Análisis preliminar. *Polen* 12: 107-115.
- TEJERA, L. & A. BERI. 2005. First volumetric airborne pollen sampling in Montevideo City, Uruguay. *Aerobiologia* 21: 33-41.
- TORMO MOLINA, R., A. MUÑOZ, I. SILVA & F. GALLARDO. 1996. Pollen production in anemophilous trees. *Grana* 35: 38-46.
- TORO, A.R., J.A. CÓRDOBA, M. CANALES, S.R.G. MORALES, P.P. MARDONES & G.M.A. LEIVA. 2015. Trends and thresholds exceedances analysis

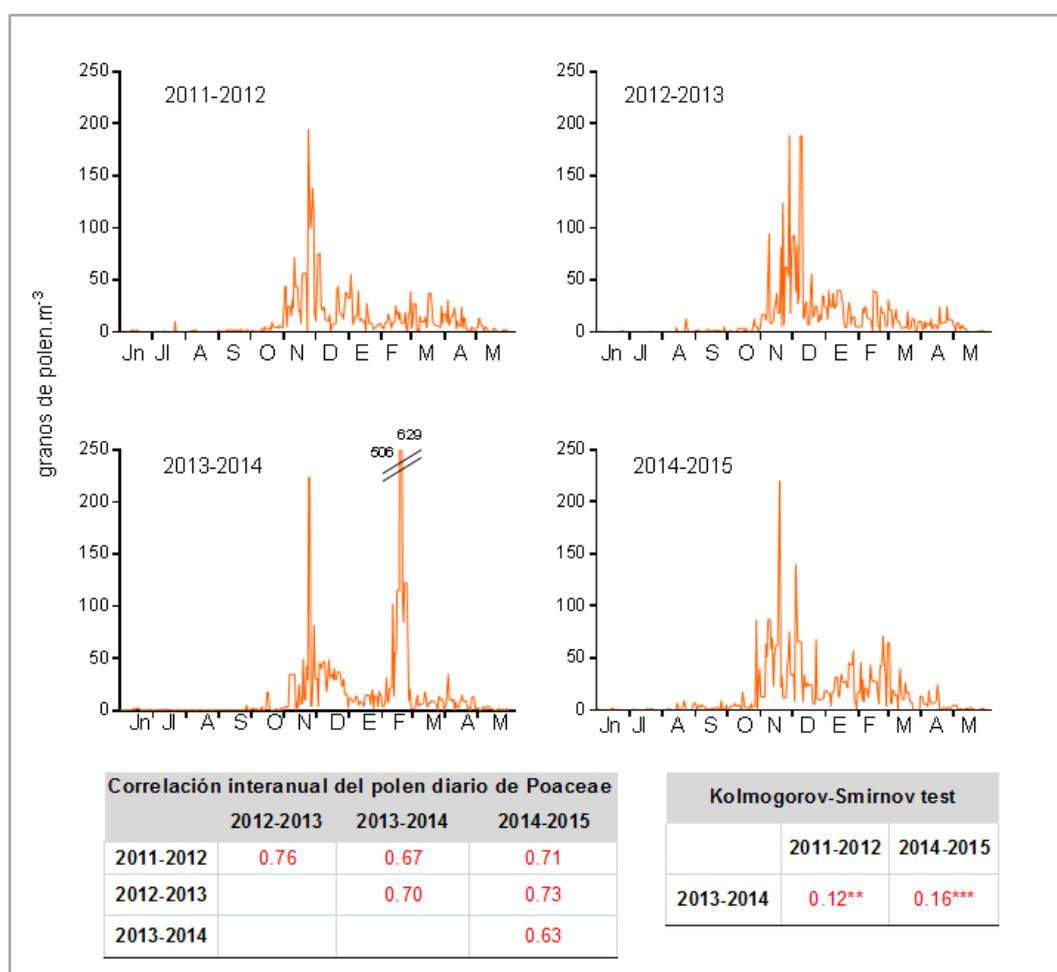
## L. Tejera *et al.* - Airborne pollen in Montevideo city, Uruguay

- of airborne pollen concentrations in Metropolitan Santiago Chile. *PLoS ONE* 10(5): e0123077. doi:10.1371/journal.pone.0123077
- VERGAMINI, S.M., R.M. VALENCIA-BARRERA, B.C. DE ANTONI ZOPPAS, C. PÉREZ MORALES & D. FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ. 2006. Pollen from tree and shrub taxa in the atmosphere of Caxias do Sul (Rio Grande do Sul, Brazil). *Aerobiologia* 22: 141-148.
- ZIELLO, C., T.H. SPARKS, N. ESTRELLA, J. BELMONTE, K.C. BERGMAN, E. BUCHER, M.A. BRIGHETTI, A. DAMIALIS, M. DETANDT, C. GALÁN, R. GEHRIG, L. GREWLING, A.M. GUTIÉRREZ BUSTILLO, M. HALLSDÓTTIR, M.C. KOCKHANS-BIEDA, C. DE LINARES, D. MYSZKOWSKA, A. PÁLDY, A. SÁCHEZ M. SMITH, M. THIBAUDON, A. TRAVAGLINI, A. URUSKA, R.M. VALENIA-BARRERA, D. VOKOU, R. WACHTER, L.A. DE WEGER & A. MENZEL. 2012. Changes to Airborne Pollen Counts across Europe. *PLoS ONE* 7(4): <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0034076>
- Recibido el 4 de diciembre de 2017, aceptado el 3 de abril de 2018. Editor: Gonzalo J. Márquez.

**CAPÍTULO 3.2.**  
**TIPOS POLÍNICOS PRINCIPALES**  
**POACEAE**

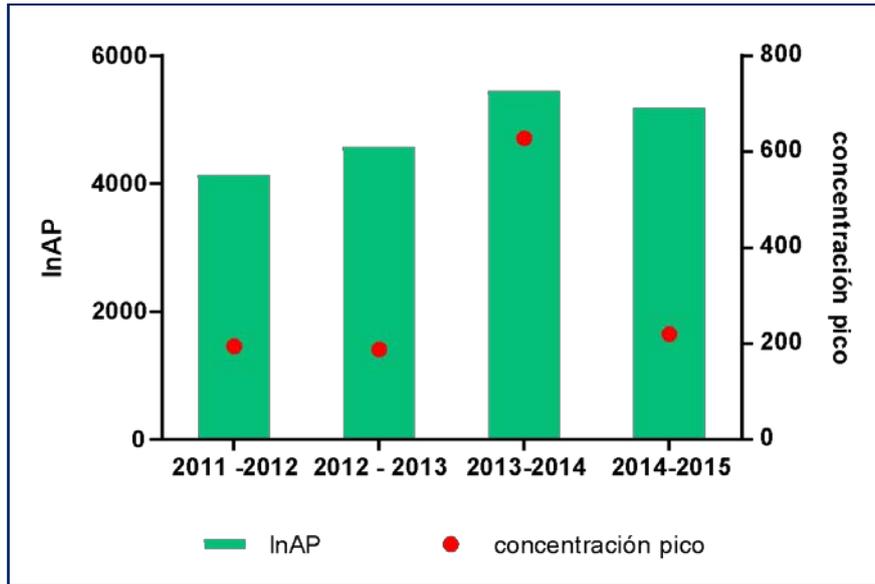
## RESULTADOS

Poaceae es el tipo polínico con mayor representación en Malvín Norte. Representa en promedio el 37% del polen total y se registra el 95% de los días del año. Las concentraciones diarias de Poaceae son mínimas durante el invierno, comienzan a aumentar en octubre y se mantienen relativamente altas hasta abril (Figura 3.2.1.). Este patrón fue relativamente similar todos los años, tal como lo indican altos y significativos coeficientes de correlación (Figura 3.2.1.). Aunque para el período 2013-2014 se observaron coeficientes de correlación ligeramente menores con el resto de los períodos y también diferencias significativas entre las distribuciones de concentraciones diarias (Figura 3.2.1).



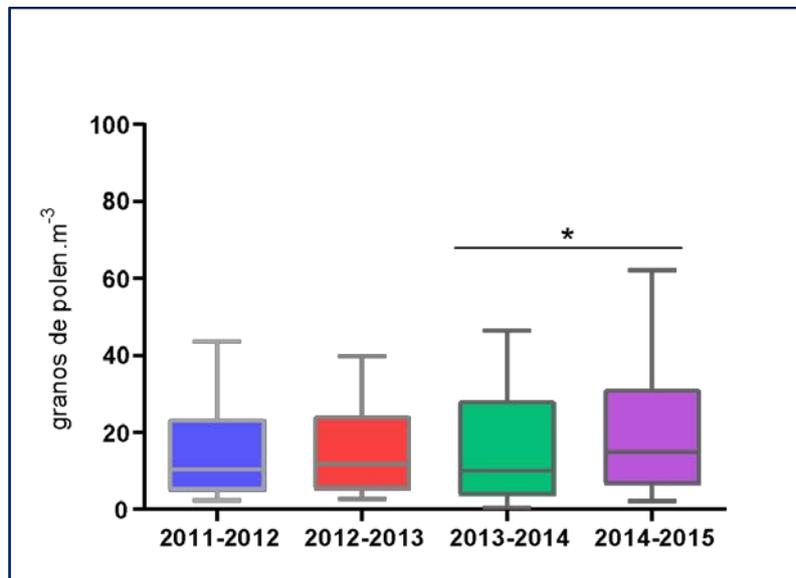
**Figura 3.2.1.** Polen diario de Poaceae en cada período de muestreo, coeficientes de correlación de Spearman y test de Kolmogorov – Smirnov entre los años. Nótese los picos de concentración del período 2013-2014.

El integral de polen anual promedio fue de 4.843 granos de polen.m<sup>-3</sup>, siendo el 2013-2014 el período de mayores concentraciones totales anuales (Figura 3.2 2)



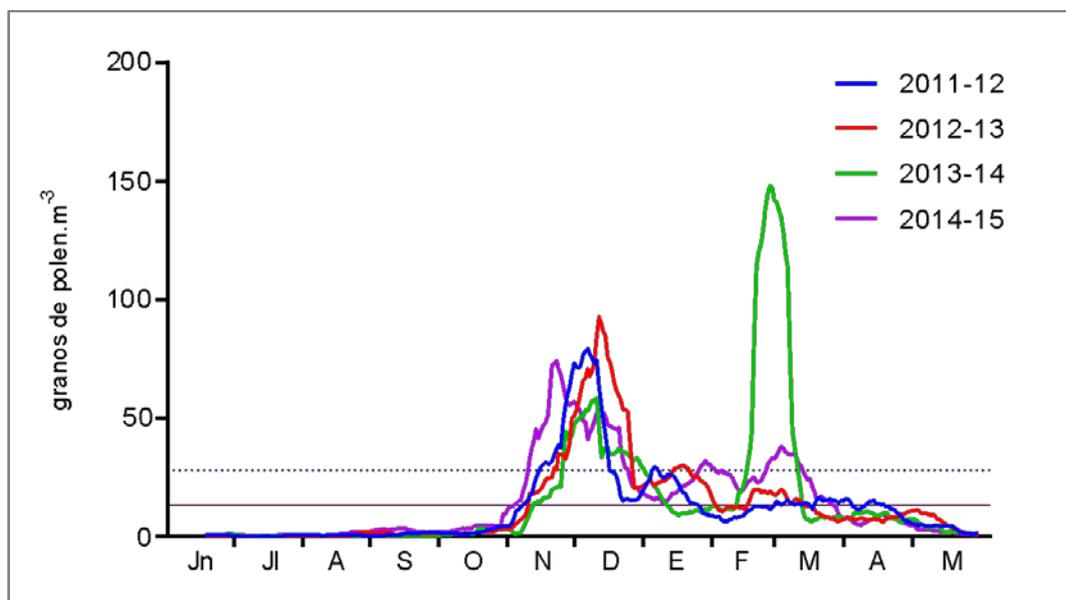
**Figura 3.2 2.** Integrales anuales de polen (InA) y picos polínicos de Poaceae en Malvín Norte para cada año estudiado. Valores en granos de polen.m<sup>-3</sup>

Estas mayores concentraciones anuales y las diferencias en los patrones de concentración diarios a lo largo del año, se reflejan en valores medios y desvíos estándares de concentración levemente diferentes para cada año de muestreo, siendo significativamente diferente el período 2014-2015 con respecto a los períodos 2011-2012, 2012-2013 y 2013-2014 (Figura 3.2 3).



**Figura 3.2 3.** Diagrama de cajas de la concentración de Poaceae en función del período de estudio. Las líneas horizontales indican la mediana de los datos, las cajas comprenden el primer y tercer cuartil y las líneas verticales los percentiles 10 y 90 de la distribución de los los datos. Se indica diferencia significativa del test Kruskal Wallis, *post hoc* Dunn, \*\*  $p = 0,004$ .

Al analizar las concentraciones medias móviles de Poaceae se observa, en términos generales, un primer período de concentraciones altas en noviembre-diciembre y un segundo período de concentraciones relativamente altas en enero – febrero (Figura 3.2 4). Un último período de concentraciones relativamente elevadas se registró en febrero-marzo, sobre todo durante los años 2012-2013 y 2014-2015, mientras que en el año de muestreo 2011-2012 se observó como un período de concentraciones levemente elevadas que desciende abruptamente en abril. El año de muestreo 2013-2014 mostró un patrón diferente, donde no se registran tres sino dos períodos, y es en verano cuando se registra el pico de concentraciones de ese año (Figura 3.2.4).



**Figura 3.2.4.** Media móvil (ventana de 5 días) de la concentración de Poaceae para cada año de muestreo aerobiológico. Líneas horizontales indican concentraciones de 13 y 29 granos de polen.m<sup>-3</sup>(umbrales moderado y alto respectivamente).

### Estación polínica principal

De los criterios evaluados para determinar la estación polínica principal (EPP) de Poaceae (Anexo 1) no se observaron diferencias significativas en las fechas de inicio y finalización estimadas, tanto a partir del método del porcentaje acumulado del 90%, como a partir del criterio que utiliza concentraciones umbrales de 13 o 28 granos de polen.m<sup>-3</sup>. Sin embargo, se observó un mejor ajuste con el criterio de los 13 granos de polen.m<sup>-3</sup>, por lo cual se escogió este criterio para determinar la EPP de Poaceae para Montevideo.

Si bien se registra polen de Poaceae casi todos los días del año, la estación polínica principal tiene una duración media de 153 días. En promedio, se inicia el 1 de noviembre y

termina en el entorno del 3 de abril, con una baja variación interanual en éstos parámetros (Tabla 3.2. 1). Las concentraciones máximas fueron el descriptor que presentó las mayores diferencias entre años, desvío estándar 214 y coeficiente de variación 69%, aunque la fecha en que se registran (exceptuando el año 2013) presenta una variación menor y se sitúa en el entorno del 24 de noviembre, excepto en el período 2013-2014 que se registró en febrero (Tabla 3.2. 1).

**Tabla 3.2. 1–** Descriptores de la estación polínica principal de Poaceae.

	EPP			Pico			InAP
	Inicio	Fin	Duración	fecha	conc.	días>umbral alto	
<b>2011-12</b>	1/11	11/4	161	24/11	195	37	4151
<b>2012-13</b>	2/11	10/4	159	28/11	188	40	4575
<b>2013-14</b>	6/11	4/4	149	19/2	629	52	5456
<b>2014-15</b>	28/10	20/3	143	19/11	220	57	5188
<b>Media</b>	1/11	3/4	153	15/12	308	46,5	4843
<b>DE</b>	3,7	10,15	8,5	43,8	214,4	9,6	590
<b>CV</b>	2,39%	3,30%	5.5%	22,08%	69,62%	20,51%	12,19%

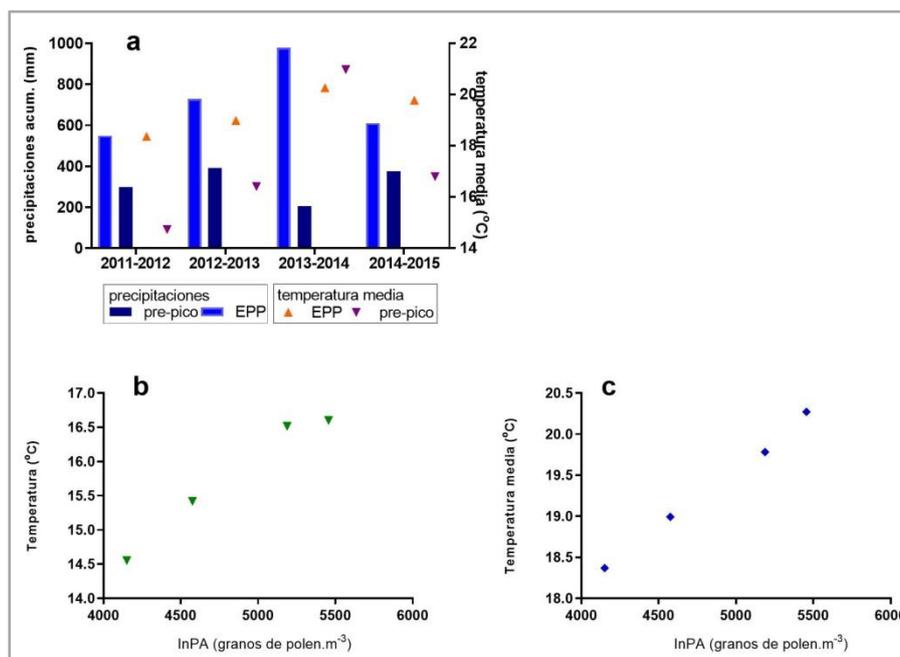
DE, desvío estándar; CV, coeficiente de variación.

Se analizó de forma descriptiva la relación entre los descriptores de la EPP y las condiciones meteorológicas previas y durante la EPP, dado que cuatro años constituyen un número limitado de datos para sacar conclusiones definitivas acerca de esta relación. En este análisis se observa que las precipitaciones acumuladas mostrarían un impacto diferencial, meses lluviosos previos al inicio de la EPP se relacionarían con bajos InAP, mientras que mayores precipitaciones acumuladas durante la EPP estuvieron relacionadas con un InAP alto (Figura 3.2 5a). Por otra parte, mayores temperaturas los meses previos al inicio de la EPP y durante la EPP, estarían relacionadas con mayores InAP (Figura 3.2 5b,c). En particular, la temperatura media de los dos meses anteriores (Figura 3.2 5b) y la media registrada durante la EPP (Figura 3.2 5c).

### Umbrales polínicos

Los umbrales de concentración estimados para Poaceae a partir de los datos de la EPP fueron menores a los establecidos por la Red Española de Aerobiología (REA) pero similares a los manejados por la Asociación Americana de Alergia, Asma e Inmunología (AAAAI) (Tabla 3.2. 2). Si bien el umbral de concentraciones bajas fue tres veces superior al

de la AAAAI. A partir de los umbrales estimados fue posible establecer el número de días que las concentraciones superan esos valores. Es relevante que, en promedio, 102 y 46 días al año se superan los umbrales considerados moderados y altos respectivamente, mientras que solo durante 3 días se superarían umbrales considerados como muy altos. El umbral moderado es superado durante toda la EPP, mientras que el umbral es superado principalmente de noviembre a diciembre, excepto en el período 2013-2014, que ocurre en el verano (Figura 3.2.4).



**Figura 3.2.5.** Relación polen de Poaceae y condiciones meteorológicas. **a.** Precipitaciones acumuladas y temperatura media durante la EPP y previas al pico de concentración (pre-pico). **b.** Relación entre el InAP y la temperatura media de los dos meses previos a la EPP **c.** Relación entre el InAP y la temperatura media durante la EPP.

**Tabla 3.2. 2.** Umbrales de concentración para Poaceae estimados con los datos de Montevideo y los correspondientes umbrales de la AAAAI y la REA.

Umbrales de concentración - Poaceae				
	Montevideo		AAAAI	REA
	concentración	Días	concentración	
bajo	<12	265	<4	<25
moderado	12-28	56	5-19	26-50
alto	29-179	46	20-199	>50
muy alto	>179	3	>199	

días= número de días en que la concentración se registra en determinada categoría.

## Relación con condiciones meteorológicas

Las concentraciones diarias de gramíneas mostraron una correlación positiva con las temperaturas medias todos los años, observándose las mayores correlaciones durante los años 2012-2013 y 2013-2014 (Tabla 3.2. 3). Si se consideran todos los datos en su conjunto y todos los años juntos, se observa una alta correlación con la temperatura media, una muy baja correlación con la velocidad del viento y correlaciones negativas también muy bajas con la humedad relativa del aire y la dirección del viento (Tabla 3.2. 3).

**Tabla 3.2. 3.** Correlación de las concentraciones polínicas diarias de Poaceae durante la EPP con las condiciones meteorológicas.

Poaceae - EPP	T media	HR	pp	vv	dv
<b>2011</b>	0.28 ***	ns	ns	ns	-0.2 *
<b>2012</b>	0.47 ***	ns	ns	ns	ns
<b>2013</b>	0.46 ***	ns	ns	ns	ns
<b>2014</b>	0.31 ***	ns	ns	ns	ns
<b>Todos los años</b>	0.76 ***	-0.26 ****	ns	0.11***	-0.16 ***

$p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$

Si se analiza la correlación entre las concentraciones de polen en los diferentes períodos de la EPP, se observa que en el período pre-pico la correlación más alta sigue siendo con las temperaturas media diaria y máxima y una correlación con la humedad relativa del aire (Tabla 3.2. 4.). Estos coeficientes de correlación se mantienen significativos pero disminuye la relación en el período post-pico.

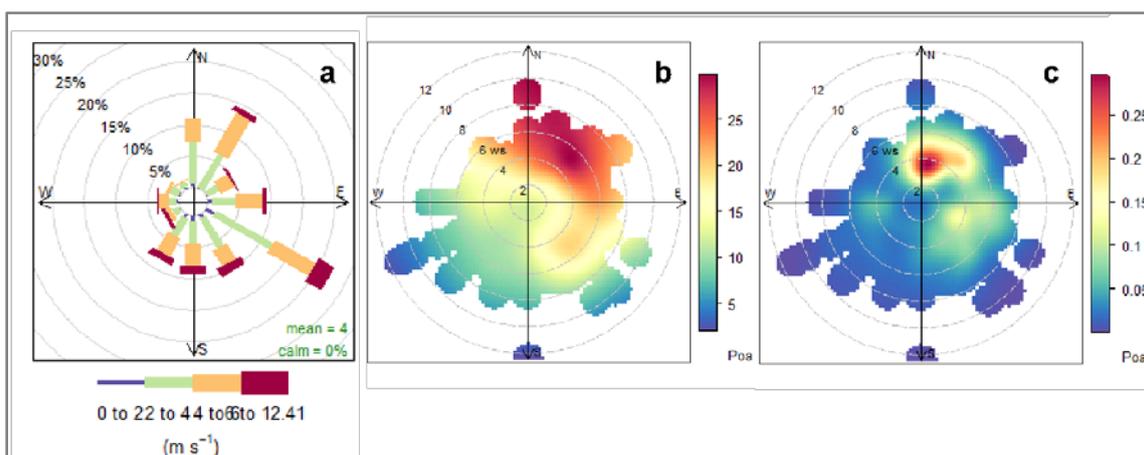
**Tabla 3.2. 5.** Correlación de las concentraciones polínicas diarias de Poaceae en los períodos pre y post pico.

Poaceae	Tmx	Tmn	Tmd	Rh	dv	vv	pp
<b>Pre pico</b>	0.62***	0.53***	0.67***	- 0.28***	ns	ns	ns
<b>Post pico</b>	0.46***	0.29***	0.46***	ns	ns	0.12**	ns

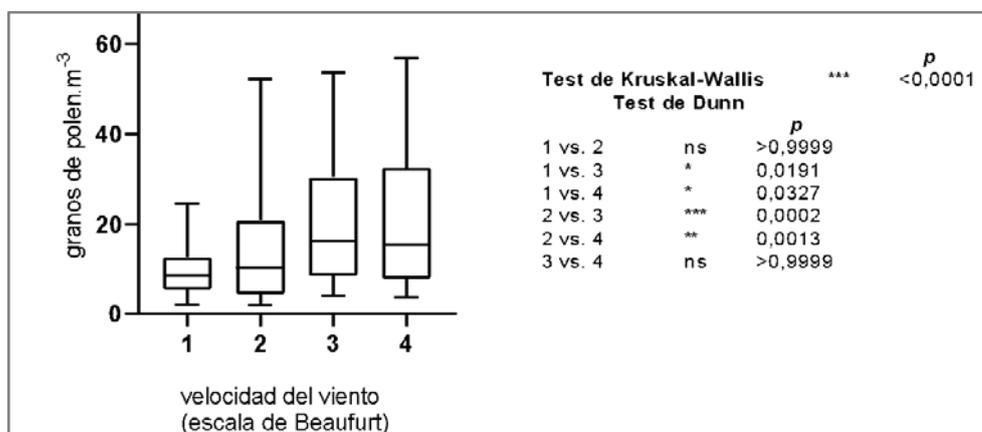
### Dirección y velocidad del viento

Si bien la dirección y velocidad del viento y la concentración de polen mostraron correlaciones muy bajas o no significativas, igualmente se analizó la relación entre estos componentes del viento y la concentración polínica durante la EPP mediante gráficos polares. Las concentraciones medias de polen de gramíneas fueron mayores con vientos

del cuadrante noreste de velocidad por encima de los 4 m/s (b). Si se ponderan las concentraciones con respecto a la velocidad y distancia esta relación es más evidente, y las mayores concentraciones se registran con vientos de dirección norte y noreste (Figura 3.2.6c), con velocidades en el entorno de los 4 m/s. Las concentraciones medias se registran con vientos provenientes del este y del octante sureste, en el mismo rango de velocidades 2 a 6 m/s (Figura 3.2.5c). Por otra parte, el análisis de varianza de las concentraciones de polen con respecto a la velocidad del viento (escala Beaufort) mostró diferencias significativas en las concentraciones de polen a diferentes velocidades del viento, registrándose mayores concentraciones con vientos de las escalas 3 y 4 (Figura 3.2.7), en el rango de 3,3 a 8,2 m/s (12 - 29 km/h respectivamente).



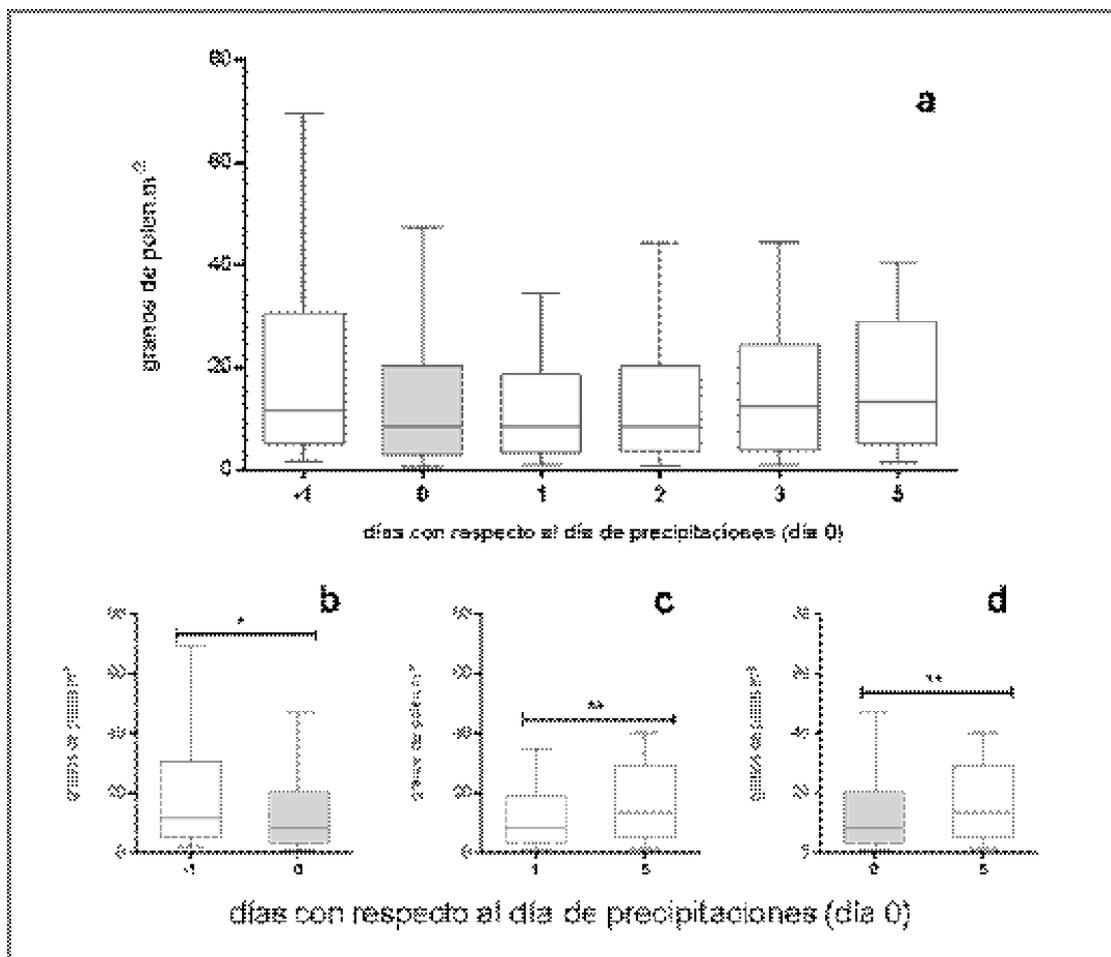
**Figura 3.2.6** a. Frecuencia del viento por dirección (se indica frecuencia de cada velocidad en cada dirección). b. Concentración media de polen de gramíneas por dirección del viento. c. Concentración media de polen de gramíneas ponderada por la dirección y velocidad del viento. En **b** y **c**, círculos concéntricos indican velocidad del viento.



**Figura 3.2.7.** Diagrama de cajas de la concentración de Poaceae en función de la velocidad del viento (Escala Beaufort). Las líneas horizontales indican la mediana de los datos, las cajas comprenden el primer y tercer cuartil y las líneas verticales los percentiles 10 y 90 de la distribución de los los datos.

### Precipitaciones

Las precipitaciones mostraron un efecto instantáneo sobre las concentraciones de polen, observándose concentraciones significativamente menores el mismo día que llueve (Figura 3.2.8.a, b, d). Las concentraciones de polen registradas el día de lluvias y el siguiente, son significativamente menores que las concentraciones del día anterior y las del quinto día (Figura 3.2.8.c, d). Los días 0 y 1 registran concentraciones en promedio 30% inferiores al día anterior y a los días 3 y 5. Las concentraciones de polen vuelven a valores similares a los previos a las lluvias al tercer día de que ésta ocurre (Figura 3.2.8.a).



**Figura 3.2.8.a.** Diagrama de cajas de la concentración de Poaceae en función del día que ocurren las precipitaciones. Día 0, es el día que llueve, **b – d.** Se indican diferencias significativas, test Kruskal Wallis, *post hoc* Dunn, \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$

## Modelo de pronóstico de las concentraciones de polen

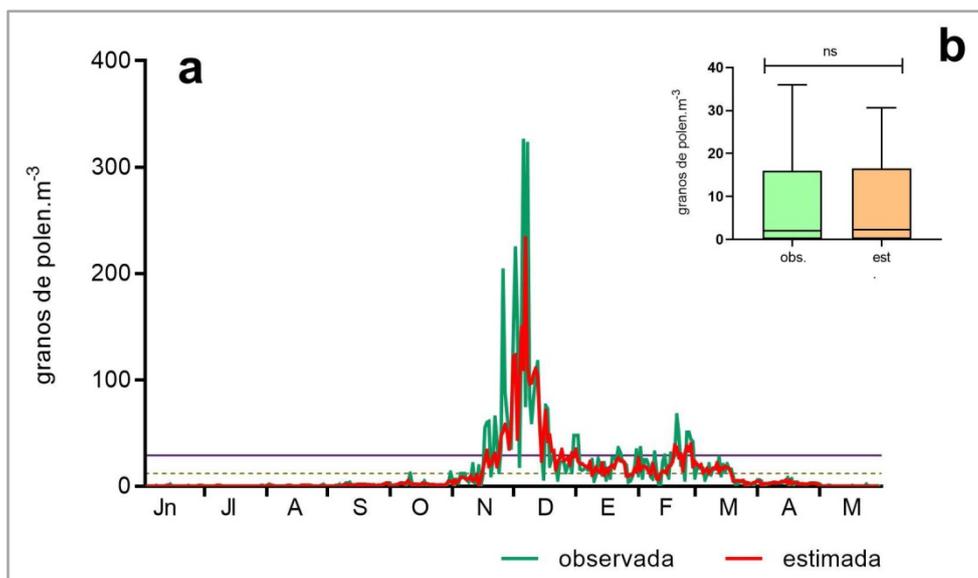
En esta tesis se realizó una primera aproximación a la capacidad predictiva de las concentraciones obtenidas durante la serie de cuatro años. Se utilizaron diversas combinaciones de variables independientes en los modelos de regresiones lineales múltiples y se trabajó con cuatro bases de datos, la correspondiente a las series de datos completos, los datos pre-pico, post-pico y los de la EPP; todas correspondientes a la base de datos de 24 horas.

El mejor ajuste se obtuvo con la serie de datos de todo el año y las concentraciones de polen transformadas logarítmicamente. El siguiente modelo fue con el que se obtuvo el mejor ajuste y explica el 76% de la varianza de los datos (coeficiente de determinación ajustado = 0,76  $p < 0,0001$ ).

$$\ln Y = -0,4056 + (0,03483 * T_{m-1}) + (0,3033 * \ln Poa_3) + (0,1077 * \ln Poa_{15}) + (0,4361 * \ln Poa_{-1})$$

Donde,  $T_{m-1}$  es la temperatura media del día anterior,  $Poa_3$  y  $Poa_{15}$  son las concentraciones medias de Poaceae de los tres y 15 días anteriores y  $Poa_{-1}$  es la concentración de Poaceae del día anterior. Todas estas variables, si se consideran de manera individual, explican más del 50% de la varianza de los datos.

A partir de este modelo se estimaron las concentraciones diarias para el período 2000-2001 (Figura 3.2 9a). Las concentraciones estimadas no se diferenciaron significativamente de las observadas (Figura 3.2 9b) y tampoco se diferenciaron las distribuciones de las concentraciones observadas y estimadas durante la EPP (Test de Kolmogorov-Smirnov no significativo,  $D=0,1$   $p=0,25$ ). Si bien los resultados obtenidos a partir del modelo son buenos, algunos días, sobre todo los del periodo prepico de la EPP, las concentraciones estimadas estarían siendo subestimadas. Sin embargo, el modelo predice correctamente los días de acuerdo al rango de concentraciones moderadas a altas (líneas horizontales en las figuras).



**Figura 3.2 9. a.** Concentración diaria de Poaceae estimada y observada en el período 2000-2001. Líneas horizontales indican el umbral de concentración moderado (línea punteada) y alto (línea entera). **b.** Diagrama de caja de las concentraciones observadas y estimadas, cajas como en gráficos anteriores.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Poaceae fue el tipo polínico más importante registrado en Malvín Norte, tanto por su representación en el polen total, como por las concentraciones diarias registradas durante un largo período de tiempo en el año. La **distribución diaria de las concentraciones** de Poaceae, con múltiples picos que se suceden de octubre a abril, refleja la floración del gran número de especies que incluye esta familia. Esto refleja la alta diversidad de este grupo, que en Uruguay está representado por al menos 370 especies (Rosengurt et al. 1970). Nuestro país se encuentra comprendido en la zona de los pastizales del Río de la Plata y Montevideo, en particular en la subzona de los campos del sur donde la vegetación dominante está compuesta por una combinación de gramíneas C3 y C4, y otras herbáceas (Soriano 1992, León et al. 1992, Chaneton et al. 2005). Las especies con mayor cobertura en las comunidades representativas de los campos del centro-sur de Uruguay serían *Paspalum notatum* y *Axonopus affinis* en las comunidades con predominio de especies estivales, y *Paspalum notatum* y *Piptochaetium montevidense* en las comunidades con predominio de especies invernales (Lezama et al. 2011). Otras especies pertenecientes, entre otras, a los géneros *Cynodon*, *Paspalum*, *Pennisetum*, *Festuca* y *Vulpia* son muy comunes, ya sea cultivadas en el césped de parques y jardines, o como espontáneas en toda la ciudad (Rosengurt et al. 1970). Otra especie a tener en cuenta sería *Cortaderia selloana* especie de alto porte e inflorescencias de gran tamaño, con floración en febrero-marzo (Lombardo 1984) y muy común en zonas periféricas de Montevideo.

De acuerdo a las preferencias térmicas que regulan los ciclos de vida de los diferentes grupos, es posible agrupar a las tribus de gramíneas como de ciclo estival (activas durante el período cálido) o invernal (activas durante el otoño y el invierno) (Rosengurtt *et al.* 1970). De acuerdo a esta división, sería posible relacionar los diferentes períodos observados en la EPP de Poaceae con la floración de los diferentes grupos de pastos. El primer período, centrado entorno al pico de concentración (15 de diciembre en promedio), correspondería a la floración de las gramíneas de ciclo invernal, junto con el inicio de la floración de las de ciclo estival. La disminución de las concentraciones hacia fines de diciembre, que señalaría el final de este primer período, estaría indicando el fin del registro del polen de los pastos invernales. Por otra parte, los múltiples picos que se suceden de enero a abril y que dependiendo del año pueden agruparse en dos o en un único período de concentraciones relativamente altas, correspondería a la floración del gran número de especies de pastos estivales. Este patrón de estaciones polínicas con múltiples picos altos de concentración se observa en otras ciudades, que al igual que los pastizales del Plata, poseen una mezcla de gramíneas C3 y C4 (Powell & Still, 2009), como es el caso de Santa Rosa (Caramuti, Naab, & Murray, 2014), Mar del Plata (Pérez & Latorre 1999), (Pérez, Gassmann, & Covi, 2009), Bahía Blanca (Murray *et al.* 2002) y Salitral de la Vidriera en la estepa Pampeana (Murray, Galán, & Villamil, 2008) y Caxias Do Sul, en Río Grande del Sur, Brasil (Vergamini *et al.* 2006). El patrón sugerido por Medek y colaboradores (2016) donde relaciona a las estaciones polínicas de uno o múltiples picos con la latitud, parece entonces registrarse en las curvas del polen aéreo de Poaceae de ciudades de los pastizales del Cono Sur, reflejando la composición relativa de gramíneas estivales e invernales en cada zona geográfica.

Al comparar los parámetros de la **estación polínica principal (EPP)** de los diferentes años, la principal diferencia fue la fecha de registro del pico máximo de concentraciones, que pasó de registrarse en la primavera al verano. Para el año 2013-2014, además, significó un aumento de las concentraciones registradas durante el período estival en particular y en todo el año en general. Los resultados obtenidos indicarían que a mayor temperatura media en los meses previos al inicio de la EPP o durante la EPP, se registrarían mayores InAP. Además, también se observó que a mayores precipitaciones durante la EPP mayores InAP. En la región, en Santa Rosa (Argentina), se relacionaron mayores concentraciones de polen en primavera con mayores precipitaciones acumuladas en setiembre las que habrían favorecido el crecimiento vegetativo de las plantas y su posterior floración (Caramuti *et al.* 2014). En el mismo sentido, otros autores han registrado que los InAP decrecen en períodos de sequía (Gonzalez Minero *et al.* 1998) e indican que la distribución de las precipitaciones también sería un factor relevante (Galán *et al.* 1995). En el caso del período 2013-2014 se observan menores precipitaciones las semanas previas al inicio de la EPP,

pero más precipitaciones durante el período estival, lo que habría conducido a un aumento de la floración de las gramíneas estivales. En otras regiones se ha detectado que las precipitaciones acumuladas 4 semanas antes tienen un efecto marcado en la floración (Cariñanos *et al.* 2004). Otros autores encontraron que la temperatura media de los meses previos influiría en los InAP de este tipo polínico (Recio *et al.* 2010). Esta posible relación se cumpliría para los resultados obtenidos durante el año 2000-2001, donde durante la EPP se registró una temperatura media de 19 °C, 517 mm de precipitaciones acumuladas y un InAP de 5250 granos.m<sup>-3</sup>, estos valores son similares a los registrados durante el período 2014-2015. De esta forma, la diferencia observada durante el año 2013-2014 podría estar vinculada a una estación polínica más cálida y húmeda que podría haber favorecido el desarrollo y floración de gramíneas estivales. De todas formas, debido al bajo número de años muestreados es necesario tomar estas interpretaciones con precaución y sería conveniente ampliar la base de datos para confirmar estas primeras inferencias.

En relación a la influencia de las **condiciones meteorológicas** en las **concentraciones diarias** de polen se destaca la alta correlación con la **temperatura** la cual estaría, por un lado, directamente vinculada al hecho de que la gran mayoría de las especies de pastos florecen desde setiembre, mes a partir del cual la temperatura media va en aumento acompañando la curva fenológica de las gramíneas. Por otra parte, las temperaturas altas favorecen la resuspensión mediante la aparición de fenómenos convectivos que posibilitan el ascenso de los granos de polen en la atmósfera (Galán *et al.* 2000), donde pueden ser transportados a mayor distancia por vientos de mayor velocidad que al nivel del suelo y favorecer su dispersión. Además, la temperatura estaría involucrada en la dehiscencia de las enteras, con el subsecuente aumento del polen atmosférico. Sin embargo, la metodología empleada en esta tesis para la colecta de los granos de polen no permite analizar la relación entre estas variables y las concentraciones horarias de polen, de forma tal de dilucidar en qué etapa estaría influyendo esta variable meteorológica.

La **humedad relativa** del aire influyó de manera negativa en las concentraciones de polen en el aire. Esto podría indicar una influencia negativa en el proceso de dehiscencia de las anteras, ya que se requeriría cierta disminución de la humedad relativa alrededor de las anteras para que ocurra su apertura (Keijzer 1989, Keijzer *et al.* 1996). Esta relación se observó fundamentalmente en el período pre-pico, lo cual indicaría una mayor influencia de este factor sobre la dehiscencia de las anteras de las gramíneas invernales y las estivales tempranas. Para las gramíneas que florecen a partir de diciembre, no se observa una relación negativa de la humedad relativa del aire, quizás porque durante ésta época del año esta variable registra los menores valores anuales. Por otra parte, otros autores señalan que en algunas especies de pastos la humedad relativa del aire no constituye un factor

limitante para la apertura de las anteras (Subba Reddi *et al.* 1988). Por tanto, para las gramíneas que florecen a partir de enero, la humedad relativa del aire no representaría un factor limitante para la liberación del polen.

El efecto negativo de las **lluvias** sobre las concentraciones de polen en el aire es un fenómeno bien documentado (e.g., Majeed *et al.* 2018; Pérez *et al.* 2009; Barnes *et al.* 2001). En el caso de Montevideo, las concentraciones de polen disminuyen en promedio un 30% el mismo día y al siguiente de registrarse las lluvias, recuperándose los valores iniciales al tercer día de llover. El día que llueve, la lluvia tendría un efecto “instantáneo” al remover los granos de polen de la atmósfera por barrido (Dingle and Gatz 1966), con el subsecuente descenso de las concentraciones de polen en el aire. Puls y von Wahl (1991) postulan que la remoción de polen al inicio de las lluvias es debida al descenso de los granos de polen por turbulencias entre las gotas de lluvias y que luego los granos serían removidos por impacto en superficies húmedas. Los resultados obtenidos en esta tesis indican que las concentraciones se mantienen relativamente bajas los dos días siguientes, lo cual estaría reflejando algún efecto de las precipitaciones sobre la anthesis y la dehiscencia de las anteras. En efecto, estos procesos son retrasados por las precipitaciones y en algunos casos también reducen el tiempo en que ocurre la liberación de los granos de polen de las anteras (Subba Reddi *et al.* 1988).

Con respecto al potencial alergénico de este grupo para la ciudad de Montevideo, las concentraciones de Poaceae superaron, tanto los **umbrales de concentración** moderados o altos estimados en esta tesis, como los establecidos por la AAAAI y la REA, durante varias semanas al año. Estos valores son relevantes porque a estas concentraciones se desencadenan respuestas alérgicas en todos los individuos sensibles en Londres y Polonia (Davies and Smith 1973, Rapiejko *et al.* 2007), mientras que en España todos los pacientes mostraron síntomas moderados o severos (Antepara *et al.* 1995, Feo Brito *et al.* 2011). Por tanto, el polen de Poaceae podría en teoría desencadenar síntomas, incluso antes del inicio de la EPP en Montevideo. Esto es relevante porque los granos de polen de gramíneas son considerados como muy alergénicos (D'Amato *et al.* 2007) y más del 95% de las especies importantes desde el punto de vista alergénico pertenecen a las subfamilias Pooideae, Chloridoideae y Panicoideae (Kleine-Tebbe and Davies 2015). Éstas son importantes en la zona sur de Uruguay (Lezama *et al.* 2011) y en Montevideo en particular (Lombardo 1984), tanto por su frecuencia como por su abundancia en la vegetación. Entre los géneros más comunes y citados como alergénicos, se incluyen *Paspalum*, *Pennisetum* y *Dactylis* que se cultivan en los céspedes de parques y jardines y *Cynodon*, *Echinochloa*, *Bromus*, *Poa*, *Festuca*, *Vulpia*, *Lolium*, *Briza*, *Avena*, *Holcus*, *Hordeum* y *Bromus*, que se encuentran presentes en toda la zona metropolitana (Lombardo 1984).

Los alérgenos de los granos de polen de las gramíneas se clasifican en grupos de acuerdo a la estructura y función de las proteínas, de los cuales los alérgenos de los grupos 1 y 5 son los más importantes de acuerdo a su abundancia y potencia en desencadenar respuestas alérgicas (Hrabina *et al.* 2008). Los alérgenos del grupo 1 están presentes en todas las gramíneas, mientras que los del grupo 5 son exclusivos de las Pooideae. Por otra parte, las subfamilias Chloridoideae y Panicoideae poseen alérgenos del grupo 1, así como alérgenos nuevos que serían específicos de las especies subtropicales de estos grupos (Davies, 2014). Por lo tanto, los granos de polen de Poaceae representarían un riesgo potencial desde el punto de vista alérgico en la ciudad de Montevideo, tanto por los niveles alcanzados, como por los posibles alérgenos que podrían estar presentes en las especies de pastos de la zona.

En el estudio previo del polen en el aire de Montevideo (Tejera 2002; Tejera y Beri 2005) se relacionó a la dominancia de este taxón con la representación de la vegetación local en el espectro polínico, por la existencia de zonas cubiertas de gramíneas alrededor del punto de muestreo aeropalínológico. Por su parte, zonas extra-locales y regionales podrían estar contribuyendo al polen de Poaceae y podrían reflejar la dominancia de la vegetación de pastizal en Uruguay. Los análisis bivariados de polen **-velocidad y dirección del viento** apoyarían esta hipótesis. Los resultados de ésta aproximación indican que gran parte del polen de gramíneas se registra con vientos de dirección norte y este. Estos resultados, son los esperados dadas las bajas o nulas coberturas de gramíneas al sur (Río de la Plata) y al este - noreste (zonas urbana) de Malvín Norte. Estos mayores aportes de polen están relacionados con velocidades del viento en el rango de los 2 a 6 m/s. En este sentido, una hipótesis plausible podría ser que a esas velocidades el viento transporta el polen (no permitiendo su depósito) desde zonas extra-locales o regionales el cual es captado por el muestreador. En efecto, el análisis de varianza de la concentración de polen de acuerdo a la velocidad del viento apoyaría esta hipótesis, las brisas leves (3,3 a 5,2 m/s) transportarían mejor el polen, y las áreas con cobertura de gramíneas localizadas en los alrededores de Montevideo estarían contribuyendo de manera significativa al polen de Poaceae en Malvín Norte.

En el análisis exploratorio sobre la capacidad predictiva de los datos se obtuvieron resultados relativamente buenos, el modelo de pronóstico obtenido explica el 76% de la varianza de los datos y se obtuvieron buenos ajustes de las concentraciones de Poaceae observadas y estimadas para el año 2000, a partir de las variables meteorológicas y polínicas de ese período. Si bien algunos picos de concentración fueron subestimados, el modelo predeciría correctamente los rangos de concentraciones de acuerdo a los umbrales establecidos en esta tesis. De esta forma, el modelo permitiría realizar las primeras predicciones del polen de Poaceae en el aire de Montevideo con 24 horas de anticipación.

Sin embargo, es necesario destacar que los datos utilizados, donde los fines de semana que son muestreados en períodos de 72 horas no son incluidos en los análisis, no serían los más apropiados para este tipo de análisis ya que se estaría perdiendo información relevante.

## **Conclusiones**

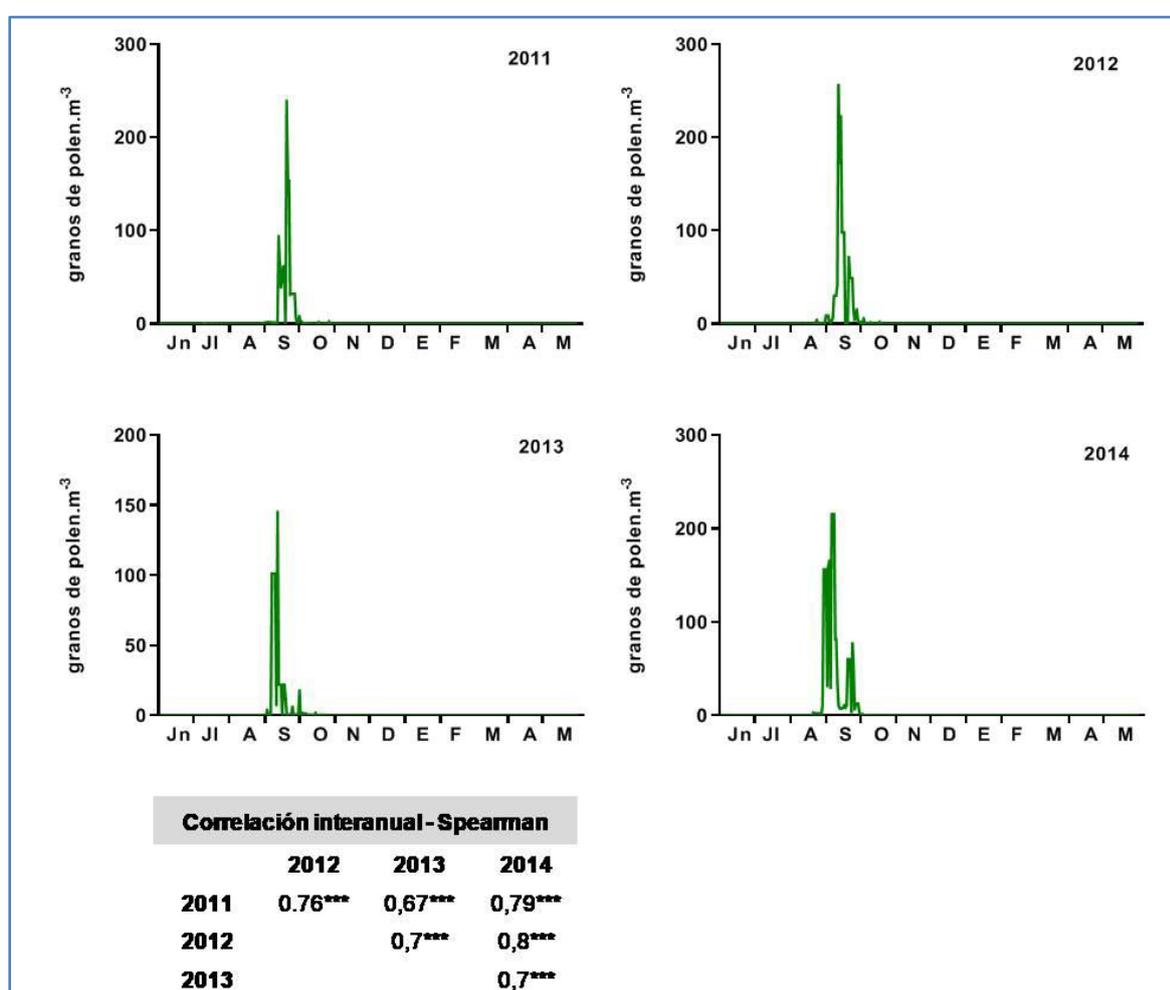
- La curva de polen de Poaceae refleja la floración de las diferentes especies de gramíneas que corresponden a un primer período de floración de pastos invernales y algunos estivales, y un segundo período de floración de las gramíneas estivales.
- El polen de gramíneas supera el umbral de concentración moderado 102 días al año y supera el umbral alto durante 8 semanas al año.
- Las variables meteorológicas con mayor influencia serían la temperatura y las precipitaciones durante la estación polínica, que inducirían mayores concentraciones de polen durante la época estival.
- La temperatura y la humedad relativa del aire serían las variables meteorológicas involucradas en procesos de resuspensión y dehiscencia de las anteras.
- Las lluvias disminuyen la concentración de polen en el aire durante 3 días.
- El polen de gramíneas provendría tanto de fuentes locales como extra-locales y regionales.

**CAPÍTULO 3.3.**  
**TIPOS POLÍNICIOS PRINCIPALES**

***PLATANUS***

## RESULTADOS

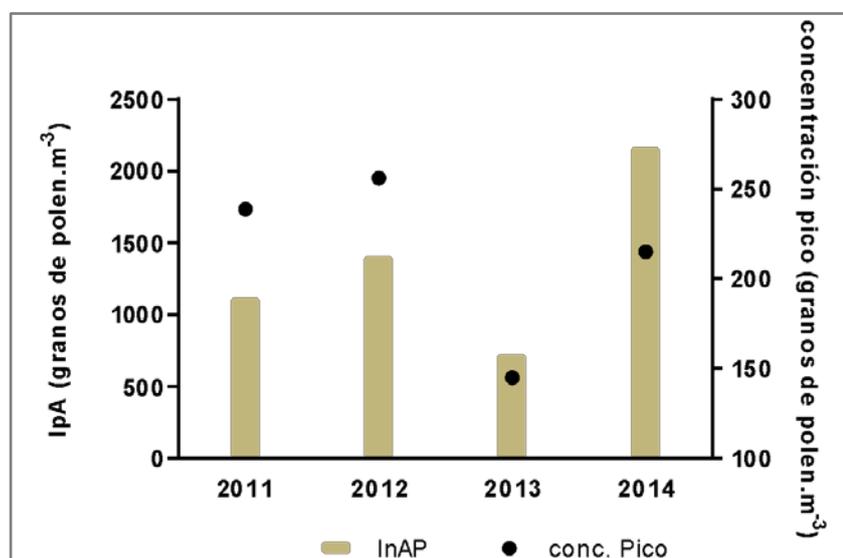
*Platanus* es el segundo tipo polínico con mayor representación en Malvín Norte, representa en promedio el 12% del polen total y se registra aproximadamente 45 días al año. Las concentraciones diarias de polen de *Platanus* se registran a fines de agosto, aumentan de forma abrupta y se registran principalmente durante setiembre (Figura 3.3. 1). Este patrón mostró una marcada estacionalidad, indicada por los altos, positivos y significativos coeficientes de correlación entre todos los períodos (Figura 3.3. 1), así como por la ausencia de diferencias



**Figura 3.3. 1.** Polen diario de *Platanus* en cada período de muestreo y coeficientes de correlación de Spearman entre los años. \*\*\*  $p < 0,001$ .

significativas entre las distribuciones acumuladas de los años (Kolmogorov-Smirnov  $D = 0,04$  a  $0,08$ ;  $0,9 < p < 0,2$ ).

El menor integral anual (InAP) y pico de polen se registraron en el año 2013, mientras que el resto de los años se registró el doble o el triple tanto de polen total como en los picos de concentración de cada año (Figura 3.3. 2).



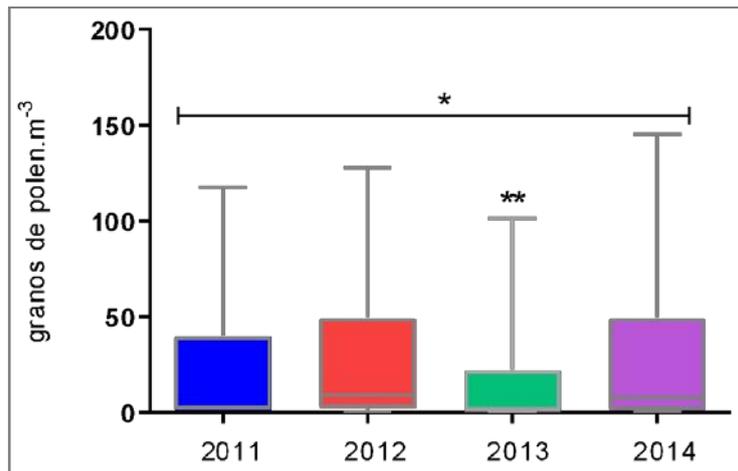
**Figura 3.3. 2.** Integral anual de *Platanus* y picos de concentración para cada año analizado.

Las diferencias mencionadas anteriormente se traducen en diferencias en la concentración mediana y desvíos de concentración de los diferentes años, siendo significativamente menor el año 2013 (Figura 3.3. 3).

### Estación polínica principal

No se observaron diferencias significativas en las fechas de inicio y finalización estimadas a partir del 98% de las concentraciones acumuladas o las estimadas a partir del criterio utilizando concentraciones umbrales de 1 grano de polen.m<sup>-3</sup>, por tanto, se utilizó este último criterio para determinar los parámetros de la estación polínica principal (EPP).

La EPP de *Platanus* es relativamente corta, con una duración media de 36 días al año y baja variación interanual en este parámetro. En promedio se inicia en el entorno del 29 de agosto y termina el 4 de octubre, con una muy baja variación interanual en este parámetro (Tabla 3.3. 1). Con respecto a los picos de concentración máximos, éstos mostraron baja variación en cuanto al día que se registran, alrededor del 11 de setiembre, aunque sí mostraron mayor diferencia en las concentraciones pico alcanzadas (Tabla 3.3. 1).



**Figura 3.3. 3.** Diagrama de cajas de la concentración de *Platanus* en función del período de estudio. Las líneas horizontales indican la mediana de los datos, las cajas comprenden el primer y tercer cuartil y las líneas verticales los percentiles 10 y 90 de la distribución de los los datos. Se indica la diferencia significativa del test Kruskal Wallis, *post hoc* Dunn , \* $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ .

**Tabla 3.3. 1.** Descriptores de la estación polínica principal de *Platanus*.

	EPP			Pico			InAP
	Inicio	Fin	Duración	fecha	conc.	días>umbral 0.75	
<b>2011</b>	31/8	4/10	34	20/9	239	9	1122
<b>2012</b>	1/9	4/10	33	12/9	256	14	1407
<b>2013</b>	3/9	7/10	34	9/9	145	5	729
<b>2014</b>	21/8	2/10	42	5/9	215	16	2179
<b>Media</b>	29/8	4/10	36	11/9	227	11.5	1562
<b>DE</b>	5,8	2,1	4,2	6,3	49	4.9	688
<b>CV</b>	6,4%	1,6%	11,7%	6,1%	22,8%	45,1%	46,2%

DE, desvío estándar; CV, coeficiente de variación.

### Umbralés polínicos

Los umbrales de concentración estimados para *Platanus* fueron menores a los establecidos por la REA y la AAAAI (Tabla 3.3. 2). Teniendo en cuenta los umbrales estimados en esta tesis, durante casi dos semanas se superarían los umbrales altos de concentración,

mientras que si se consideran los umbrales de la AAAAI o la REA se registrarían concentraciones altas 9 y dos días respectivamente.

**Tabla 3.3. 2.** Umbrales de concentración para Poaceae estimados con los datos de Montevideo y los correspondientes umbrales de la AAAAI y la REA.

Umbrales de concentración - <i>Platanus</i>				
	Montevideo		AAAAI	REA
	concentración	Días		
bajo	< 7	32	< 9	< 50
medio	7 - 32	11	10 - 49	51 -200
alto	33 - 225	12	50 - 499	> 200
muy alto	> 226	2	> 500	

días= número de días en que la concentración se registra en determinada categoría, promedio de todos los años estudiados.

### Relación con condiciones meteorológicas

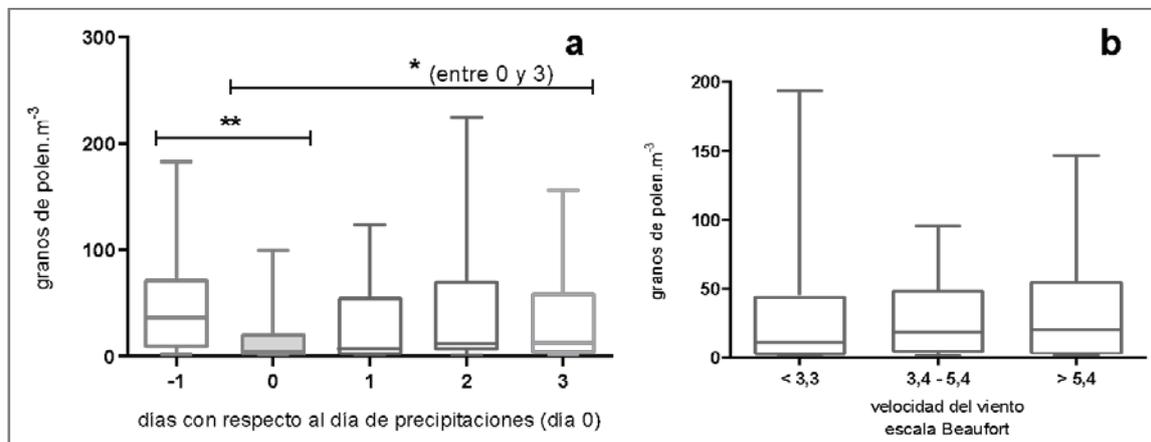
Las concentraciones diarias de polen de *Platanus* mostraron escasa correlación con las variables meteorológicas (Tabla 3.3. 3), registrando bajas correlaciones positivas con la temperatura máxima y media diaria. Si se analizan los datos de los períodos prepico sólo la temperatura media se correlaciona con el polen (Tabla 3.3. 3). En tanto durante el período post pico, se observaron correlaciones bajas con la temperatura máxima y media, y negativas (también bajas) con la humedad relativa del aire.

**Tabla 3.3. 3.** Correlación de las concentraciones polínicas diarias de *Platanus* con las variables meteorológicas registradas durante la EPP.

<i>Platanus</i> EPP	Tmx	Tmn	Tmd	hr	dv	vv	pp	pp-1	pp-3
<b>Todo el período</b>	0,38***	ns	0,3*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<b><i>Platanus</i> pre pico</b>	ns	ns	0,3*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<b><i>Platanus</i> post pico</b>	0,4***	ns	0,3*	-0,2*	ns	ns	ns	ns	ns

\*p< 0,05; \*\* p<0,01; \*\*\* p< 0,001

Con respecto a la influencia de las precipitaciones sobre las concentraciones de polen, se registraron menores concentraciones de polen de *Platanus* los días que llueve (Figura 3.3. 5a). Las concentraciones se mantienen bajas el día siguiente a las lluvias y comienzan a aumentar a partir del segundo día. Las concentraciones del día “0” fueron significativamente menores al día anterior, al segundo y al tercero de las lluvias.

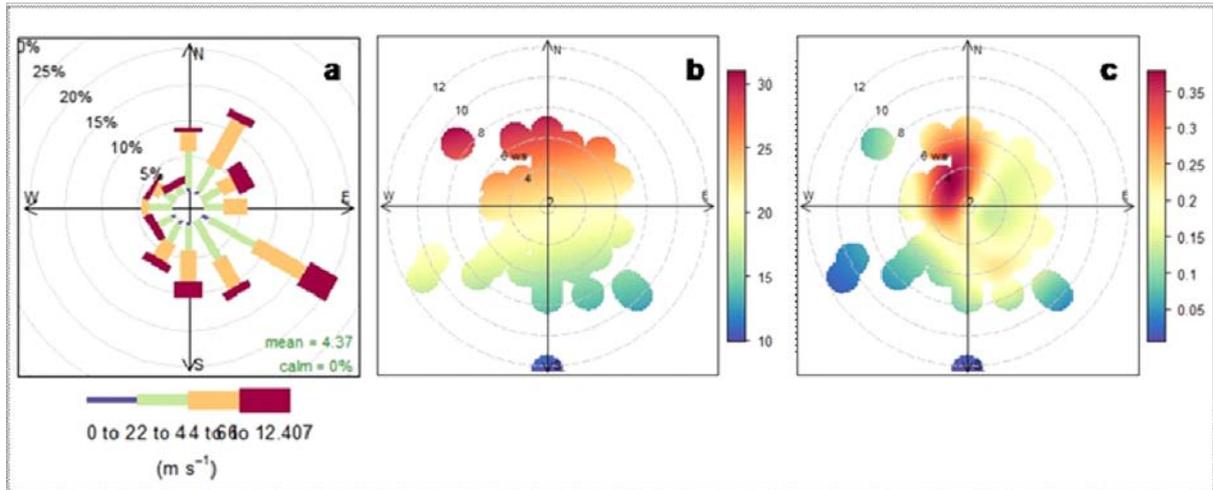


**Figura 3.3. 4.** Diagramas de cajas de la concentración de *Platanus* en función de **a.** el día que ocurren las precipitaciones y **b.** la velocidad del viento en m/s.

### Dirección y velocidad del viento

A pesar de que la dirección y velocidad del viento no mostraron correlaciones significativas, se analizó la relación entre estas variables mediante gráficos bipolares ya que el viento es una variable compleja que influye fuertemente la dispersión del polen.

Se registraron mayores concentraciones medias de polen cuando los vientos provenían de las direcciones noroeste – norte, a velocidades entre 4 y 8 m/s (Figura 3.3. 6b). Si se ponderan las concentraciones de polen por la velocidad y dirección del viento, se ve con mayor claridad que las mayores concentraciones provienen del cuadrante oeste-norte y con vientos en todo el rango de velocidades (Figura 3.3. 6c). Se observan concentraciones moderadas con vientos provenientes de otras direcciones y rangos de velocidades, sin embargo los vientos provenientes de las direcciones suroeste a sureste estuvieron relacionadas a las más bajas concentraciones de plátanos. Por otra parte, el análisis de las concentraciones de polen en función de la velocidad del viento no mostró diferencias significativas entre las concentraciones registradas a diferentes velocidades (Figura 3.3. 5b), aunque se observa una mayor dispersión de las concentraciones con brisas débiles (velocidad del viento < 3,3 m/s) y concentraciones relativamente más altas con brisas ligeras (velocidad del viento 3,3 – 5,4 m/s). Es relevante destacar la casi total ausencia de calmas o ventolinillas (velocidad del viento <1,2 m/s) durante las EPP de *Platanus*.



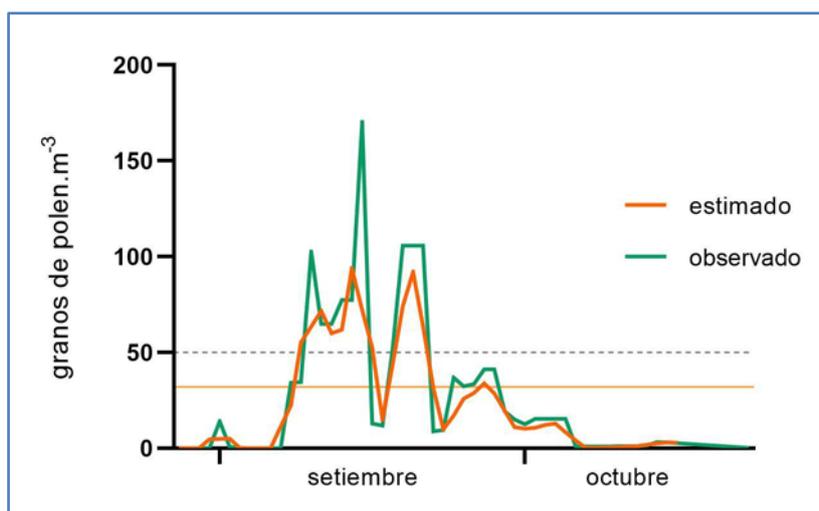
**Figura 3.3. 5.** **a.** Frecuencia del viento por dirección (se indica la frecuencia de cada velocidad en cada dirección). **b.** Concentración media de polen de *Platanus* por dirección del viento. **c.** Concentración media de *Platanus* ponderada por dirección y velocidad del viento. En b y c, círculos concéntricos indican velocidad del viento en m/s.

### Modelo de pronóstico de las concentraciones de polen

En esta tesis se realizó una primera aproximación a la capacidad predictiva de las concentraciones obtenidas durante la serie de cuatro años. Luego de realizar regresiones lineales múltiples utilizando diversas combinaciones de variables independientes se seleccionó el modelo con el mejor ajuste, que explica el 88% de la varianza de los datos ( $R^2= 0,88$  ,  $p<0,0001$ ).

El modelo seleccionado fue,  $Y = 0,067 + 1,12*Plat3 - 0,22*Plat7$ , donde Plat3 y Plat7 son las concentraciones medias de *Platanus* de los tres y siete días previos respectivamente.

A partir de este modelo se estimaron las concentraciones diarias para el período 2000-2001 (Figura 3.3. 67). El ajuste de las distribuciones de las concentraciones estimadas y observadas fue muy bueno (Figura 3.3. 6), no se diferenciaron significativamente las concentraciones medianas (test de Mann-Whitney no significativo,  $p=0,97$ ) ni las distribuciones acumuladas de las concentraciones observadas y estimadas durante la EPP (Test de Kolmogorv-Smirnov no significativo  $D=0,16$   $p=0,54$ ). Si bien los resultados obtenidos a partir del modelo son muy buenos, el modelo estaría subestimando los picos máximos de concentración. Sin embargo, el modelo predeciría correctamente los días por encima del umbral alto de concentraciones tanto utilizando los umbrales estimados para Montevideo como los sugeridos por la AAAAI (líneas horizontales en las figuras).



**Figura 3.3. 6.** Concentraciones estimadas y observadas de *Platanus* durante el período 2000-2001. Líneas horizontales indican umbrales altos de concentración, estimados en esta tesis (naranja) y de la AAAAI (negra punteada).

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El polen de *Platanus* representa el 12% del polen total, es el taxón con más contribución al polen arbóreo. Esto es debido al gran número de árboles presentes en Montevideo que conforman el 11% del arbolado público, siendo la especie más abundante en la ciudad *Platanus x hispanica* Mill. ex Münchh., 1770. Su distribución se concentra fundamentalmente en el centro y noroeste de la ciudad y a lo largo de las avenidas principales. La Intendencia de Montevideo está lentamente cambiando éstos árboles por *Platanus occidentalis*. Esta especie posee las mismas características que lo hacen un buen árbol para el ambiente urbano (fácil de cultivar, resistente, longevo, buen proveedor de sombra, caducifolio) pero produce menos flores y frutos y por tanto resultaría menos molesto para la población en la época en que se dispersan los frutos (aquenios).

La marcada estacionalidad de este tipo polínico, que se manifiesta por la aparición abrupta del polen en el aire y el registro de concentraciones altas durante un breve período de tiempo, es una característica de este taxon en otras regiones (Alcázar *et al.* 2011; Ruiz *et al.* 2008; Nitiu 2006; Pérez and Paez 1998). Sin embargo, en otras ciudades de la región como La Plata (Nitiu, 2006) y Mar del Plata (Latorre, 1999) las estaciones polínicas principales se extendieron durante períodos de tiempo mayores, mientras que en Caxias do Sul (Vergamini *et al.* 2006) se registró de forma similar a Montevideo con concentraciones restringidas a setiembre.

La duración corta de la EPP en Montevideo se debe a que incluye fundamentalmente un solo taxón, es una especie de floración única. Por otra parte, la fecha de inicio de la EPP se ubicó en el entorno al 1 de setiembre, excepto para el 2014 que se inició el 21/8. En otras ciudades se ha reportado que temperaturas superiores previas a la floración provocarían un adelanto al inicio de la EPP (Alba y Díaz de la Guardia 1998), lo cual podría haber sucedido en el 2014, dado que la temperatura media de agosto fue casi dos grados más alta que los años anteriores.

En Montevideo este taxón mostró una variación interanual extremadamente baja, reflejada en las altísimas correlaciones interanuales y la ausencia de diferencias significativas entre las distribuciones de polen de los diferentes años.

Los resultados obtenidos en relación a los **InAP** registrados, alternancia de años con altos y bajos InAP, podrían sugerir un patrón bianual de producción de polen como ha sido propuesto para otras ciudades (Minero & Candau, 1997) y otras especies de árboles. Esto implica que factores endógenos controlarían, al menos parcialmente, la producción de polen.

Por otra parte, las **condiciones meteorológicas** previas durante el verano, que es el período en el que éstos árboles acumulan fotosintatos de reserva para la primavera (Cadman *et al.*, 1994) y especialmente la **temperatura**, sería el principal factor que controlaría la producción de polen (Caramiello *et al.* 1990, 1994; Emberlin *et al.* 1993; Latorre 1999). Otros autores indican que *Platanus* tendría patrones de floración irregulares (Alcázar *et al.* 2011) y que las **lluvias** acumuladas los meses previos al inicio de la EPP jugarían un rol importante en determinar la cantidad de polen producido (Roure and Belmonte 1988, Belmonte *et al.* 1990, Minero and Candau 1997; Majeed *et al.* 2018). En este sentido, los datos obtenidos en este trabajo sugerirían las mismas relaciones dado que los años con altos InAP fueron precedidos de inviernos lluviosos y veranos con temperaturas medias más elevadas (Figura A1.6 en Anexo 1). Los resultados obtenidos durante el estudio del año 2000 apoyarían esta relación, ya que se registraron temperaturas medias durante el verano relativamente similares a las obtenidas durante los veranos del 2011 y 2013 y precipitaciones acumuladas similares al invierno del 2013, mientras que el InAP fue 1474 (valor intermedio entre los años 2012 y 2014). Por último, otro factor a considerar son los regímenes de poda de estos árboles, ya que podas intensas reducen la cantidad de flores y polen producidos. En cuanto a la influencia de las **condiciones meteorológicas** sobre las **concentraciones diarias** éstas mostraron una escasa relación durante la EPP. Esto podría ser debido al patrón rápido de floración, ya que una vez que se han dado las condiciones para la liberación del polen, éste ocurre de manera explosiva y de forma relativamente independiente de las condiciones meteorológicas. La corta duración de la EPP hace que exista una baja variación en las condiciones meteorológicas como para

que puedan controlar de forma drástica la floración y liberación de polen de esta especie, una vez que ésta se ha iniciado. Al igual que se observó para Poaceae y el polen total, las **lluvias** tuvieron un efecto negativo sobre la concentración de polen el mismo día que ocurren y las concentraciones continúan relativamente bajas al día siguiente de llover. Los posibles mecanismos involucrados en la remoción de los granos de polen de la atmósfera el día que ocurren las precipitaciones fueron oportunamente discutidos en el capítulo anterior. Sin embargo, en el caso de *Platanus*, las concentraciones recuperarían los valores previos a las lluvias a partir del segundo día. Los resultados concuerdan con lo observado por Pérez et al. (2009) para polen arbóreo en Mar del Plata, donde se registra una disminución de las concentraciones de polen el día que llueve y el siguiente. En este sentido, no se encontraron referencias, por ejemplo, a que la humedad relativa del aire influya de manera particular sobre la liberación de polen en este taxón y que pudiera estar retardando la emisión de polen como ocurre en las gramíneas (Subba Reddi et al. 1988). Otra posible explicación podría ser el carácter explosivo de la floración de los plátanos, en este sentido los plátanos producen enormes cantidades de polen por temporada (Molina et al. 2009), que por unidad de tiempo sería mayor que en el caso de las gramíneas y por tanto sería menor el tiempo requerido para alcanzar las concentraciones iniciales de polen. El tamaño de los granos de polen también podría estar influyendo, ya que de acuerdo a lo registrado por Norris-hill y Emberlin (1993) durante las lluvias ocurriría un barrido diferencial de acuerdo al tamaño de los granos. En este sentido los granos de polen de gramíneas podrían ser removidos más en comparación con los granos de polen de plátanos (de menor tamaño) y por tanto, las concentraciones de plátanos volverían a sus niveles previos a las lluvias más rápido. Son varios los mecanismos propuestos que podrían estar influyendo en este fenómeno, pero serían necesarios más estudios que contemplen, por ejemplo, la evolución horaria de las concentraciones en función del momento que ocurren las lluvias y el análisis comparativo con otros tipos polínicos para determinar cuáles serían los mecanismos más relevantes. Por último, no se encontró una relación clara entre las precipitaciones acumuladas durante la EPP y los InAP, varios autores señalan que las EPP se alargan durante las primaveras lluviosas (Belmonte et al. 1988).

Los análisis bivariados de polen - **velocidad y dirección del viento** indicarían que las fuentes de plátanos que contribuirían con más polen en Malvín Norte estarían ubicadas en el cuadrante noroeste, aunque fuente localizadas en otras direcciones también estarían contribuyendo con el polen de plátanos. Para estos granos de polen se ha propuesto una reducida capacidad de transporte, y las concentraciones en el aire decrecen drásticamente a distancias mayores a 1km de las fuentes (Bricchi et al. 2000), por lo que los árboles cercanos al punto de muestreo serían los que más contribuyen al polen colectado. Esto podría aportar una explicación complementaria a la corta duración de la EPP, ya que se

trataría de una población relativamente pequeña de árboles y por ejemplo, el período post pico sería más corto porque no se registrarían fenómenos de resuspensión o debido a diferencias en las floraciones de otros plátanos. Por último, las concentraciones relativamente bajas registradas en el área sur podrían responder a efectos de brisas tierra-mar y procesos de recirculación de polen, que debido a la resolución diaria de los datos de esta tesis no es posible analizar.

Los resultados discutidos aquí en relación al comportamiento de *Platanus* en función de las condiciones meteorológicas deben ser tomados con precaución dado el bajo número de años muestreados y la corta duración de las EPP que limita el número de datos para realizar los análisis.

Los **umbrales de concentración** establecidos para Montevideo fueron ligeramente inferiores a los estimados para Europa o EEUU. Sin embargo, como se mencionó anteriormente para Poaceae, en estos países (Europa principalmente) se utilizan muestreadores de polen por succión que producen estimaciones mayores de las concentraciones de polen atmosférico (Peel *et al.* 2014). Teniendo en consideración esto, el polen de los plátanos superaría los umbrales altos de concentración y tendría, en teoría, el potencial de afectar a los individuos sensibles, durante casi dos semanas al año. Por otra parte, debido al fenómeno de “cebado” descrito por Connell (1968), que consiste en la disminución progresiva en la intensidad de la exposición al alérgeno necesaria para desencadenar una respuesta inflamatoria, estas dos semanas podrían extenderse en el tiempo a días con concentraciones relativamente bajas. En España, este taxón posee una alta prevalencia; en Córdoba, las personas muestran síntomas a los pocos días de iniciarse la EPP y la mayoría reacciona con concentraciones por encima de los 50 granos de polen.m<sup>-3</sup> (Alcázar *et al.*, 2004), mientras que en Madrid, este valor es de 30 granos de polen.m<sup>-3</sup> (Camacho *et al.* 2008). Si bien la EPP es corta, la existencia de reactividad cruzada entre *Platanus* y el polen de otras especies de árboles y de gramíneas (Pazouki *et al.* 2008, Alcázar *et al.* 2004), favorecería que los pacientes puedan mostrar síntomas desde fines de invierno hasta fines del verano.

Se obtuvo un buen modelo de regresión lineal múltiple obtenido luego de combinar diferentes variables, que explica el 88% de la varianza de los datos y con el cual se estimó con buenos resultados la concentración de polen de *Platanus* para el año 2000. A pesar de los buenos resultados y que este modelo permitiría realizar las primeras predicciones de polen para Montevideo con 24 horas de anticipación, existen algunos puntos a considerar. Los principales serían que se trata de un modelo empírico y como tal serían necesarias largas series de datos de forma tal de contemplar la variabilidad interanual, tanto en la producción de polen, como en relación con los factores climáticos. Por otra parte, es necesario destacar que los datos utilizados, donde los fines de semana que son

muestreados en períodos de 72 horas no son incluidos en los análisis, no serían los más apropiados para este tipo de análisis ya que se estaría perdiendo información relevante. Además, en el caso de tipos polínicos con EPP bien definidas y cortas, donde las concentraciones de polen diarias son relativamente independientes de las condiciones meteorológicas, sería fácil determinar si las concentraciones se encuentran en ascenso y descenso a partir de las concentraciones de los días previos.

En este sentido, a mayor número de años muestreados se podrían desarrollar otros modelos a partir de una combinación de variables meteorológicas y concentraciones de polen de forma tal de ajustar las predicciones y realizarlas a varias escalas temporales.

## **Conclusiones**

- El polen de *Platanus* se registra en altas concentraciones en setiembre y superaría los umbrales de concentración altos durante dos semanas al año.
- Veranos cálidos e inviernos húmedos darían lugar a estaciones polínicas más intensas de plátanos.
- La lluvia influye de manera negativa, disminuyendo la concentración de polen durante 48 hs.
- Las fuentes del polen de *Platanus* serían árboles ubicados al noreoeste del punto de muestreo aerobiológico.

**CAPÍTULO 3.4**  
**TIPOS POLÍNICOS PRINCIPALES**

***ACANTHOSTYLES- RAULINOREITZIA***

## RESULTADOS

### Identificación de las especies que contribuyen al polen de *Acanthostyles-Raulinoreitzia*

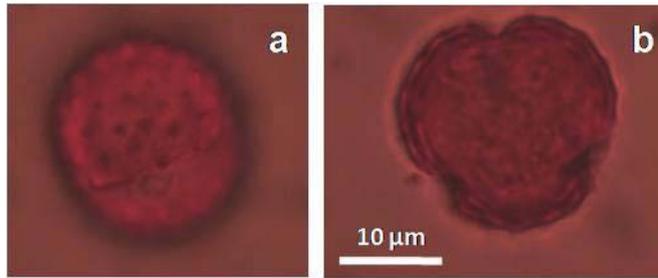
Los granos de polen clasificados como *Acanthostyles – Raulinoreitzia* en esta tesis fueron clasificados en trabajos anteriores dentro del grupo Asteraceae (Tejera 2002) y luego como tipo Eupatorieae (Tejera *et al.* 2018). En esta tesis han sido determinados como pertenecientes al tipo polínico *Acanthostyles – Raulinoreitzia* luego de analizar el polen de las especies *Acanthostyles buniifolius* (Hook. & Arn.) R.M.King & H.Rob (Figura 3.4 1) y *Raulinoreitzia tremula* (Hook. & Arn.) R.M.King & H.Rob. (Figura 3.4 2). El material del que se extrajeron los granos de polen para su observación proviene del Herbario de la Facultad de Agronomía, MVFA Ing. Agr. Bernardo Rosengurt y corresponde a:

*Acanthostyles buniifolium*- MVFA 11192 Del Puerto, O. y Marchesi, E.

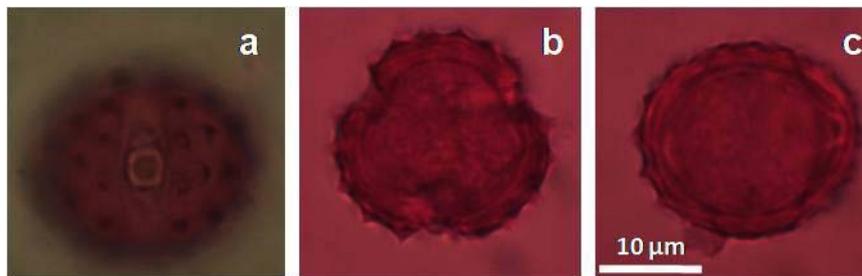
*Raulinoreitzia tremula*– MVFA 7109 Lema

El montaje de los granos de polen para su observación a microscopio se realizó siguiendo técnicas estándares en palinología. Las diferencias entre los granos de polen de las dos especies, observadas en el microscopio óptico a 100x de magnificación, son principalmente a nivel del tamaño de las espinas y el espesor de la pared del grano (Tabla 3.4 1). Estas diferencias son menores a 1  $\mu\text{m}$  y las variaciones intraespecíficas provocan que existan dimensiones que se solapan entre ambas especies. Por otra parte, es frecuente que los granos de polen presentes en las muestras se encuentren rotos o con las paredes con diferente grado de desgaste, o plegados. Esto puede dificultar la identificación y clasificación del polen y podría conducir a que granos de polen de una especie sean clasificados como pertenecientes a la otra. Por estos motivos se determinó el tipo polínico *Acanthostyles-Raulinoreitzia* que incluye granos de polen de ambas especies.

De todas formas, sería necesario realizar fotografías al microscopio electrónico de barrido y transmisión para caracterizar de forma más precisa los granos de polen de estas especies.



**Figura 3.4 1.** Granos de polen de *Acanthostyles buniifolium*, **a.** vista ecuatorial; **b.** vista polar.



**Figura 3.4 2.** Granos de polen de *Raulinoreitzia tremula*. **a.** Vista ecuatorial con detalle del colporo, **b.** vista polar, **c.** vista ecuatorial.

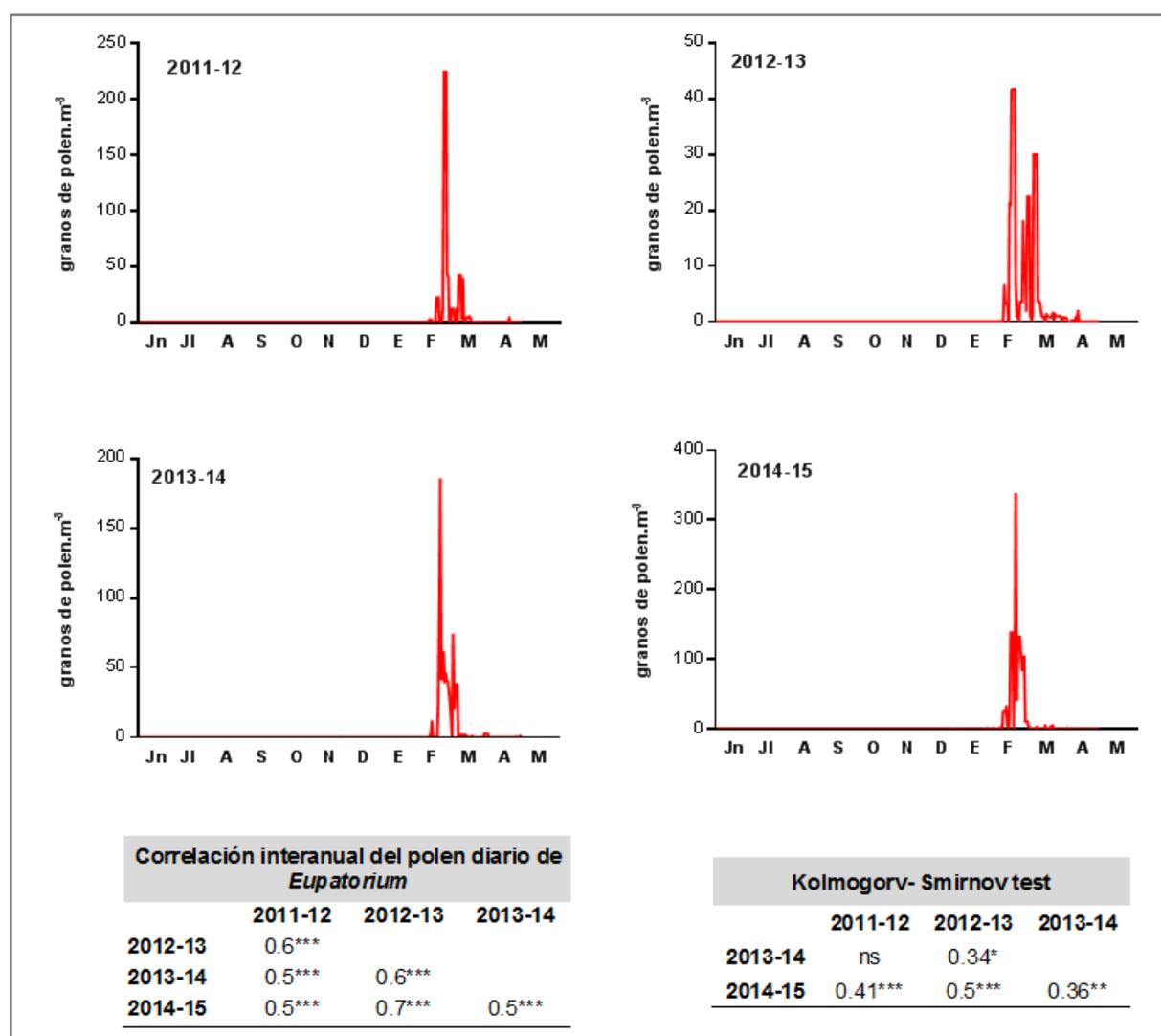
**Tabla 3.4 1.** Características morfológicas de los granos de polen de *Acanthostyles buniifolium* y *Raulinoreitzia tremula*.

	<i>Acanthostyles buniifolium</i>	<i>Raulinoreitzia tremula</i>
<b>Forma</b>	esferoidal	esferoidal
<b>Escultura</b>	microequinado	microequinado
<b>Aperture</b>	colporo	colporo
<b>vista ecuatorial*</b>	15,8 ± 0,8 x 15,2 ± 1,3	15 ± 1 x 14,4 ± 0,5
<b>vista polar *</b>	17,6 ± 0,6 x 16,2 ± 0,6	15,5 ± 1,1 x 14,5 ± 0,8
<b>espesor pared</b>	0,9 µm (aprox.)	1 µm
<b>largo espinas</b>	0,9 µm (aprox.)	1 µm

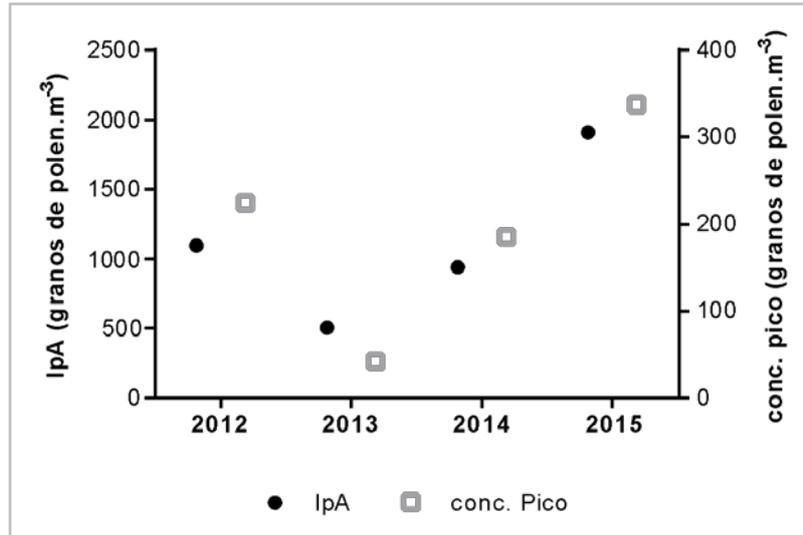
\*Sin considerar las espinas.

## Resultados del muestreo aeropalínológico

*Acanthostyles - Raulinoreitzia* es el cuarto taxón con mayor representación en Malvín Norte y representa en promedio el 8% del polen total. Se registra durante un período de tiempo corto, en promedio, 54 días al año en febrero y marzo (Figura 3.4 3). Este patrón, es decir, altas concentraciones durante un período corto de tiempo, fue relativamente similar entre todos los años, sin embargo, se observaron algunas diferencias en la duración de las estaciones polínicas y las concentraciones diarias alcanzadas (Figura 3.4 3). Los años 2013 y 2014 fueron los que presentaron una mayor correlación entre sí, mientras que el resto de los períodos presentó una correlación baja o no significativa (Figura 3.4 3).



**Figura 3.4 3.** Polen diario del tipo polínico *Acanthostyles - Raulinoreitzia* en cada período de muestreo y coeficientes de correlación de Spearman entre los años.  $p < 0,001$ . Notar las diferentes escalas de los gráficos.

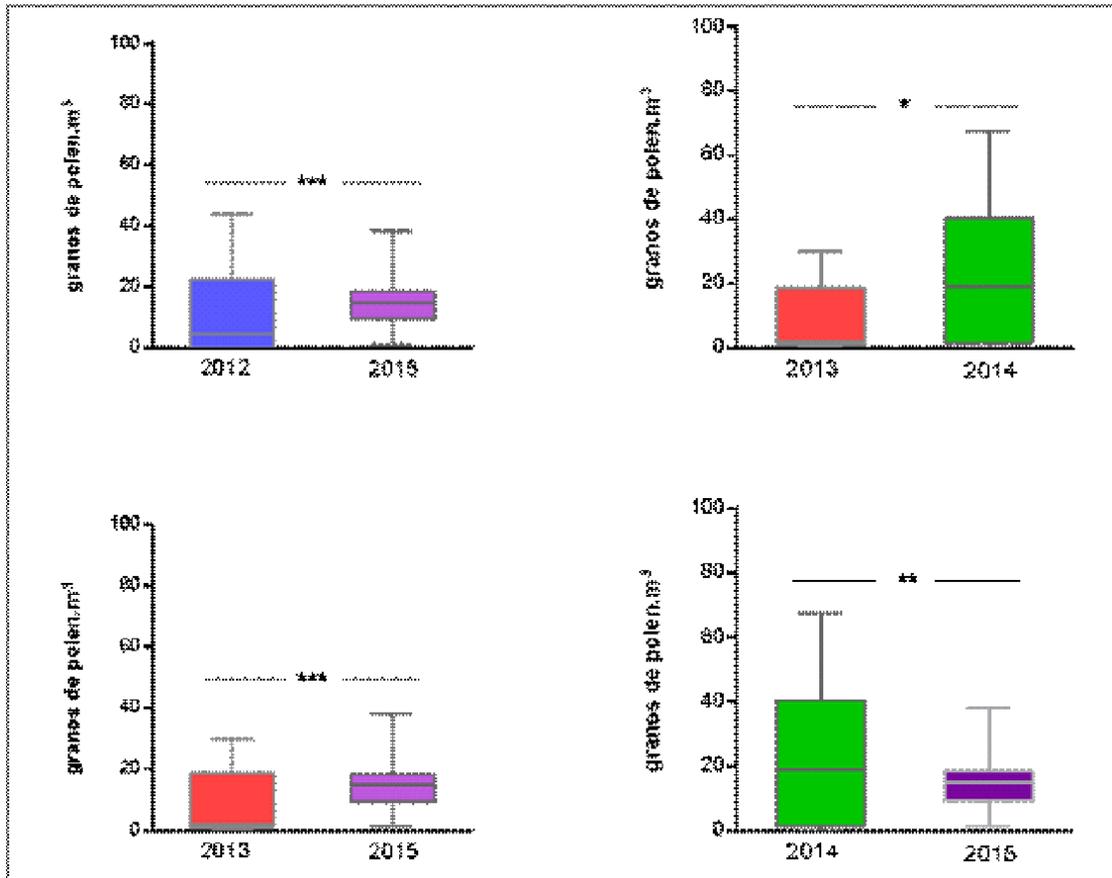


**Figura 3.4 4.** Integrales anuales de polen de *Acanthostyles - Raulinoreitzia* y picos de concentración polínica (conc. pico) para cada período de estudio.

El integral anual de polen (InAP) fue variable, con un promedio de 1100 granos de polen.m<sup>-3</sup>, siendo el verano del 2015 el que registró el mayor InAP, con el doble del promedio y cuatro veces mayor que el registrado en el verano del 2013 (Figura 3.4 4). Estas mayores concentraciones anuales y las diferencias en los patrones de concentración diarios a lo largo del año, se reflejan en medianas y desvíos estándares de concentración, diferentes para cada año de muestreo. Las concentraciones registradas en los períodos 2013 y 2014 fueron significativamente mayores (Figura 3.4 5)

### Estación polínica principal

No se observaron diferencias significativas en las fechas de inicio y finalización estimadas a partir del 98% de las concentraciones acumuladas, o las estimadas a partir del criterio utilizando concentraciones umbrales de 1 grano de polen.m<sup>-3</sup>. Como ya se mencionó, los granos de polen de este tipo polínico se registran durante un período de tiempo relativamente corto, con una estación polínica principal con una duración media de 46 días. En promedio se inicia entre el 28 de febrero y el 1 de marzo y termina en el entorno del 14 de abril, con una muy baja variación interanual en éstos parámetros (Tabla 3.4 2). Las concentraciones máximas fueron el descriptor que presentó las mayores diferencias entre años (CV 62%), aunque la fecha en que se registran presenta una variación muy baja y se sitúa en el entorno del 13 de marzo (Tabla 3.4 2).



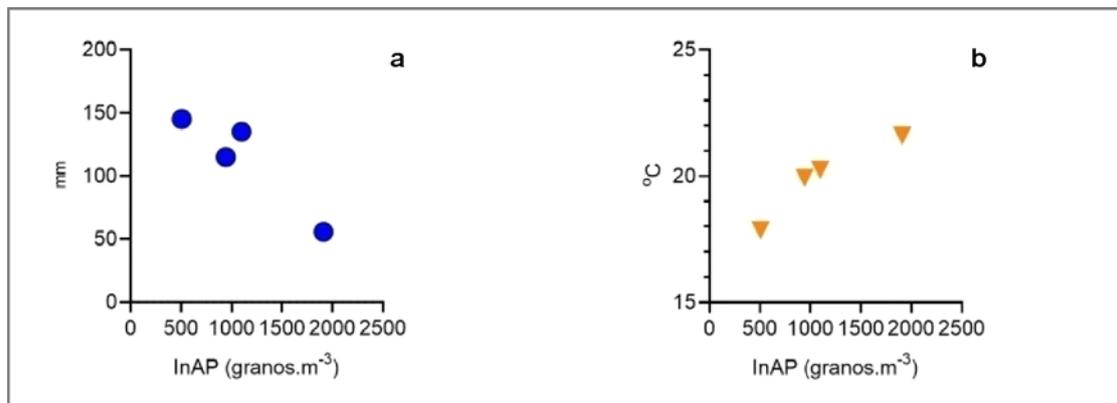
**Figura 3.4 5.** Diagrama de cajas de la concentración de *Acanthostyles - Raulinoreitzia* en función del período de estudio. Las líneas horizontales indican la mediana de los datos, las cajas comprenden el primer y tercer cuartil y las líneas verticales los percentiles 10 y 90 de la distribución de los los datos. Se indica diferencia significativa del test Dunn , \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$

**Tabla 3.4 2.** Descriptores de la estación polínica principal de *Acanthostyles- Raulinoreitzia*.

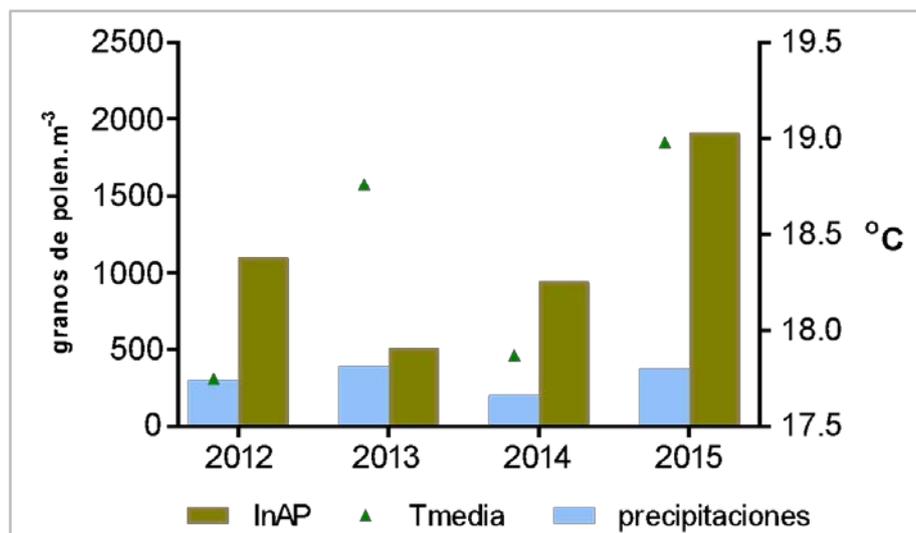
	EPP			fecha	Pico		InAP	In - EPP
	Inicio	Fin	Duración		conc.	días>umb ral 0.75		
<b>2012</b>	276	315	39	293	224.5	9	1099	1037
<b>2013</b>	274	327	53	283	41.7	8	507	465
<b>2014</b>	278	312	34	287	185.2	15	942	879
<b>2015</b>	264	321	57	285	337.2	14	1911	1761
<b>Media</b>	275	318	46	286	204.8	11.5	1020	958
<b>DE</b>	6.218	6.652	11	4.32	122	3.512	586.8	540.5
<b>CV (%)</b>	2,28	2,09	24	1,51	61,9	30,5	52,6	52,2

DE, desvío estándar; CV, coeficiente de variación.

Se realizó una aproximación descriptiva de la relación entre los parámetros de la EPP en relación a las condiciones meteorológicas, previas y durante la EPP. Dado que cuatro años constituyen un número limitado de datos para sacar conclusiones definitivas acerca de esta relación los resultados deben interpretarse con recaudo. Las precipitaciones acumuladas durante la EPP mostrarían una relación inversa con los InAP ; a mayores precipitaciones se registraron menores InAP (Figura 3.46e). La temperatura media durante la EPP mostró una relación directa con el InAP, registrándose más polen a mayor temperatura durante la EPP (Figura 3.46f). Por otra parte, no se observó una relación clara entre la temperatura y las precipitaciones acumuladas en la primavera previa (Figura 3.4 7).



**Figura 3.46.** Relación polen de *Acanthostyles - Raulinoreitzia* y condiciones meteorológicas durante la EPP. **a.** InAP en relación a las precipitaciones acumuladas. **b.** InAP en relación a la temperatura media.



**Figura 3.4 7.** InAP en relación a las precipitaciones acumuladas y la temperatura de la primavera.

## Umbrales polínicos

Se determinaron los umbrales de concentración para *Acanthostyles - Raulinoreitzia* a partir de los datos de la EPP. Como se trata del primer registro de este género como polen aerotransportado, no se cuenta con información bibliográfica acerca de los umbrales de concentración relevantes, por lo tanto son comparados con taxones de la misma familia y que son de importancia alérgica, como por ejemplo *Ambrosia* y *Artemisia*. Los valores estimados para los umbrales moderados y altos fueron menores a los establecidos por la REA, pero similares a los manejados por la AAAAI (Tabla 3.4 2), aunque el límite superior del umbral alto de la AAAAI es muy superior al estimado en esta tesis. En promedio, durante dos semanas y media se superan los umbrales moderados y durante 12 días se superaron los umbrales altos, según los estimados en este trabajo. Si se consideran los umbrales altos sugeridos por la AAAAI y la Rea, sólo se registrarían concentraciones consideradas altas durante 5 días de la EPP de este tipo polínico.

**Tabla 3.4 3** Umbrales de concentración para *Acanthostyles- Raulinoreitzia* estimados con los datos de Montevideo y los correspondientes umbrales de la AAAAI y la REA.

Umbrales de concentración - <i>Acanthostyles- Raulinoreitzia</i>				
	Montevideo		AAAAI	REA
	concentración	Días		
bajo	<10	28	<9	<25
moderado	10 - 25	18	10 - 49	26-50
alto	26 - 180	12	50 - 499	>50
muy alto	> 180	2	> 500	

días= número de días en que la concentración se registra en determinada categoría, promedio de todos los años estudiados.

## Relación con condiciones meteorológicas

Las concentraciones diarias de *Acanthostyles - Raulinoreitzia* durante la EPP mostraron una correlación positiva con las temperaturas todos los años, aunque los coeficientes fueron relativamente bajos (Tabla 3.4.4). El resto de las correlaciones con las variables meteorológicas fueron muy bajas o no significativas (Tabla 3.4.4). Sin embargo, la correlación con las concentraciones de polen del día anterior mostraron altos y significativos coeficientes de correlación.

**Tabla 3.4 4.** Correlación de las concentraciones polínicas diarias de *Acanthostyles* - *Raulinoreitzia* durante la EPP con las condiciones meteorológicas.

Verano	Tmx	Tmn	Tmd	Rh	Wd	Ws	Pp	pp-1	pp-2	Polen -1
2012	0.25***	0.16**	0.22***	ns	ns	-0.16*	ns	ns	ns	0.72***
2013	0.14**	ns	0.11*	-0.12*	ns	-0.12*	ns	ns	-0.1*	0.89***
2014	0.17***	ns	0.17**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.79***
2015	0.25***	0.22***	0.28***	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.76***
<b>todo el período</b>	0.4***	0.15*	0.2***	ns	ns	-0.06*	-0.05*	ns	-0.1*	0.8***

p< 0,05; \*\* p<0,01; \*\*\* p< 0,001

Si se analizan estas relaciones en los períodos pre y post pico, se registran coeficientes de correlación más altos entre el polen y las temperaturas máxima y media (Tabla 3.4 5).

**Tabla 3.4 5.** Correlación de las concentraciones polínicas diarias de *Acanthostyles* - *Raulinoreitzia* durante la EPP con las condiciones meteorológicas.

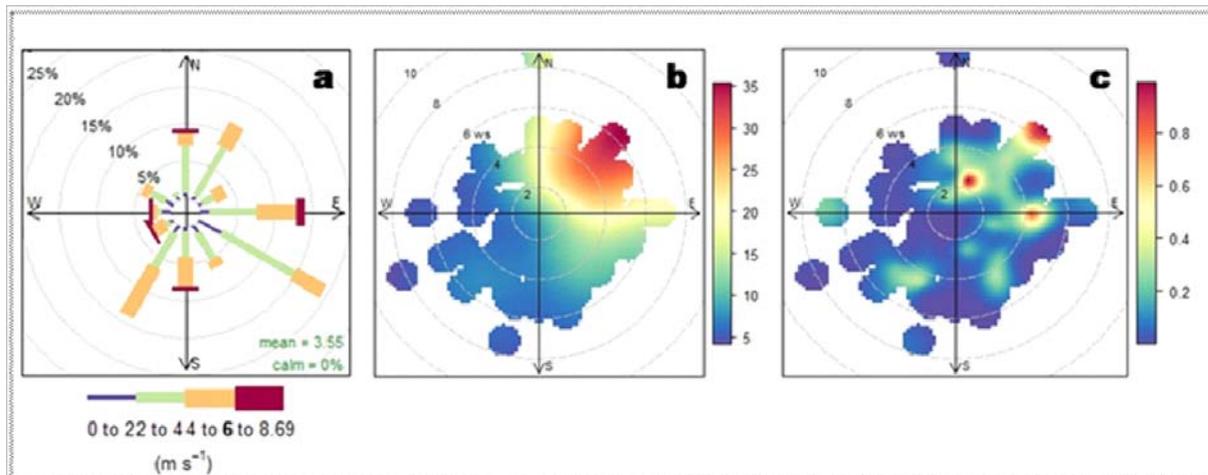
	Tmx	Tmn	Tmd	Rh	Pp
<b>Pre pico</b>	0.38**	ns	0,3**	ns	ns
<b>Post pico</b>	0.38***	ns	0.4***	ns	ns

p< 0,05; \*\* p<0,01; \*\*\* p< 0,001

### Dirección y velocidad del viento

A pesar de que la dirección y velocidad del viento no mostraron correlaciones significativas o fueron muy bajas, se utilizó otra aproximación para analizar la influencia de estas variables sobre la concentración de polen durante la EPP. Para ello se realizaron gráficos polares de vientos y concentraciones polínicas. Las concentraciones medias de este tipo polínico fueron mayores con vientos provenientes del noreste, a velocidades en el entorno de los 4 y 6 m/s (Figura 3.4.8.). Se registran concentraciones intermedias provenientes del mismo cuadrante a un rango variable de velocidades. Si se ponderan las concentraciones con respecto a la velocidad y distancia, esta relación es más evidente y las mayores concentraciones se registran con vientos de dirección noreste, a una velocidad de 6 m/s (Figura 3.4.8.). También, se detectan altas concentraciones con vientos provenientes de la

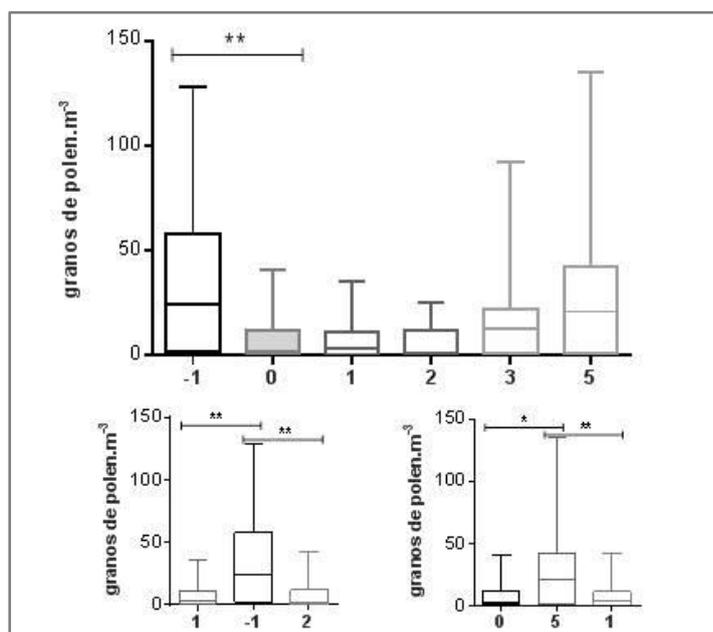
dirección norte y este, a velocidades de 2 y 4 m/s respectivamente. Se observan concentraciones más bajas provenientes de diferentes direcciones y velocidades del viento.



**Figura 3.4.8. a.** Frecuencia del viento por dirección (se indica frecuencia de cada velocidad en cada dirección). **b.** Concentración media de polen de *Acanthostyles - Raulinoreitzia* por dirección del viento. **c.** Concentración media de polen de ponderada por la dirección y velocidad del viento. En b y c, círculos concéntricos indican velocidad del viento.

### **Precipitaciones**

Las concentraciones de polen de *Acanthostyles - Raulinoreitzia* disminuyeron drásticamente el mismo día que llueve, observándose concentraciones significativamente menores al día anterior (Figura 3.4.9). Las concentraciones de polen registradas el día de lluvias y el siguiente son significativamente menores que las concentraciones del día anterior y las del tercer y quinto día. Las concentraciones de polen vuelven a valores similares a los previos a las lluvias al tercer día de que ésta ocurre (Figura 3.4.9).



**Figura 3.4.9.** -Diagrama de cajas de la concentración de *Acanthostyles - Raulinoreitzia* en función del día que ocurren las precipitaciones. Día 0, es el día que llueve. Se indican diferencias significativas, test Kruskal Wallis, Dunn, \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$

### Modelos de pronóstico de las concentraciones de polen

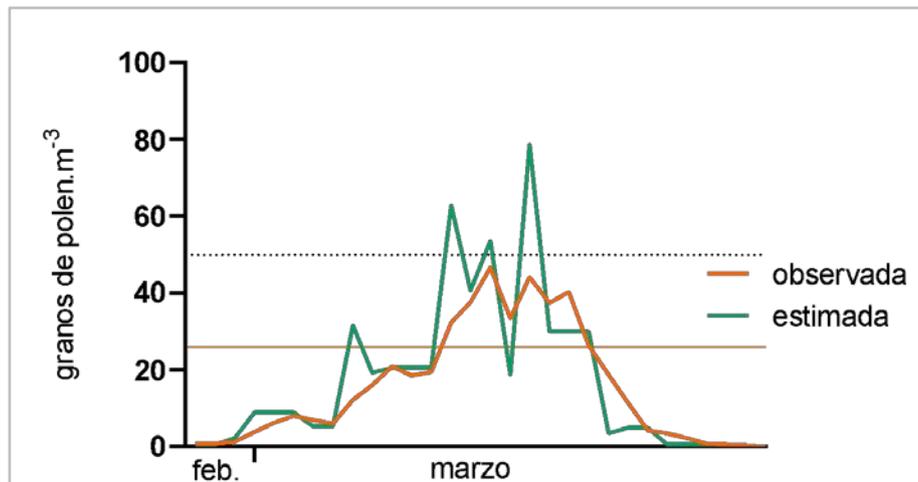
En esta tesis se realizó una primera aproximación a la capacidad predictiva de las concentraciones obtenidas durante la serie de cuatro años. Con el objetivo de poder evaluar la posibilidad de generar modelos predictivos de las concentraciones de este taxón, se exploraron diferentes combinaciones de variables independientes, utilizando los datos de la EPP y de los períodos pre y post pico. El modelo con el mejor coeficiente de determinación fue obtenido exclusivamente utilizando la concentración de los días previos ( $R^2_{ajustado}=0,85$ ,  $p<0,0001$ )

$$y = 0,2083 + 0,8676 * Acanthostyles - Raulinoreitzia3$$

Donde:  $y$  es la concentración de polen del día y *Acanthostyles - Raulinoreitzia3* es la concentración media de polen de los tres días anteriores, datos transformados a raíz cuadrada.

A partir de este modelo se estimaron las concentraciones diarias para el período 2000-2001. Las concentraciones estimadas no se diferenciaron de las observadas (test de Mann Whitney no significativo,  $p=0,6$ ); tampoco mostraron diferencias significativas las distribuciones acumuladas observadas y estimadas (Test de Kolmogorv-Smirnov no

significativo,  $p=0,4$ ). Las distribuciones observadas y estimadas son similares, aunque los picos de concentración estarían siendo levemente subestimados por el modelo (Figura 3.4.10). Si se consideran los días en que las concentraciones superaron el umbral de concentración alto estimado en esta tesis, todos los días (menos uno) habrían sido correctamente predecidos por este modelo (Figura 3.4.10). Aunque de ser utilizados los umbrales sugeridos por la REA, el modelo sería menos sensible al pronóstico de los días con concentración alta.



**Figura 3.410.** Concentraciones estimadas y observadas de *Acanthostyles-Raulinoreitzia* durante el período 2000-2001. Líneas horizontales indican umbrales altos de concentración, estimados en esta tesis (naranja) y de la REA (negra punteada).

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### Anemofilia en *Acanthostyles* y *Raulinoreitzia*

El mecanismo de polinización más extendido en la familia Astereaceae, que incluye en el entorno de 25.000 especies, es la entomofilia. Sin embargo, se ha reportado la dispersión por viento (anemofilia) en algunas especies. En particular, en la tribu Eupatorieae la anemofilia ha sido reportada para algunas especies pertenecientes a los géneros *Critonia*, *Koanophyllon*, *Neohintonia*, *Decachaeta* y *Eupatorium* (Grashoff & Beaman, 1970; Sullivan, 1975). Grossi y colaboradores (2017) amplían esta lista incluyendo a *Acanthostyles buniifolium*, que posee características florales y del grano de polen indicativas de una dispersión anemófila.

En la región, el tipo polínico *Baccharis/Eupatorium* es mencionado en estudios de muestras superficiales de sedimentos, donde este tipo polínico se encuentra bien representado

(Mourelle & Prieto 2012) o sobrerrepresentado en los sedimentos (Markgraf *et al.* 1986), aunque los autores refieren a este tipo polínico como entomófilo.

En cuanto a la presencia de granos de polen de estas especies o géneros en el aire, se encontraron escasos antecedentes para Eupatorieae en general y sólo uno de *Acanthostyles buniifolium*. En Entre Ríos (Argentina), en trampas Tauber ubicadas en un arbustal con palmeras, se registró *Acanthostyles buniifolium*, sin embargo, se la señala como especie entomófila (Muñoz *et al.* 2017). Mientras que otras Eupatorieae, en este caso del género *Eupatorium*, han sido registradas en San Salvador de Jujuy, Argentina (Torres 2018) y en Hubli-Dharwaden India (Nalini *et al.* 2005). No se encontraron referencias de la presencia de *Raulinoreitzia tremulum* en estudios aerobiológicos, sin embargo, las características morfológicas del grano de polen (tamaño pequeño, baja ornamentación), las características florales y las concentraciones de polen alcanzadas en el aire de Montevideo apuntan fuertemente a que esta especie presenta dispersión anemófila.

Es posible que en otros trabajos los granos de polen de estas especies hayan sido agrupados bajo el tipo polínico Asteraceae o Eupatorieae y por lo tanto, si bien han sido registrados, no han sido identificados como tales.

De esta forma, este trabajo constituye la primera referencia de este tipo polínico como granos de polen aerotransportados importantes y plantea la necesidad de su estudio desde el punto de vista molecular y clínico para determinar su posible alergenicidad.

### ***Acanthostyles* - *Raulinoreitzia* en el aire de Montevideo**

El polen de *Acanthostyles* - *Raulinoreitzia* representa en promedio el 8% del polen total y es el taxón en segundo lugar en cuanto a su contribución al polen no arbóreo.

La **distribución de polen diario** de este tipo polínico durante un período de tiempo corto en el cual se alcanzan concentraciones altas, reflejaría la floración de una especie en particular, en contraposición a las distribuciones de polen diario que son extendidas en el tiempo y con múltiples picos, como en Poaceae. La **estación polínica principal** (EPP) se extiende en promedio desde el 28 de febrero al 14 de abril. De acuerdo a Lombardo (1983) *Raulinoreitzia tremula* florece en febrero y marzo, mientras que *Acanthostyles buniifolium* lo hace en marzo y abril; por lo tanto, en marzo podrían superponerse las floraciones y el polen aerotransportado podría ser una mezcla de ambas especies. Este punto debería ser abordado por ejemplo, mediante estudios fenológicos de ambas especies para precisar sus períodos de floración.

Se observó una alta correlación en las concentraciones de polen de los diferentes años, sin embargo, se observaron marcadas diferencias interanuales en los **InAP** y los picos de

máximas concentraciones. En el año 2015 se registró el mayor InAP y el mínimo durante el 2013.

Los resultados sugieren que a mayor temperatura y menores precipitaciones acumuladas se registrarían InAP más altos. Estos resultados concuerdan con los observados por Peternel (2006) para *Ambrosia*, donde se registraron mayores InAP en **EPP** más cálidas y secas y en aquellas precedidas por meses más cálidos. Sin embargo, en esta tesis no se observó ninguna relación clara con las condiciones meteorológicas previas a la EPP. Si se comparan los datos obtenidos en el verano del 2001, el InAP fue de 245 granos de polen, las precipitaciones acumuladas 287 mm y la temperatura media de 20,85 °C. De acuerdo a esa temperatura, el InAP debería ser mayor, sin embargo, es el menor registrado para ese taxón. Por otro lado, durante las EPP del 2012 y el 2013 las precipitaciones acumuladas fueron similares (135 y 145 mm respectivamente); no obstante, la temperatura media durante la EPP del 2013 fue 2 °C menor que la media de todos los años. Una explicación posible de este fenómeno podría ser la frecuencia de las precipitaciones, pero llovió más de 1 mm 8 días en cada EPP del 2012, 2013 y 2014, por lo tanto, esta variable no explicaría estas diferencias en los InAP. La diferencia observada durante el verano del 2015 podría estar vinculada a una estación polínica más cálida y seca que podría haber favorecido, no sólo la liberación, también la concentración y dispersión del polen de estas especies. Un último aspecto a considerar es la posibilidad de que la variabilidad interanual en los InAP sea debida al transporte episódico de polen, ya que existe extensa evidencia en la literatura sobre el transporte de polen de larga distancia de forma intermitente (Fernández Rodríguez *et al.* 2014, 2015; Rojo & Pérez Badia 2015). Aunque no se trata del mismo tipo polínico, los granos de polen de *Acanthostyles–Raulinoreitzia* pueden considerarse morfológicamente similares a los de *Ambrosia*, para los cuales algunos autores sugieren que puedan ser transportados a largas distancias (Stach *et al.* 2007).

De todas formas, al igual que se mencionó en los capítulos anteriores, es necesario tomar estas interpretaciones con precaución y sería conveniente ampliar la base de datos, así como analizar el patrón horario de concentraciones para evaluar estas hipótesis.

En relación a la influencia de las **condiciones meteorológicas** en las **concentraciones diarias** de polen, la mayor correlación se observó con las temperaturas máxima y media, sin embargo, los coeficientes fueron menores a 0,5, mostrando la relativamente baja influencia de esas variables en las concentraciones de polen diarias.

La ausencia de correlación de las precipitaciones con el polen diario podría deberse al bajo número de días de lluvias registrados durante las EPP de los cuatro años. Sin embargo, el análisis de las concentraciones de polen en función del día que ocurren las lluvias mostró los mismos resultados que en la familia Poaceae. Las **lluvias** tuvieron un efecto negativo

instantáneo el mismo día y las concentraciones de polen se mantienen relativamente bajas durante las 48 horas siguientes, recuperándose los valores al tercer día. El día que llueve, los granos de polen serían removidos por barrido (Dingle and Gatz 1966) con el subsecuente descenso de las concentraciones de polen en el aire. No está claro cuáles podrían ser los factores involucrados en provocar que las concentraciones se mantengan bajas dos días después de las lluvias. No se encontraron referencias a posibles efectos de las precipitaciones sobre, por ejemplo, la liberación de los granos de polen, como ha sido reportado para las gramíneas (Subba Reddi *et al.* 1988). Un posible factor podría ser la **humedad relativa del aire**, que limita la liberación de polen en otras plantas ruderales como *Ambrosia* (Bartková-Ščevková 2003) en la que la liberación de polen es casi nula con humedades relativas superiores al 95% (Cole and Harrington 1967, Šikoparija *et al.* 2018). La ausencia de correlación negativa del polen con la humedad relativa del aire que se ha encontrado en este trabajo, podría deberse a que la humedad relativa fue en promedio de 75% durante la EPP y hace suponer por tanto que esta variable meteorológica no constituyó un factor limitante y no explicaría las concentraciones bajas durante 48hs. Barnes y colaboradores (2001) estudiaron la influencia de las condiciones meteorológicas (temperatura, humedad relativa y lluvias) sobre las concentraciones de polen de *Ambrosia* y concluyen que condiciones atmosféricas inestables, como el pasaje de un frente frío, tienen un gran impacto negativo en las concentraciones diarias de polen. En este sentido, las lluvias son seguidas por frentes fríos que podrían quizás explicar el fenómeno post lluvias observado.

En relación a las concentraciones de polen en función de la **velocidad y dirección del viento**, los análisis bivariados indicarían que fuentes extra locales de este tipo polínico se encontrarían en la dirección noreste, ya que altas concentraciones se registran con vientos en esa dirección a velocidades de 6 m/s. Las fuentes locales estarían presentes en zonas cercanas al muestreador, reflejadas por altas concentraciones registradas a velocidades del viento en el entorno de los 2 m/s. Las fuentes locales podrían estar representadas por *Acanthostyles buniifolium* (chirca de campo) que es común en Malvín Norte, en los terrenos aledaños al punto de muestreo (obs. pers.). Las fuentes extralocales podrían ser los arbustos de *Raulinoreitzia tremula* (chirca de bañado) que crece en zonas de humedales y las posibles áreas fuente serían los humedales de Carrasco, aprox. 7 km de Malvín Norte. Estos humedales se encuentran en dirección noreste del punto de muestreo. Por otra parte, Montevideo se encuentra rodeado de áreas fuentes de estos tipos polínicos ya que *Acanthostyles buniifolium* es una especie frecuente en campos y pastizales de zonas periféricas. Sin embargo, sería necesario un estudio de la vegetación de la ciudad y sus

alrededores para determinar de forma más precisa las potenciales áreas fuente de este tipo polínico.

Con respecto a los **umbrales de concentración** estimados para Montevideo, el polen de *Acanthostyles- Raulinoreitzia* superó los niveles considerados altos durante 14 días de la EPP. Así mismo, superó los umbrales determinados como altos por la REA y la AAAAI para malezas como *Ambrosia* y *Artemisia*. En Suiza, por ejemplo, se consideran concentraciones altas las que exceden los 10 granos de polen.m<sup>-3</sup> (Gehrig et al 2011). Sin embargo, no se encontró información relativa a la posible alergenicidad de *Acanthostyles buniifolium* y *Raulinoreitzia tremula*, o de especies del mismo género. Por lo tanto, sólo se pueden inferir el posible potencial alergénico de este tipo polínico, que cumple el primer requisito para ser considerado potencialmente alergénico, que es el ser registrado en altas concentraciones en el aire.

Las especies de compuestas señaladas como más alergénicas (Lewis et al. 1983), como *Ambrosia* (Heliantheae), *Artemisia* (Artemisínea) y *Baccharis* (Baccharidínea) pertenecen a la misma subfamilia, Asteroideae, que *Acanthostyle* y *Raulinoreitzia* (Funk et al. 2009). La referencia más cercana, desde el punto de vista filogenético, a una Eupatorieae alergénica es la de Liang y colaboradores (2010), que reportan que el 1% de los pacientes muestran síntomas frente a la exposición al polen de *Eupatorium capillifolium*. Si bien la función biológica de algunos alérgenos es aún desconocida, Chen y colaboradores (2016) desarrollaron un modelo predictivo de alérgenos en plantas y en términos generales, se sugiere que especies cercanas tendrían más probabilidad de tener alérgenos similares, si una del grupo los posee. *Ambrosia* y *Aremisia* presentan varios alérgenos estructuralmente muy similares (Asero et al. 2014, Miguera et al.. 2014) que podrían ser responsables de la sensibilización cruzada frente a los granos de polen de ambas especies.

Por lo tanto, se podría especular que *Acanthostyles* y *Raulinoreitzia*, filogenéticamente cercanas a compuestas con granos de polen altamente alergénicos, podrían ser también alergénicas. Esta temática debería ser abordada en el futuro mediante la caracterización molecular y evaluación clínica del potencial alergénico de las proteínas del polen de estas especies.

En el análisis exploratorio sobre la capacidad predictiva de las concentraciones de polen, el modelo obtenido es relativamente bueno, ya que explica el 85% de la varianza de los datos y las concentraciones estimadas para el año 2001 no mostraron diferencias significativas con las observadas para el mismo período. Al igual que para otros tipos polínicos, las concentraciones altas estarían siendo levemente subestimadas por el modelo, pero predeciría correctamente los rangos de concentraciones de acuerdo a los umbrales

establecidos en esta tesis. De esta forma, el modelo permitiría realizar las primeras predicciones del polen del tipo polínico *Acanthostyles - Raulinoreitzia* en el aire de Montevideo con 24 hs de anticipación. Sin embargo, es necesario destacar que los datos utilizados, donde los fines de semana que son muestreados en períodos de 72 horas no son incluidos en los análisis, no serían los más apropiados para este tipo de análisis ya que se estaría perdiendo información relevante. Además, en el caso de tipos polínicos con EPP bien definidas y cortas, donde las concentraciones de polen diarias son relativamente independientes de las condiciones meteorológicas, sería fácil determinar si las concentraciones se encuentran en ascenso y descenso a partir de las concentraciones de los días previos.

## Conclusiones

- El presente trabajo constituye el primer registro de *Acanthostyles - Raulinoreitzia* como polen aerotransportado en Uruguay.
- El tipo polínico *Acanthostyles - Raulinoreitzia* presenta una marcada estacionalidad y se registra durante un período corto desde marzo a mediados de abril, en el cual alcanza concentraciones elevadas.
- El polen de este tipo polínico supera el umbral de concentración alto 14 días al año.
- Las lluvias disminuyen la concentración de polen durante 72 hs.
- Veranos cálidos y secos favorecerían la dispersión de este polen y los InAP serían mayores.
- Fuentes locales y extralocales contribuirían al polen de *Acanthostyles - Raulinoreitzia*.
- Debido a la falta de antecedentes aerobiológicos de *Acanthostyles - Raulinoreitzia* se han realizado referencias a otros taxones ruderales de la misma familia de plantas, que además presentan granos de polen similares y por tanto podrían comportarse de la misma forma durante la dispersión. Sin embargo, estas comparaciones deben tomarse con recaudo y las conclusiones a las que se han arribado en esta tesis deberán ser confirmadas en trabajos posteriores.

## **CAPÍTULO 4**

# **HETEROGENEIDAD ESPACIAL DE LA NUBE POLÍNICA EN LA CIUDAD DE MONTEVIDEO: ¿ES UN SOLO PUNTO REPRESENTATIVO PARA TODA LA CIUDAD?**

## **Introducción al Capítulo 4.**

En Montevideo existen antecedentes de muestreo de polen sólo en Malvín Norte, por lo que resulta relevante, por un lado, determinar si existen diferencias, y de qué tipo, en el polen aerotransportado en diferentes zonas de la ciudad y por otro, determinar si un sólo punto de muestreo podría ser representativo de toda la ciudad.

### **Objetivo general**

El objetivo general es evaluar la heterogeneidad espacial del polen aerotransportado, su relación con la vegetación y con las variables meteorológicas.

En este sentido se plantean los siguientes objetivos específicos:

1. Evaluar las diferencias entre los tres puntos de muestreo en relación con los patrones de las concentraciones diarias y concentraciones totales alcanzadas del polen total y de los taxones más relevantes.
2. Determinar la influencia de las condiciones meteorológicas en las concentraciones polínicas de los 3 puntos de muestreo.
3. Explorar la relación entre las concentraciones polínicas de los tres puntos de muestreo y la vegetación de las zonas circundantes a los captadores de polen.

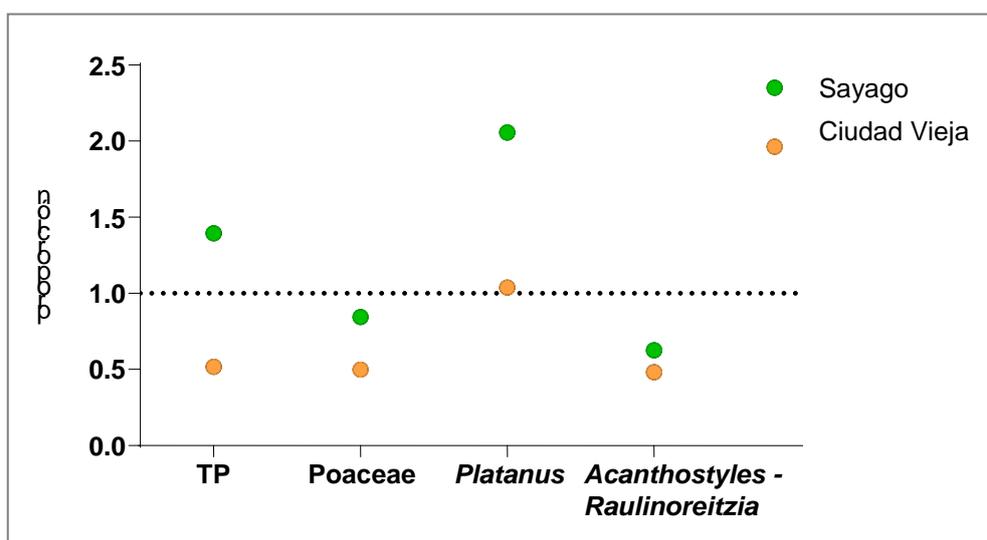
La **aproximación metodológica** general de colecta y análisis de datos de este capítulo corresponde a la descrita en el Capítulo II y en particular la presentada en el Capítulo II.2.

## RESULTADOS

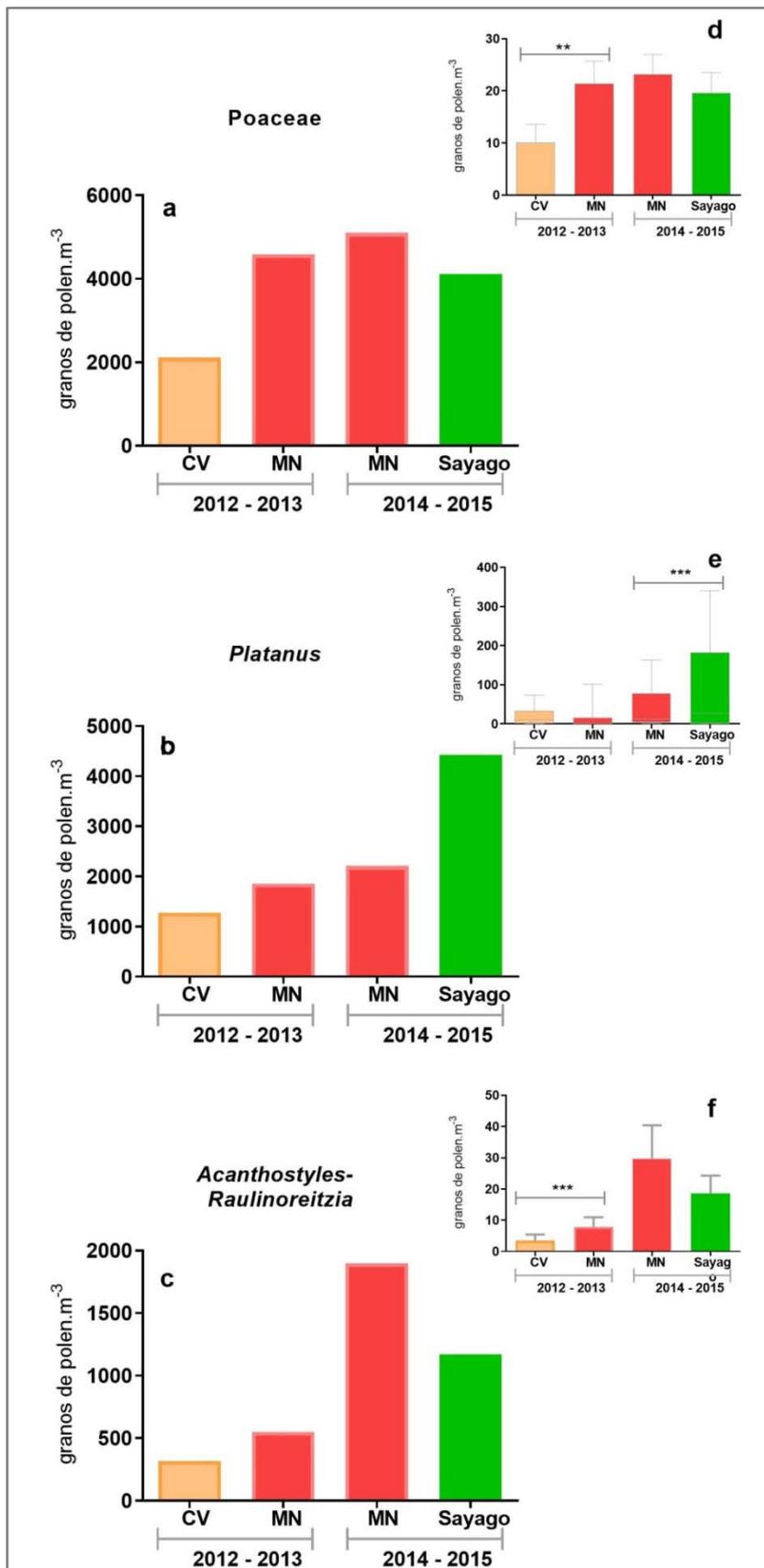
### Heterogeneidad espacial de las concentraciones de polen atmosférico

En términos generales se registraron los mismos taxones importantes (mayores al 1% del polen total) en los tres sitios de muestreo. En Malvín Norte (MN), Sayago y Ciudad Vieja (CV) los 3 taxones más importantes fueron Poaceae, *Platanus* y *Acanthostyles - Raulinoreitzia*. Cupressaceae se registró como importante en Ciudad Vieja pero no en Sayago, debido a que la mayoría de su estación polínica principal (EPP) quedó fuera del período de muestreo. Para el caso de Ciudad Vieja, se incluyó a Urticaceae y Ambrosia en la comparación debido a su importancia relativa (Tabla 4.1) y por ser de interés desde el punto de vista alérgico.

El integral anual de polen (InAP) del polen total fue 1,5 veces mayor en Sayago que en Malvín Norte, mientras que en Ciudad Vieja se registró la mitad de polen que en MN (Figura 4. 1). Con respecto a los taxones más importantes, Poaceae registró mayor concentración total en Malvín Norte, con un InAP dos veces mayor y concentraciones medias significativamente más altas que en Ciudad Vieja (Figura 4. 2.a, d). El InAP de *Platanus* en Ciudad Vieja fue levemente superior al registrado en Malvín Norte y en Sayago se registró dos veces más polen que en Malvín Norte, siendo las concentraciones medias significativamente mayores en este punto de muestreo (Figura 4. 1; Figura 4. 2.b,e). *Acanthostyles- Raulinoreitzia*, por su parte, registró aproximadamente la mitad de la concentración total que Malvín Norte, tanto en Sayago como en Ciudad Vieja, donde se registraron concentraciones medias inferiores a las de Malvín Norte (Figura 4. 2.c,f).



**Figura 4. 1.** Proporción de los InAP de Sayago y Ciudad Vieja con respecto a los InAP de Malvín Norte. TP, polen total. La línea punteada indica la proporción a la cual el InAP es igual al de Malvín Norte.



**Figura 4. 2.** a-c InAP de polen y d-f diagrama de cajas de la concentración de polen por sitio de muestreo de, *Poaceae*, *Platanus* y *Acanthostyles-Raulinoreitzia*, respectivamente. Se indican diferencias significativas (Prueba U de Mann-Whitney). Los diagramas de cajas indican la mediana, los percentiles 25 y 75 (extremos de la caja) y los percentiles 10 y 90 (barras de error). \*p<0.05, \*\* p< 0.01, \*\*\* p<0.001

## Distribución de polen

### Malvín Norte – Ciudad Vieja

Los InAP de polen total (PT), de origen arbóreo (PA) y no arbóreo (PNA) fueron el doble en Malvín Norte que en Ciudad Vieja, sin embargo, en términos porcentuales, la contribución relativa de los taxones arbóreos y no arbóreos al polen total fue similar en ambos sitios. El PA representó el 41% y el 42,4%, mientras que el PNA representó el 59% y el 57,4% en Malvín Norte y Ciudad vieja, respectivamente (Tabla 4.1)

Al evaluar el grado de asociación de los diferentes tipos polínicos entre los dos puntos de muestro, todos (excepto Urticaceae) mostraron correlaciones positivas y significativas. Las mejores correlaciones, altamente significativas y por encima del 0,5 se observaron para polen arbóreo, Poaceae, *Platanus*, *Acanthostyles- Raulinoreitzia* y *Ambrosia* (Figura 4. 3. c, d, e, g, i).

Al analizar las distribuciones del polen de los taxones más importantes entre los dos puntos de muestreo, no se encontraron diferencias para *Platanus* y *Ambrosia* (Figura 4. 3.e, i), o fueron muy pequeñas, como en el caso de *Acanthostyles- Raulinoreitzia* (Figura 4. 3.g). Sin embargo, las distribuciones del polen diario de Poaceae, Urticaceae y Cupressaceae fueron significativamente diferentes (Figura 4. 3.d, f).

**Tabla 4. 1.** Integral Anual y % del PT de los taxones más importantes en Malvín Norte y Ciudad Vieja.

	Malvín Norte		Ciudad Vieja	
	InA	%	InA	%
<b>Poaceae</b>	4625	42,2	2310	39,1
<b><i>Platanus</i></b>	1277	11,7	1326	22,4
<b>Cupressaceae</b>	907	8,3	429	7,3
<b><i>Acanthostyles- Raulinoreitzia</i></b>	507	8	245	4,4
<b>Urticaceae</b>	265	2,4	401	6,8
<b><i>Ambrosia</i></b>	138	1,3	162	2,9

% = % del polen total del sitio.

En cuanto a la estación polínica principal, los granos de polen de Poaceae y Cupressaceae registraron durante un período de tiempo ligeramente mayor en Malvín Norte (Figura 4. 3. d, f, i), mientras que *Platanus* y Urticaceae se registraron durante más días en Ciudad Vieja (Figura 4. 3. e, h). Con respecto a los períodos de máximas concentraciones, los picos polínicos de Poaceae y *Acanthostyles - Raulinoreitzia* se registraron en las mismas fechas en Malvín Norte y Ciudad Vieja, siendo de mayor magnitud en Malvín Norte para ambos taxones (Figura 4. 3.d, g). *Platanus*, por su parte, presenta un primer pico sincrónico en ambas zonas, pero luego se observa un desfazaje entre los picos máximos y secundarios siguientes (Figura 4. 3.e). Urticaceae presentó una alta variabilidad diaria en las concentraciones, con varios

picos secundarios registrados en diferentes fechas en las dos zonas de la ciudad (Figura 4. 3.h). En el caso de *Ambrosia*, el período de máximas concentraciones fue similar en ambas zonas, pero los picos máximos se registraron en diferentes días (Figura 4. 3.i).

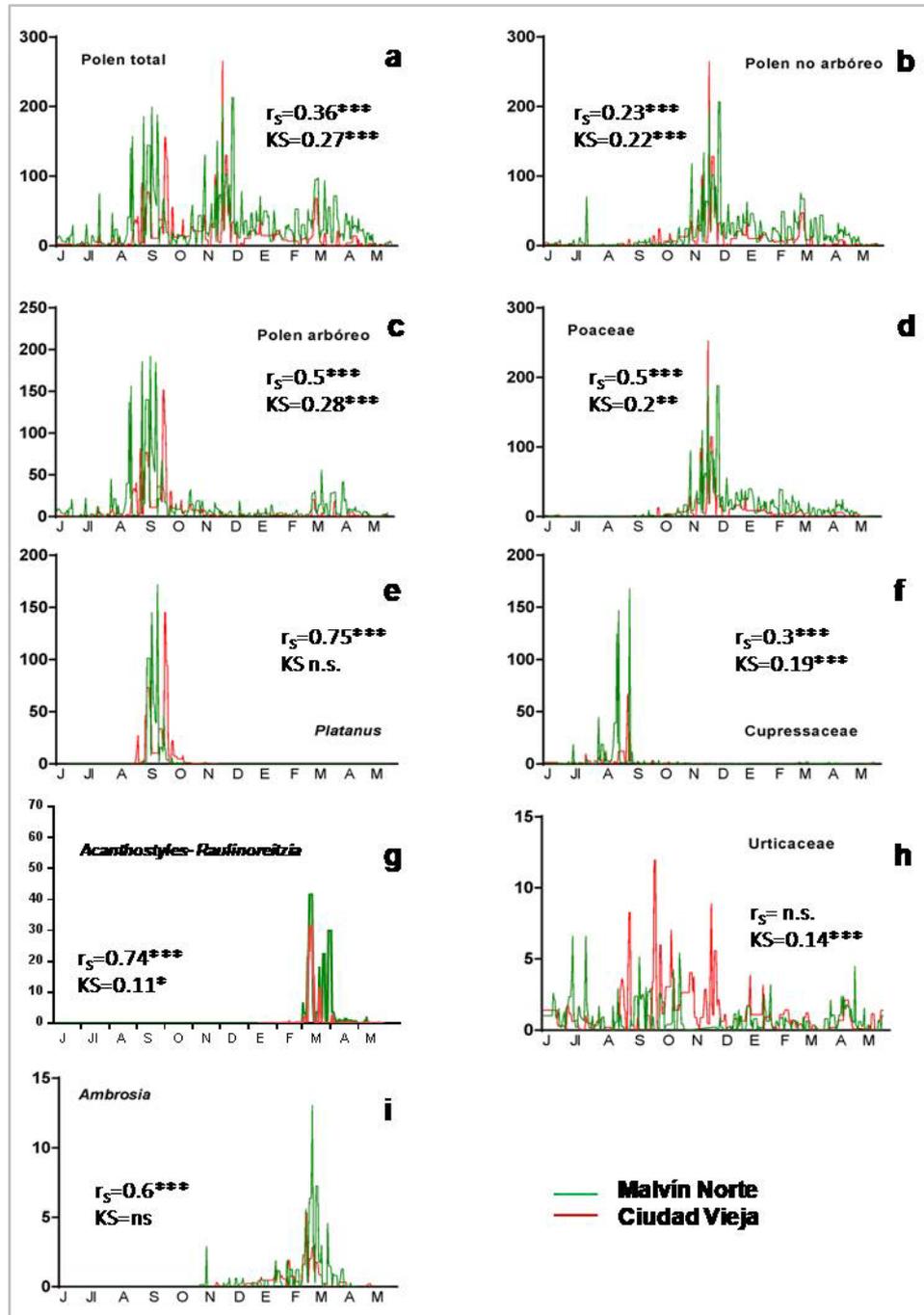
En relación a los umbrales de concentración alta, *Platanus* se registró 15 días (34% de la duración de la EPP) y 8 días (35% de la duración de la EPP) por encima del umbral en Ciudad Vieja y Malvín Norte, respectivamente. Mientras que los taxones herbáceos se registraron más días por encima del umbral en Malvín que en Ciudad Vieja. Las concentraciones de Poaceae superaron 16 días (47% de la duración de la EPP) y 38 días (40% de la duración de la EPP) este umbral en Ciudad Vieja y Malvín Norte, respectivamente. Por otro lado, *Acanthostyles - Raulinoreitzia* se registró 3 días (19% de la duración de la EPP) y 8 días (22% de la duración de la EPP) encima del umbral en Ciudad Vieja y Malvín Norte, respectivamente.

### Malvín Norte – Sayago

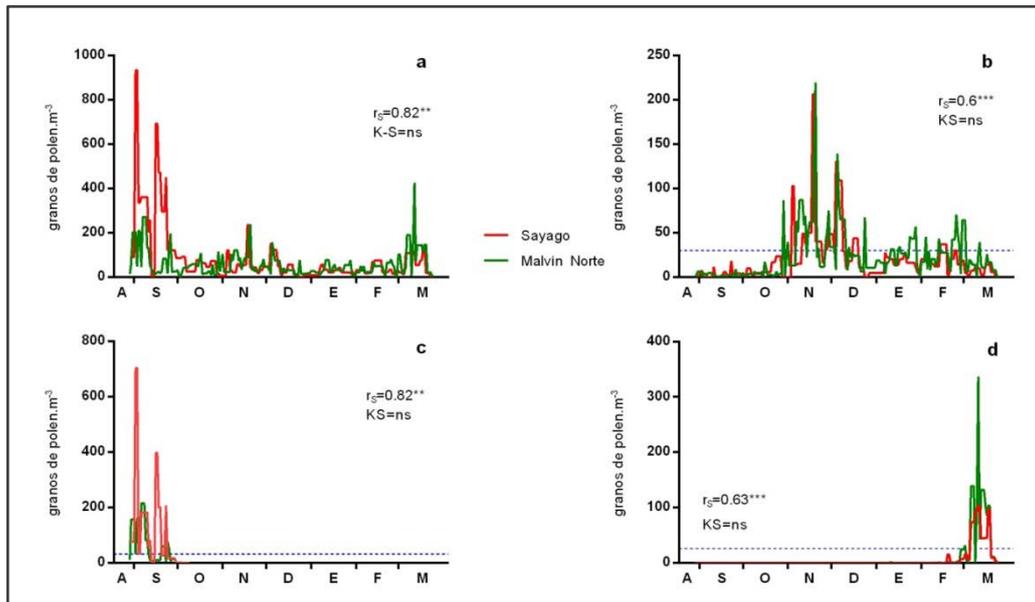
El período de muestreo en Sayago fue del 15 de agosto de 2014 al 30 de marzo de 2015, por ello varios taxones quedaron excluidos del registro y en otros casos no se registró de manera completa su estación polínica principal. Por lo tanto, estos sitios se compararon sólo en relación al polen total, de *Platanus*, Poaceae y *Acanthostyles - Raulinoreitzia* cuyos períodos de polinización quedan comprendidos dentro del período de muestreo. Estos taxones representaron el 22,2%, el 21,5% y el 6,2% del polen total de Sayago. Mientras que, para el mismo período, representaron el 30%, 13,6% y el 11,6% del polen total de Malvín Norte.

Al evaluar el grado de asociación de los diferentes tipos polínicos entre los dos puntos demuestro, todos mostraron correlaciones altamente significativas y por encima del 0,5 (Figura 4.4.). Así mismo, al analizar las distribuciones de las concentraciones de polen de los taxones más importantes, no se encontraron diferencias entre los dos puntos de muestreo (Figura 4.4.), mostrando una alta sincronidad en las distribuciones diarias de polen.

En cuanto a la estación polínica principal, ésta tuvo una duración ligeramente mayor en Malvín Norte para Poaceae y *Platanus* y en el caso de *Acanthostyles - Raulinoreitzia* la EPP se prolongó 12 días más en este punto de muestreo. Los picos de concentración de polen, se registraron el mismo día para *Acanthostyles - Raulinoreitzia* y con un día y 4 de diferencia en Poaceae y *Platanus* respectivamente (Figura 4.4.b-d, Tabla A4.2); las magnitudes fueron similares sólo en el caso de Poaceae. En relación a los días que los taxones superan los umbrales de concentración, *Platanus* superó el umbral alto de concentración en 20 (70% de la EPP) y 16 días (45% de la EPP) en Sayago y Malvín Norte, respectivamente. Por su parte, las concentraciones de Poaceae se registraron por encima del umbral alto, 40 días (40% EPP) en Sayago y 55 días (48% EPP) en Malvín. Mientras que *Acanthostyles - Raulinoreitzia* se registró 14 días por encima del umbral alto tanto en Sayago como en Malvín Norte.



**Figura 4. 3.** Concentración diaria de polen en Ciudad Vieja y Malvín Norte de los taxones seleccionados.  $r_s$ , correlación de Spearman; KS, test de Kolmogorov Smirnov. \* $p<0.05$ , \*\*  $p< 0.01$ , \*\*\*  $p<0.001$ . Nótese las diferentes escalas del eje y en los gráficos.



**Figura 4.** Concentración diaria de polen en Malvín Norte (rojo) y Sayago (verde) de **a.** Polen total, **b.** Poaceae, **c.** *Platanus*, **d.** *Acanthostyles - Raulinoreitzia* los taxones seleccionados.  $r_s$ , correlación de Spearman; KS, test de Kolmogorov Smirnov. Nótese las diferentes escalas. \* $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$ . Línea horizontal, umbral de concentración alto.

## Meteorología

La influencia de las condiciones meteorológicas sobre las concentraciones de polen se evaluó mediante el coeficiente de correlación de Spearman. Los datos de Malvín Norte utilizados corresponden a los mismos períodos de muestreo que Ciudad Vieja y Sayago.

### Ciudad Vieja – Malvín Norte

La temperatura media diaria presentó una influencia significativa en las concentraciones de polen de todos los taxones seleccionados. Esta influencia fue positiva o negativa en relación al período de floración de los diferentes taxones. Los taxones con floración a fines del invierno y principios de la primavera, como *Platanus* y Cupressaceae mostraron correlaciones negativas con la temperatura media diaria (Tabla 4.2.). El resto de los taxones presentaron correlaciones positivas con la temperatura media diaria. En particular *Ambrosia* y Poaceae, con correlaciones altamente significativas y mayores a 0,5 (Tabla 4.2.).

El resto de las variables meteorológicas mostró correlaciones muy bajas con todos los tipos polínicos en ambos sitios de muestreo.

La humedad relativa del aire mostró una correlación relativamente baja y negativa sobre los taxones herbáceos como *Ambrosia*, Poaceae y Urticaceae (Tabla 4. 2). La intensidad del

viento mostró una correlación baja y positiva con taxones arbóreos, en particular a *Platanus* y Cupressaceae en Ciudad Vieja y negativa con Poaceae en esta misma zona de la ciudad (Tabla 4. 2).

Por su parte, el patrón de vientos en Malvín Norte y Ciudad Vieja durante el período analizado fue diferente; en general, se registró una mayor frecuencia de calmas y brisas en la estación meteorológica de La Teja que en la del aeropuerto de Carrasco (Figura 4.5). En cuanto a la dirección del viento, hubieron algunas diferencias, destacándose una mayor frecuencia de los vientos con rumbo norte y sureste en el caso de Carrasco y del noreste al sur en el caso de La Teja (Figura 4.5).

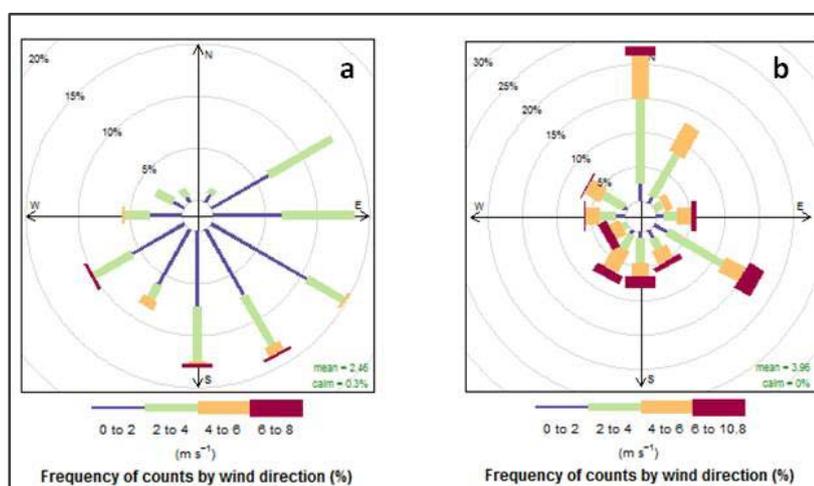
Al analizar la relación entre la velocidad y dirección del viento con las concentraciones de polen de los diferentes taxones, se observan diferencias entre los dos puntos de muestreo.

Las mayores concentraciones de Poaceae en Ciudad Vieja se registran con velocidad de viento menores a los 2,8 m/s de dirección oeste, noreste y sureste (Figura 4.6) Mientras que en Malvín Norte, las mayores concentraciones provienen fundamentalmente con vientos de dirección norte a velocidades entre 2,8 y 5,6 m/s (Figura 4.6). En Ciudad Vieja el polen de *Platanus* presentó altas concentraciones a intensidades relativamente bajas de vientos del este (Figura 4.6). Mientras que en Malvín Norte las mayores contribuciones estuvieron relacionadas con brisas de los rumbo norte y este, y brisas moderadas del sur, suroeste y sureste. Para el caso de Cupressaceae, en Ciudad Vieja se observa que las mayores concentraciones de polen están relacionadas con brisas débiles de las direcciones del sur al suroeste (Figura 4.6), en concordancia con los vientos predominantes para esa zona de la ciudad. En Malvín Norte sin embargo, las fuentes de Cupressaceae parecen provenir del suroeste, ya que concentraciones altísimas se registraron con brisas moderadas provenientes de ese sector (Figura 4.6). Los patrones de vientos y concentración media de Urticaceae (Figura 4.6). indicarían que los mayores aportes de polen de este taxón en el aire de Ciudad Vieja provendrían del sur al noreste, mientras que en Malvín Norte el aporte provendría de casi todas las direcciones (Figura 4.6).

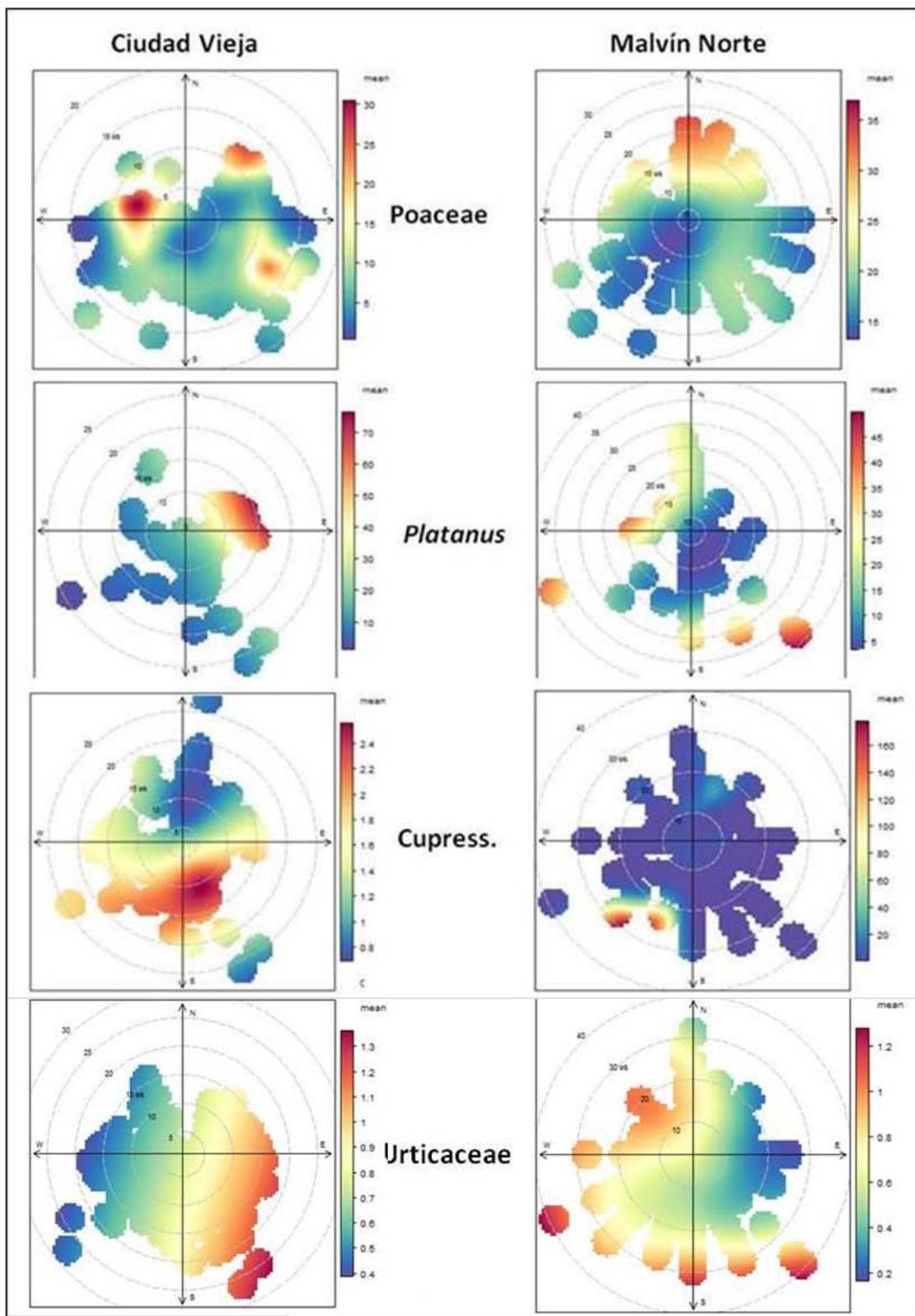
**Tabla 4. 2.** Coeficiente de correlación de Spearman entre las variables meteorológicas y polínicas en Ciudad Vieja y Malvín Norte.

		T. media	%HR	Precip.	v. viento
<b>Polen total</b>	<b>CV</b>	0.368**	-0.209**	Ns	0.202**
	<b>MN</b>	0.494**	-0.185	ns	0.155**
<b>Ambrosia</b>	<b>CV</b>	0.517**	-0.346**	-0.133*	ns
	<b>MN</b>	0.464**	-0.173**	ns	ns
<b>Platanus</b>	<b>CV</b>	-0.129*	ns	0.117*	0.351**
	<b>MN</b>	-0.214**	ns	0.122*	0.211**
<b>Poaceae</b>	<b>CV</b>	0.574**	-0.424**	ns	ns
	<b>MN</b>	0.770**	-0.216**	ns	ns
<b>Urticaceae</b>	<b>CV</b>	0.150*	-0.163**	ns	ns
	<b>MN</b>	-0.133	ns	ns	ns
<b>Cupressaceae</b>	<b>CV</b>	-0.407**	ns	ns	0.391**
	<b>MN</b>	-0.298**	ns	ns	ns

\*p<0.05, \*\* p< 0.01, \*\*\* p<0.001, v.viento= velocidad del viento, precip.=precipitaciones.



**Figura 4. 5.** Frecuencia e intensidad media por rumbos de los vientos en: a. Ciudad Vieja y b. Malvín Norte



**Figura 4. 6.** Concentración media de polen de taxones seleccionados en función de la dirección e intensidad del viento en Ciudad Vieja y Malvín Norte. Los colores indican diferente concentración, los círculos concéntricos señalan diferentes velocidades del viento (km/h). Nótese las diferentes escalas de concentración media de polen.

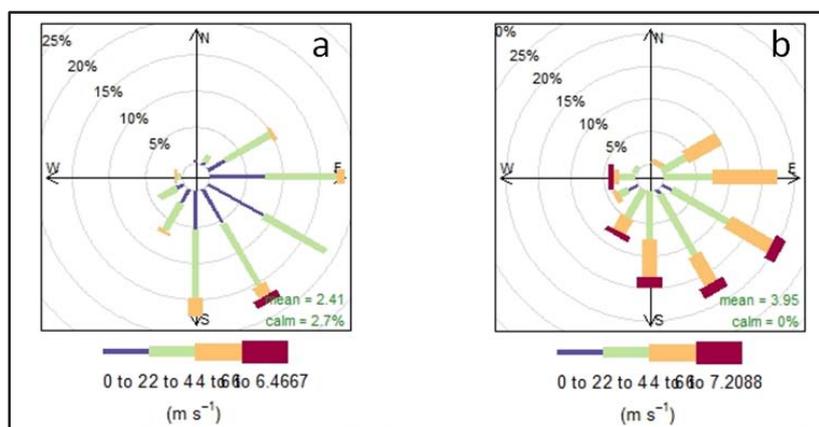
### Malvín Norte – Sayago

Las correlaciones entre el polen y las variables meteorológicas fueron similares a las obtenidas en otras zonas de la ciudad y durante otros períodos de muestreo. La temperatura media se correlacionó de manera positiva con *Poaceae* y *Acanthostyles - Raulinoreitzia* y negativa con *Platanus* (Tabla 4.3.). La humedad relativa del aire presentó correlaciones bajas y negativas con los taxones herbáceos.

Por otra parte, el patrón de vientos de correspondiente a las estaciones de La Teja y Aeropuerto de Carrasco fue similar, aunque en La Teja la velocidad del viento fue menor a la de Carrasco en todas las direcciones (Figura 4.7).

**Tabla 4. 3.** Coeficiente de correlación de Spearman entre las variables meteorológicas y polínicas en Malvín Norte y Sayago.

		T. m	%HR	Precip.	v.viento
<b>Polen total</b>	MN	ns	ns	ns	ns
	Sayago	-0.19**	ns	ns	0.22**
<b>Poaceae</b>	MN	0.57***	-0.21**	ns	ns
	Sayago	0.47***	-0.26**	-0.20**	0.02*
<b>Platanus</b>	MN	-0.62***	ns	ns	ns
	Sayago	-0.50***	ns	ns	ns
<b>Acanthostyles- Raulinoreitzia</b>	MN	0.28***	ns	ns	ns
	Sayago	0.23**	ns	ns	-0.24**



**Figura 4. 7.** Frecuencia e intensidad media por rumbos de los vientos en: a. Sayago y b. Malvín Norte.

En Sayago el polen de *Poaceae* presentó altas concentraciones relacionadas con brisas débiles (menores a 4 m/s) provenientes del noreste y en menor importancia con vientos de dirección sureste (Figura 4.8). De igual manera, altas concentraciones de polen de *Poaceae* se registran fundamentalmente con vientos provenientes del noreste, pero con vientos de velocidades entre 4 y 6 m/s (Figura 4.8). Para el caso de *Platanus*, el patrón es similar entre

las dos zonas de muestreo, aunque en Sayago se registran también altas concentraciones con vientos provenientes del sector este (Figura 4.8). Al igual que para los taxones anteriores, se registraron altas concentraciones de polen asociadas a brisas débiles en Sayago, para *Acanthostyles* – *Raulinoreitzia* con vientos del sector este-noreste, y en menor proporción del sur (Figura 4.8). En Malvín Norte los aportes se registraron asociados a vientos con rumbos similares a los de Sayago, con una fuerte influencia de vientos del sector noreste (Figura 4.8).

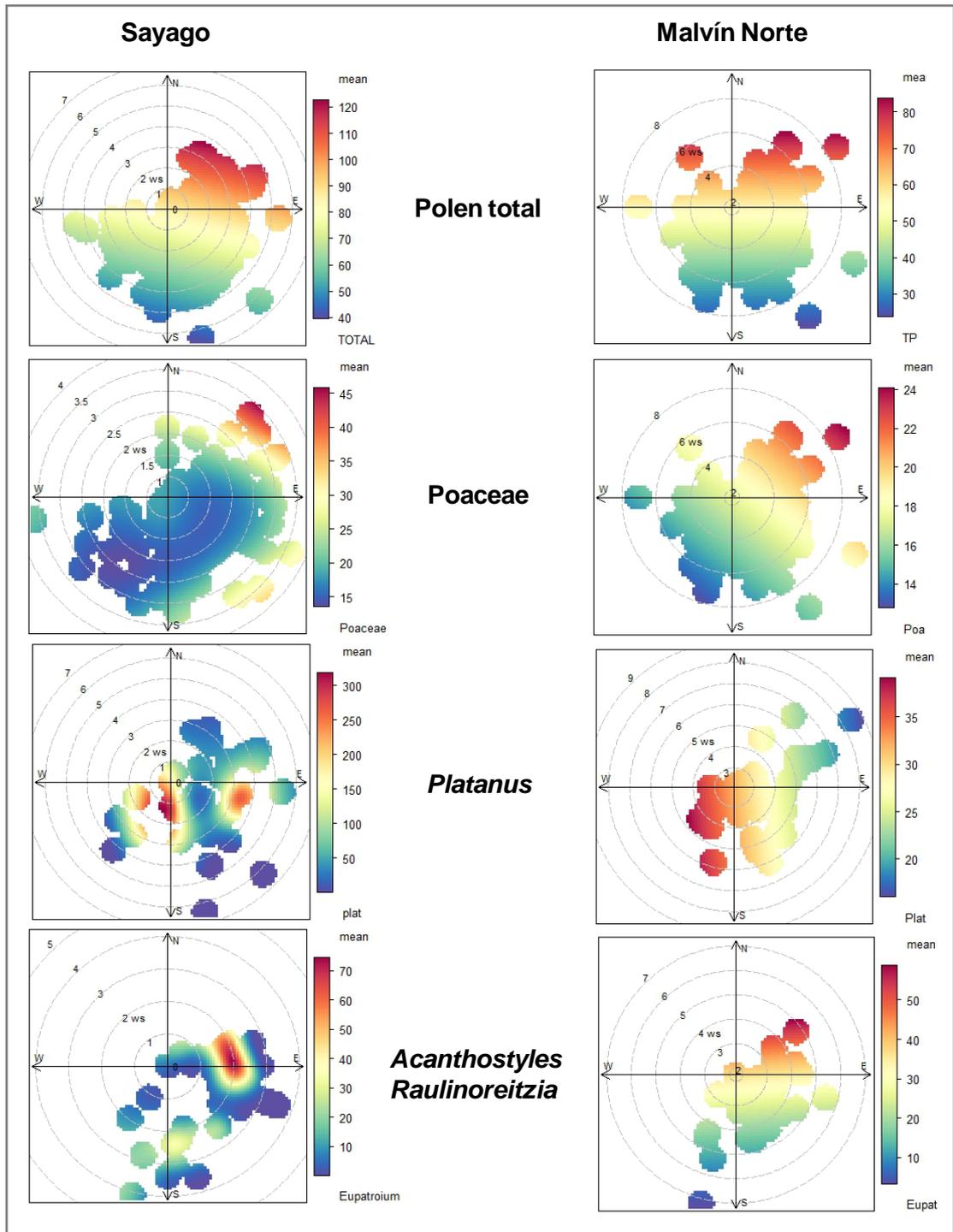
## Vegetación

La abundancia y distribución de los taxones seleccionados fue diferente entre las tres áreas circundantes a los puntos de muestreo aeropalinológico. Al analizar la abundancia de la vegetación en la zona de 2,5 km de radio, se observa que la cobertura de áreas potenciales de gramíneas en Ciudad Vieja es significativamente menor a la de Malvín Norte y Sayago (Figura 4. 9.d,f). Así mismo, el número total de árboles en los espacios públicos fue significativamente menor en Ciudad Vieja (Figura 4. 9.d); sin embargo, el número de árboles considerados altamente alergénicos no fue significativamente diferente entre los sitios (Figura 4. 9.e). Con respecto a los taxones arbóreos analizados en este capítulo, las diferencias están dadas fundamentalmente en la zona de 2,5km de radio. En el caso de *Platanus*, el número de individuos fue mayor en Ciudad Vieja. Por otra parte, es importante destacar que en Sayago se registraron individuos adyacentes (en un radio de 50 metros) al punto de muestreo aeropalinológico.

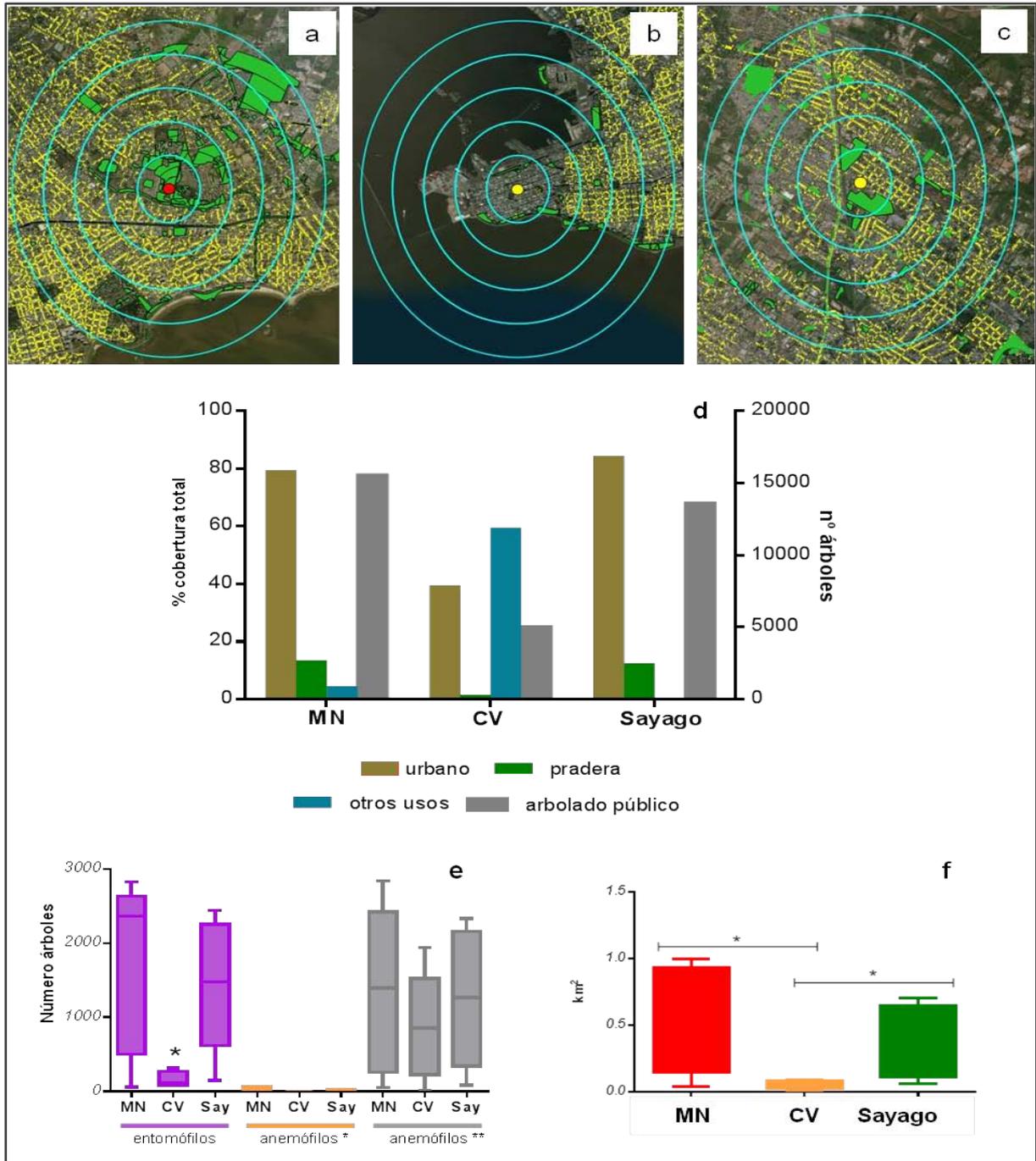
Las diferencias en la cobertura de gramíneas desaparecen en el área de 25km de radio (Figura 4.10). A partir de los 15 km, la cobertura de gramíneas no presenta diferencias significativas entre los sitios. En relación al número de árboles en los espacios públicos de las tres zonas, este es igual a partir de los 5 km.

Sin embargo se observan claras diferencias en la distribución de los diferentes taxones, en particular los arbóreos (Figura 4.10.a, Figura 11, Figura 12). La distribución de plátanos se concentra fundamentalmente en el centro y noroeste y a lo largo de avenidas principales de Montevideo (Figura 11). La abundancia y densidad de plátanos fue mayor en Ciudad Vieja, mientras que en el Malvín Norte los árboles se encuentran a mayor distancia y más dispersos (Figura 11). En Sayago por su parte, se registran árboles muy cercanos al muestreador de polen, pero la densidad en la zona es menor que en Ciudad Vieja (Figura 11).

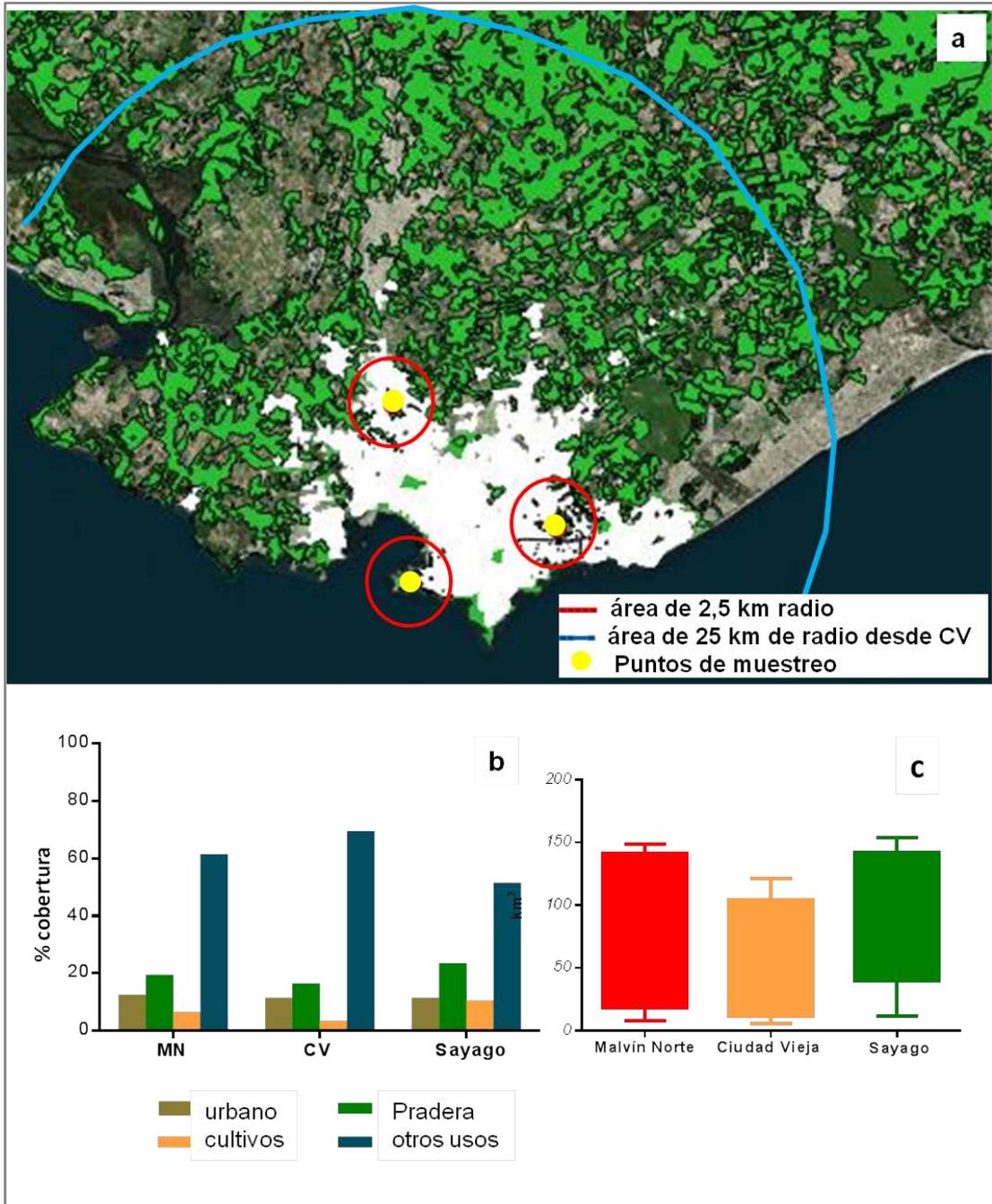
En el caso de Cupressaceae, cuyo polen fue analizado sólo entre Malvín Norte y Ciudad Vieja, los árboles presentes en los espacios públicos se encuentran dispersos por toda la ciudad con una mayor densidad al este de la zona urbana (Figura 12). Sin embargo, especies de esta familia son frecuentemente utilizados con fines ornamentales en espacios privados y en particular en cementerios. Por lo cual su abundancia en este estudio está subestimada.



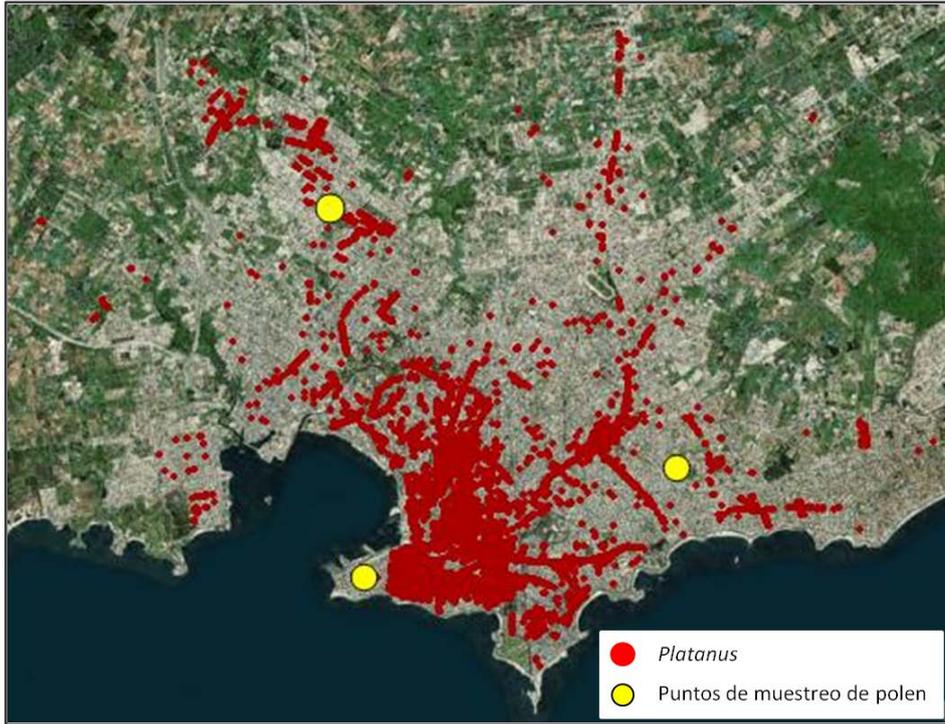
**Figura 4. 8.** Concentración media de polen de taxones seleccionados en función de la dirección e intensidad del viento en Sayago y Malvín Norte. Los colores indican diferente concentración, los círculos concéntricos señalan diferentes velocidades del viento (km/h). Nótese las diferentes escalas de concentración media de polen.



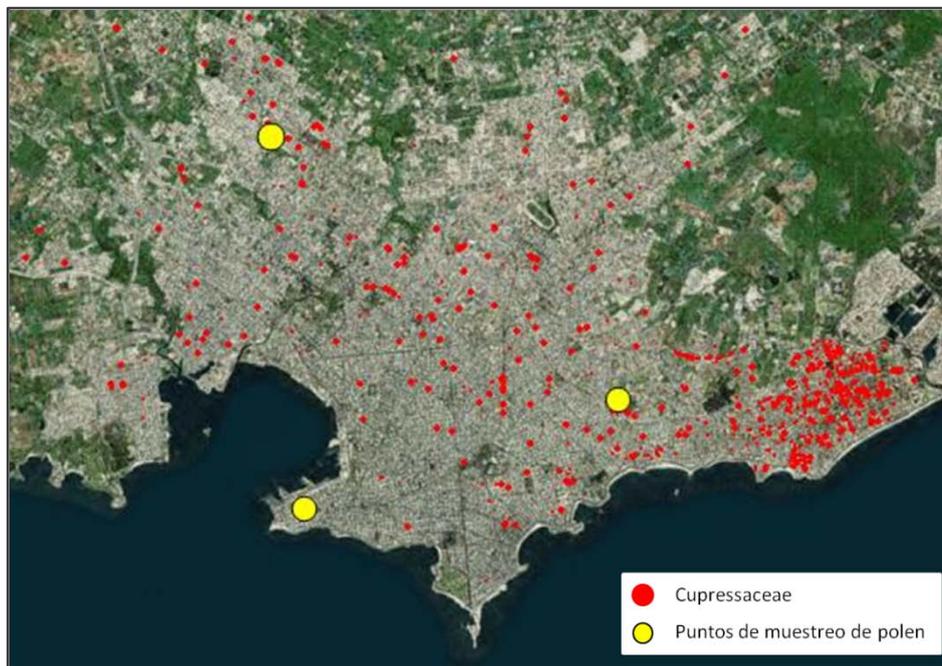
**Figura 4. 9.** Distribución de árboles de los espacios públicos (puntos amarillos) y áreas potenciales de gramíneas (verde) en las áreas de hasta 2,5 km de radio alrededor de, **a.** Malvín Norte (MN), **b.** Ciudad Vieja (CV) y **c.** Sayago. **d.** Usos del suelo; **e.** Número de árboles por tipo de dispersión. **f.** Cobertura de áreas potenciales de gramíneas. Círculos celestes: anillos concéntricos de 500m de espesor.\* Kruskal Wallis significativo,  $p < 0,05$ .



**Figura 4. 10. a.** Distribución de árboles de los espacios públicos (puntos blancos) y áreas potenciales de gramíneas (verde) en las áreas de 25 km de radio alrededor de los puntos de muestreo. **b.** Usos del suelo para cada sitio. **c.** Cobertura de áreas potenciales de gramíneas. Círculos rojos de 2,5km de radio, círculo celeste de 25km de radio, centro en Ciudad Vieja.



**Figura 4. 11.** Distribución de *Platanus* en los espacios públicos de Montevideo.



**Figura 4. 12.** Distribución de árboles de la familia Cupressaceae en los espacios públicos de Montevideo.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### Discusión

Los tipos polínicos que se han considerado para la comparación de las diferentes zonas de estudio han sido comunes para todos los sitios y, en términos generales, se registraron los mismos taxones importantes en las tres zonas de estudio. Como se observó en el capítulo 3, la diversidad palinológica e importancia relativa de cada tipo polínico son características del polen aerotransportado en Malvín Norte que se mantuvieron año a año. Poaceae, *Platanus*, *Acanthostyles - Raulinoreitzia* y Cupressaceae se registraron año a año como los cuatro tipos polínicos más importantes del polen aerotransportado. Si bien solo se realizó un muestreo por un tiempo limitado a un año en Ciudad Vieja y siete meses en Sayago, es factible esperar que el espectro del polen aerotransportado en esos sitios se comporte en términos generales de manera similar año a año; siempre y cuando no se produzcan grandes cambios en la vegetación, o en las condiciones meteorológicas entre sitios. Por lo tanto, a pesar de que el estudio abarcó sólo una estación polínica, se considera que los resultados son válidos a los efectos de comparar los sitios entre sí.

Se encontraron algunas diferencias en relación a los integrales anuales de polen. En Sayago se registró más polen total que en Ciudad Vieja o Malvín Norte, que estaría relacionado con el aporte de granos de polen de especies arbóreas que se encuentran próximas al captador de polen. Mientras que, en Ciudad Vieja, se registró la mitad de polen que en Malvín Norte y Sayago, fundamentalmente por las diferencias en los InAP de Poaceae y Cupressaceae. Si se analizan los tipos polínicos de manera individual, se observa que el polen de *Platanus* se registró en mayor número en Sayago que en Ciudad Vieja y Malvín Norte, que registran aproximadamente la misma cantidad de polen de este taxon (levemente superior en Ciudad Vieja). Estas diferencias en los InAP de *Platanus* podrían ser debidas a las diferencias en el número de árboles de plátanos ubicados próximos al muestreador en Sayago, ya que el número de árboles en Ciudad Vieja es significativamente mayor a todas las distancias y a partir del área de 5 km de radio el número de árboles es similar en los tres sitios. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Maya Manzano et al (2017) y Gonzalo - Garijo y colaboradores (2006) que indican que los plátanos ubicados próximos al punto de muestreo aerobiológico son los más relevantes. Estudios realizados sobre la dispersión de este grano de polen sugieren que las concentraciones de polen de *Platanus* disminuyen drásticamente a 800 metros de las fuentes (Bricchi et al. 2000). Por tanto, los árboles próximos al muestreador explicarían las diferencias observadas en los InAP de *Platanus* de las tres zonas. La similitud de los InAP de Malvín Norte y Ciudad Vieja, a pesar de la gran diferencia local en la abundancia y distribución de los plátanos en las tres zonas de muestreo, confirmaría la distancia de 3km sugerida por Bricchi y colaboradores (2000) a la cual se registra el 88% del polen. Con respecto a Poaceae, se registraron mayores InAP en Malvín Norte, prácticamente

el doble que en CV y aproximadamente el mismo valor que en Sayago. Esta diferencia sería también explicada por la diferente cobertura de las potenciales fuentes de polen de gramíneas, ya que en el área de 2,5 km de radio las áreas potenciales de gramíneas representan el 1% de la cobertura en Ciudad Vieja, frente al 11 y 12% de Malvín Norte y Sayago. Es a partir de un radio de 15 km que las diferencias en el porcentaje de cobertura dejan de ser marcadas entre los tres lugares.

En un estudio realizado en Aarhus (Dinamarca) se encontró que los InAP más altos y los picos de concentración estaban relacionados con la abundancia de fuentes locales e indican la relevancia del transporte de polen a escala regional en aquellas zonas donde la cobertura es escasa (Skjøth *et al.* 2012). Con respecto a la capacidad de dispersión de los granos de polen de Poaceae, Peel y colaboradores (2014) señalan que se registra principalmente cerca de la fuente de emisión mientras que otros autores sostienen que pueden ser transportados fácilmente a más de 100 km (Smith *et al.* 2005).

La extremadamente baja cobertura de gramíneas en Ciudad Vieja contrasta con el InAP relativamente alto en ese punto. Esta característica junto con la alta representatividad de este polen en el espectro polínico de Ciudad Vieja (39% del polen total) sugerirían la contribución de la vegetación regional en el polen registrado de Poaceae. En este sentido, diversos autores señalan la relevancia del aporte extra-local y regional al polen de Poaceae en zonas urbanas (Skjøth *et al.* 2012, Gonzalo - Garijo *et al.* 2006).

Por otra parte, el pico máximo de concentración se registró de forma sincrónica en todos los puntos de muestreo, lo cual sugeriría que las zonas compartirían la misma vegetación fuente, o al menos que, durante el período de máximas emisiones las plantas que los producen estarían contribuyendo al polen de gramíneas en todo Montevideo. Otra explicación de esta sincronización, es que se trate de la misma especie de gramínea que florece de manera simultánea en la ciudad. En trabajos anteriores se manejó la hipótesis de que las gramíneas de la vegetación cercana al punto de muestreo en Malvín Norte eran las responsables de la alta representatividad de este tipo polínico en esa zona (Tejera & Beri 2005). Sin embargo, las evidencias encontradas en esta tesis sugieren que la cobertura local estaría influenciando los InAP, pero la alta representatividad del tipo polínico estaría relacionada a la influencia de la vegetación regional. Este aspecto será abordado en mayor profundidad en el capítulo siguiente.

Cupressaceae registra también el doble InAP en Malvín Norte que en Ciudad Vieja, y es posible que estas diferencias estén indicando las diferencias en la abundancia de las plantas que los producen en la zona local y extra local. Son varias las especies que contribuyen a este tipo polínico y los árboles de los espacios públicos se encuentran en mayor densidad en la zona este de Montevideo. Al mismo tiempo, también son frecuentemente utilizados en espacios privados y cementerios, por lo cual la abundancia de este taxón podría haber sido subestimada en este estudio. De todas formas, la concentración de polen de Cupressaceae

en función de la velocidad e intensidad del viento indicaría que las fuentes de este tipo polínico estarían ubicadas al sur y sureste para Ciudad Vieja y al suroeste para Malvín Norte. En esas direcciones se encuentran 1,9 km el cementerio Central de Ciudad Vieja y a 1,9 km el cementerio del Buceo de Malvín Norte.

Con respecto a *Ambrosia*, *Acanthostyles* – *Raulinoreitzia* y Urticaceae, estos tipos polínicos son producidos por herbáceas o arbustos ruderales que crecen en zonas donde hay escombros, veredas, terrenos baldíos, campos y, por lo tanto, sin realizar un muestreo sólo se puede hipotetizar acerca de su posible distribución en la ciudad. Lombardo (1983) señalaba que *Ambrosia artemisiifolia* era particularmente común en la zona de la rambla portuaria (Ciudad Vieja) entre escombros, veredas y casas y actualmente se observa en espacios cercanos a los tres puntos de muestreo (obs.pers.). *Acanthostyles buniifolium* (chirca de campo) es común en Malvín Norte en los terrenos aledaños al punto de muestreo (obs. pers.). Mientras que *Raulinoreitzia tremula* (chirca de bañado) crece en zonas de humedales y las posibles áreas fuente serían los humedales de Carrasco, a aproximadamente 7 km de Malvín Norte, y los bañados del Río Santa Lucía a 10 km de Sayago, aunque no debería descartarse la presencia de esta especie en otras zonas de bañado menos conspicuas. La concentración de polen de *Acanthostyles* - *Raulinoreitzia* en función de la velocidad y dirección del viento, indicaría fuentes ubicadas en la misma dirección en Malvín Norte y Sayago, aunque las velocidades relativamente bajas en Sayago sugerirían fuentes cercanas al punto de muestreo de polen. Para Malvín Norte, contribuirían con este polen las fuentes locales (concentraciones medias a velocidades bajas del viento) y extra locales, ya que las altas concentraciones registradas con vientos de dirección noreste sugieren que las fuentes podrían ser las chircas que crecen en los bañados de Carrasco.

Con respecto a Urticaceae en Ciudad Vieja, el mayor InAP puede ser explicado porque la especie más abundante que contribuye con ese tipo polínico en Montevideo es *Parietaria judaica* y estas plantas crecen por lo general en las grietas de edificaciones y veredas. Las concentraciones de polen en función de la velocidad y dirección del viento no serían concluyentes a la hora de identificar las posibles fuentes de Urticaceae en Malvín Norte y Ciudad Vieja. Las concentraciones relativamente elevadas en dirección sureste (Ciudad Vieja) y en las direcciones oeste – sur- este estarían indicando fenómenos de resuspensión favorecidos por vientos de esas direcciones; o, podrían estar reflejando fenómenos de brisas mar - tierra, ya que en algunos casos se ha reportado el reingreso de polen debido a la recirculación del aire por este fenómeno (Gassmann *et al.* 2002).

Las correlaciones realizadas entre las concentraciones de polen diario de los diferentes puntos de muestreo han sido todas estadísticamente significativas para todos los tipos polínicos. Esto significa que cuando la concentración aumenta (o desciende) en un punto de muestreo el polen también aumenta (o desciende) en los otros puntos de muestreo. Por otra parte, se observó

que los taxones con estación polínica más corta (generalmente representados por una o pocas especies) presentaron las correlaciones más altas entre los sitios de muestreo.

Por otra parte, todos los tipos polínicos comparados entre Malvín Norte y Sayago mostraron distribuciones acumuladas sin diferencias significativas entre ellas, mientras que en Ciudad Vieja la distribución de *Platanus*, *Ambrosia* y de *Acanthostyles* - *Raulinoreitzia* fue significativamente diferente a la de Malvín Norte. Esto sugeriría que si bien existe una buena correlación en diferentes zonas de la ciudad, la amplitud y sincronidad de las concentraciones de polen diario tendría ciertas diferencias según la zona y los taxones en consideración. La estación polínica principal de Poaceae y Cupressaceae fue más corta, mientras que *Platanus* y Urticaceae presentaron EPP más largas en Ciudad Vieja. Velasco-Jiménez y colaboradores (2013) señalan que los desfazajes en las fechas de inicio o fin de las EPP en diferentes zonas de una ciudad pueden ser debidas a la cercanía o lejanía de las plantas productoras de polen. Los granos de polen de las plantas cercanas al muestreador se detectarían de forma inmediata y se observaría un retardo en la detección de las plantas que se encuentran más alejadas. Estos resultados serían concordantes con los obtenidos en esta tesis, ya que para la Ciudad Vieja, al menos una proporción de los granos de polen de Poaceae y *Acanthostyles* - *Raulinoreitzia* provendrían de fuentes extra locales, mientras que los granos de polen de *Platanus* y Urticaceae provendrían de plantas próximas al muestreador y se registrarían primero. En relación al número de días que las concentraciones superan el umbral de concentración alto, Poaceae y *Acanthostyles* - *Raulinoreitzia* superaron los umbrales el doble de días en Sayago y Malvín Norte, mientras que *Platanus* se registró el doble de días por encima del umbral alto en Ciudad Vieja y Sayago. Estos resultados resaltarían aún más la importancia de la distancia de las fuentes sobre la magnitud de las concentraciones de polen que se registran en el aire en zonas cercanas a las plantas que los producen. De esta forma, extrapolar los datos de un solo punto de muestreo al resto de la ciudad podría estar subestimando el nivel de exposición al que estarían sometidos los pacientes alérgicos si no se toman recaudos en cuanto a las características de la flora local.

Con respecto a la influencia de las condiciones meteorológicas sobre las concentraciones de polen de los diferentes taxones, no se observaron diferencias entre los tres puntos de muestreo. Sin embargo, la dirección y velocidad del viento en cada sitio podría determinar las fuentes de polen en cada punto.

Otros aspectos a considerar al extrapolar los resultados de una estación de monitoreo al resto de la ciudad incluyen las prácticas de manejo, que pueden ser diferentes en diferentes zonas de la ciudad, por ejemplo, en el caso de *Platanus* la poda disminuye la cantidad de polen producido (Cariñanos & Casares-Porcel, 2011).

Los procesos aerobiológicos como resuspensión (Jato *et al.* 2006) y transporte de larga distancia (Hernández Ceballos *et al.* 2011, Maya-Mazano 2016) podrían también explicar algunas diferencias en las concentraciones de polen de diferentes zonas. Las zonas céntricas con marcadas diferencias térmicas y el tráfico de vehículos, que favorecen la resuspensión podrían registrar niveles de polen altos en diferentes horas del día. Sin embargo, la metodología utilizada en esta tesis permite una resolución diaria de los datos y no hace posible la exploración de procesos que ocurren a escalas temporales menores.

La distancia entre las estaciones de muestreo fue de aproximadamente 8 km entre sí, comparables a la del estudio realizado por Velasco-Jiménez y colaboradores (2013), quienes consideran que una estación de muestreo representaría las áreas urbanas, pero destacan que las variaciones locales serían importantes desde el punto de vista alergológico. Por otra parte, Katelaris y colaboradores (2004) indican que el polen aerotransportado registrado en un punto sería representativo de un área de hasta 30km, mientras que Rojo y colaboradores (2016) sugieren que el área podría ser mayor dependiendo de las características del grano de polen y el área cercana al muestreador. Sin embargo, los resultados obtenidos en esta tesis apuntarían a que el polen registrado en un punto podría representar un área en el entorno de los 15 km de radio, pero las características de la vegetación de cada zona deben ser tomadas en cuenta a la hora de extrapolar los datos.

En resumen, en términos generales los patrones de concentración diaria de los diferentes tipos polínicos presentan distribuciones similares. La abundancia de las plantas y la cercanía al muestreador tendría una marcada influencia sobre los InAP y los días que las concentraciones superan los umbrales altos.

## **Conclusiones**

- El resultado principal es que efectivamente el contenido del polen aerotransportado en Montevideo es espacialmente heterogéneo, al menos entre zonas con marcadas diferencias en urbanización y vegetación local, como lo es Ciudad Vieja con respecto a Malvín Norte y Sayago.
- Las diferencias observadas entre los InAP y las medias de concentración de Malvín Norte, Ciudad Vieja y Sayago son explicadas por las diferencias en la cobertura de la vegetación local de cada área y en particular, por la distancia de las plantas fuente de polen al punto de muestreo aerobiológico.

- Fuentes extra-locales y regionales contribuirían el polen de Poaceae e indican una relativa buena dispersión de estos granos de polen.
- Las diferencias en la duración de las EPP y concentraciones altas registradas entre los puntos de muestreo serían explicadas por la proximidad de las fuentes del polen a los puntos de muestreo aerobiológico.
- Los resultados indicarían que los datos obtenidos en un punto de Montevideo no serían directamente extrapolables al resto de la ciudad. Sin embargo, la clara asociación entre los registros obtenidos en los diferentes puntos permitiría la extrapolación de resultados a otros puntos de la ciudad. Por tanto, se podrían realizar pronósticos de rangos de concentración y EPP para otros puntos de la ciudad si se tienen en cuenta el grado de urbanización y la flora local del área.

**CAPÍTULO V**

**ÁREAS FUENTE POTENCIALES DEL POLEN DE GRAMÍNEAS EN  
MONTEVIDEO**

## **Introducción al Capítulo 5.**

Como se describió en capítulos anteriores, Poaceae es el tipo polínico más importante en Montevideo, representa entre el 22% (Sayago) y el 45,6% del polen total (Ciudad Vieja), y supera en todas las zonas estudiadas umbrales de concentración altos durante más del 40% de la estación polínica principal. Por su parte, en el capítulo anterior se observó que el integral anual de polen difiere entre los sitios de muestreo con diferencias en la cobertura local de gramíneas. En este sentido y en función de la relación entre las concentraciones de polen de las diferentes zonas en función de la velocidad y dirección del viento, se hipotetizó que las posibles áreas fuente de polen de Poaceae en la ciudad de Montevideo eran tanto locales como extra-locales y regionales.

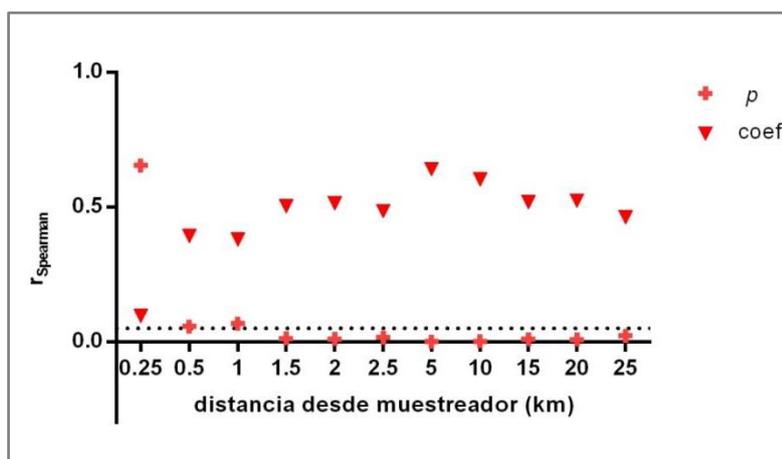
### **Objetivo**

El objetivo de este capítulo es determinar el área de vegetación representada en el polen aerotransportado de Poaceae en Montevideo y de esta forma confirmar la hipótesis formulada en el capítulo anterior.

La **aproximación metodológica** utilizada en este capítulo es la descrita en el **Capítulo 2.3**.

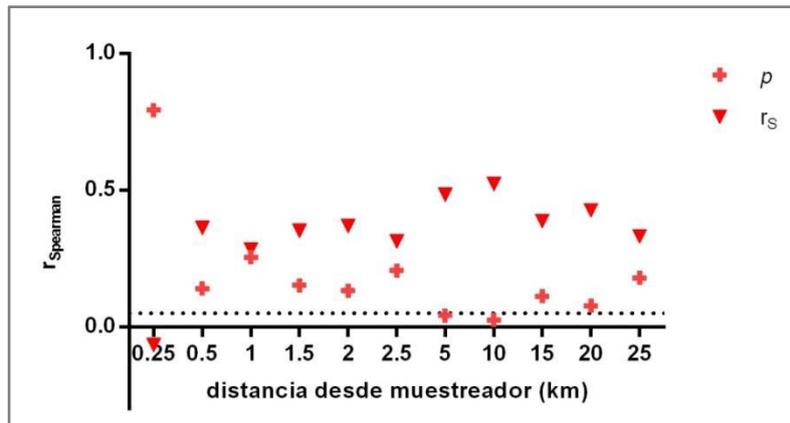
## RESULTADOS

Se estimó la cobertura potencial<sup>1</sup> de gramíneas para cada octante y anillo, alrededor de cada uno de los puntos de muestreo. Como era esperable, los octantes 1, 2, 7 y 8 fueron los de mayor cobertura en todos los sitios, debido a que el resto de los octantes presentan parte de su área sobre el Río de la Plata o en zonas urbanas (Figura A3.1 en Anexo 3 al final de este capítulo). Con estos datos se estimó la cobertura ponderada por la distancia para cada área a radios incrementales en cada octante y se correlacionó con el polen por octante. La figura 5.1 presenta los coeficientes de correlación (triángulos) y el nivel de significación (cruces) entre el polen y la vegetación de gramíneas para cada área (distancias desde el punto de muestreo). Los coeficientes de correlación (altamente significativos) comienzan a observarse a partir del área de 1,5 km de radio y alcanzan los valores máximos a los 5 y 10 km (Figura 5. 1). Sin embargo, aumentar el área de estudio, es decir la cobertura total de gramíneas más allá de los 10 km no mejora los coeficientes de correlación, que disminuyen y se mantienen en valores relativamente constantes a partir de las áreas de 15 km de radio. Más aún, cuando los octantes con baja cobertura son excluidos de los análisis, sólo se observan correlaciones significativas en las áreas de 5 y 10km de radio (Figura 5. 2). Es decir que la cobertura de gramíneas de las áreas de 5 y 10 km de radio serían los mejores predictores del polen de Poaceae.



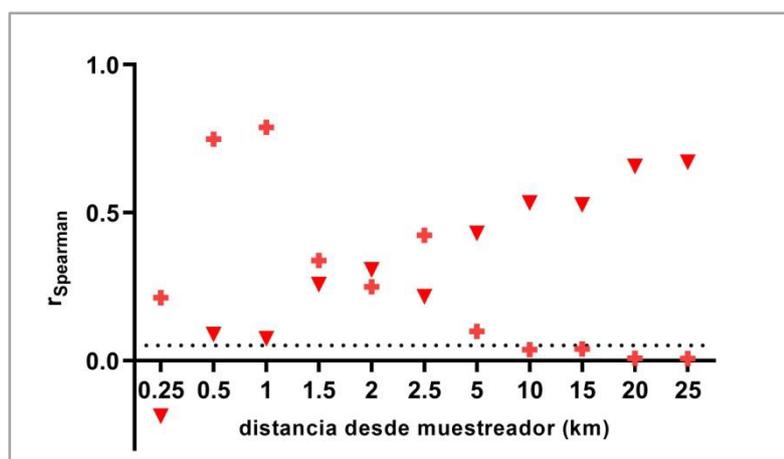
**Figura 5. 1.** Correlación entre polen y la cobertura de gramíneas en áreas de radio incremental desde el muestreador.

<sup>1</sup> Como se describió anteriormente, el término potencial refiere en este caso a que no se realizó el chequeo a campo de las zonas cubiertas por gramíneas, sino que se utilizaron fotos aéreas y mapas de usos del suelo.

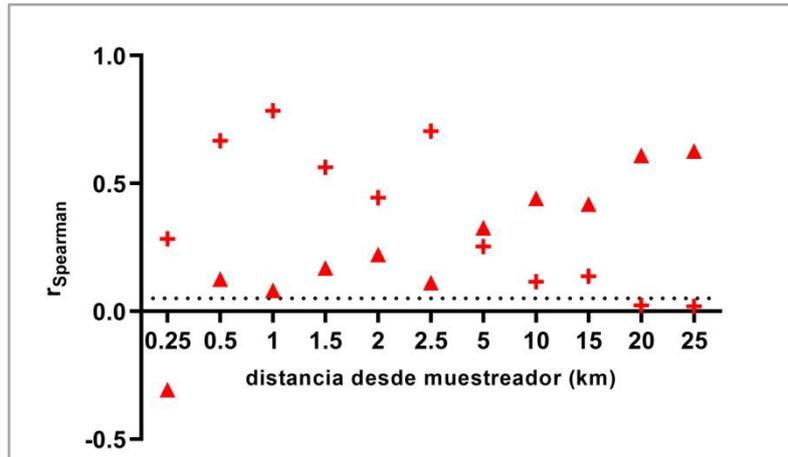


**Figura 5. 2.** Correlación entre polen y la cobertura de gramíneas en áreas de radio incremental desde el muestreador. Sólo se incluyen octantes con cobertura mayor a  $0,2 \text{ km}^2$ .

Sin embargo, si sólo se consideran los datos de Malvín Norte y Sayago se observan correlaciones significativas a partir de los 10 km y tanto los coeficientes de correlación como el nivel de significación mejoran al incluir áreas de mayor tamaño (Figura 5. 3). Esta relación es más evidente al extraer del análisis los octantes de menor cobertura, ya que se observan correlaciones significativas sólo a partir del área de 20 km de radio (Figura 5. 4). Dado que en este trabajo sólo se utilizaron datos hasta los 25 km de los puntos de muestreo, no es posible determinar cómo se comportaría la curva si se incluyeran áreas de mayor radio en los análisis. Punto que deberá ser abordado en futuros estudios.



**Figura 5. 3.** Correlación entre polen y la cobertura de gramíneas en áreas de radio incremental desde el muestreador, datos de Malvín Norte y Sayago.



**Figura 5. 4.** Correlación entre polen y la cobertura de gramíneas en áreas de radio incremental desde el muestreador, datos de Malvín Norte y Sayago. Octantes con cobertura menor a 0,2 km<sup>2</sup> removidos del análisis.

## DISCUSIÓN y CONCLUSIONES

### Discusión

Determinar la fuente del polen aerotransportado es una de las preguntas más planteadas en aerobiología. Algunos estudios previos han intentado dilucidar el origen del polen aéreo por medio de, por ejemplo, el uso retrospectivo de trayectorias de aire (Gassmann & Pérez 2006, Stach *et al.* 2007), estudios fenológicos y usos del suelo (Tormo *et al.* 2011), el uso de sistemas de información geográfica (Skjøth *et al.* 2012), o la dirección y velocidad del viento y mapas de vegetación (Rojo *et al.* 2015, Maya-Manzano *et al.* 2017). Sin embargo, no se ha podido definir de forma más precisa la relación entre el polen y la vegetación fuente de forma de determinar el área representada en el polen. Una excepción son los modelos de dispersión y depósito de polen que definen el área fuente relevante del polen (Sugita 1994). Recientemente, Oteros y colaboradores (2015, 2017) desarrollaron una aproximación similar a la presentada en este capítulo con el objetivo de predecir la concentración de polen en áreas sin monitoreo aerobiológico. Estos autores correlacionan la concentración de polen con la vegetación pero no en áreas incrementales sino en anillos concéntricos. En este sentido, esa correlación estaría indicando que la vegetación de esos anillos estaría más representada en el polen aéreo.

Este capítulo propone una nueva aproximación para determinar el área de vegetación, o área fuente, representada en el polen aerotransportado en zonas urbanas, mediante la correlación entre la abundancia de la vegetación en áreas de radio incremental y la concentración de polen. En este trabajo se estimó la cobertura ponderada, sumando la

cobertura de cada anillo ponderada a la distancia. Esto contempla la naturaleza de la curva de dispersión de polen desde la planta fuente (altas concentraciones cerca de la planta y una larga cola a medida que nos alejamos de la misma) y pondera la cobertura de forma tal de otorgarle mayor peso relativo a las plantas más cercanas al punto de muestreo.

Los resultados obtenidos indicarían que, para las zonas urbanas de la ciudad de Montevideo, la vegetación comprendida en el área de 5 km de radio parecerían ser el predictor más fuerte del polen arribando al punto de muestreo. Por otra parte, los resultados obtenidos en el capítulo 4 apoyan esta hipótesis ya que los picos de concentración máximo ocurren en forma sincrónica en todos los puntos de muestreo. Esto implicaría que en la zona urbana las plantas de gramíneas que crecen en la ciudad constituyen una fuente importante del polen de Poaceae de Montevideo. Esto es relevante porque, además, resultados experimentales indican que el incremento del CO<sub>2</sub> atmosférico induce un aumento en la producción de polen por flor en gramíneas (Albertine *et al.* 2014) y la concentración de CO<sub>2</sub> es más elevada en las ciudades. Montevideo no es la excepción, ya que el parque automotor es el responsable de las mayores contribuciones de gases de efecto invernadero en la ciudad (IdeM 2014). Además, se ha sugerido que la alergenicidad de los granos de polen sería mayor en zonas urbanas en comparación con las rurales debido a la interacción entre la contaminación y los granos de polen (Majd *et al.* 2004). Por tanto, que las gramíneas de las zonas urbanas estén bien representadas en el polen aerotransportado es relevante para, por ejemplo, enfocar los estudios aerobiológicos y clínicos en esas especies. Dada la enorme diversidad de esta familia este enfoque constituye una primera aproximación para delimitar las especies de interés. Sin embargo, este aspecto debe ser tomado con precaución ya que los análisis realizados en este estudio no permiten determinar qué proporción del polen aerotransportado proviene efectivamente de gramíneas de zonas urbanas y cuál sería aportado por plantas ubicadas en zonas rurales.

Los datos obtenidos sugieren que la abundancia y distribución de la vegetación, así como la urbanización, influyen en el área de vegetación representada por el polen aéreo. Al incluir sólo Malvín Norte (MN) y Sayago las correlaciones son significativas a partir de los 10 km y los coeficientes de correlación aumentan a mayores áreas. En este sentido, MN y Sayago representan áreas más abiertas, cerca de los límites de la ciudad, donde los ambientes son más despejados y favorables a la dispersión del polen, y además, las áreas cubiertas por gramíneas son de mayor tamaño. Cuando se realizan las correlaciones incluyendo todos los sitios, con la Ciudad Vieja (CV) se introducen datos de zonas con muy baja cobertura de gramíneas y con una estructura que podría estar limitando la dispersión de polen, tanto de fuentes locales, como las provenientes de otras zonas de la ciudad. Las zonas urbanas son ambientes que, en comparación con zonas suburbanas y rurales, presentan temperaturas

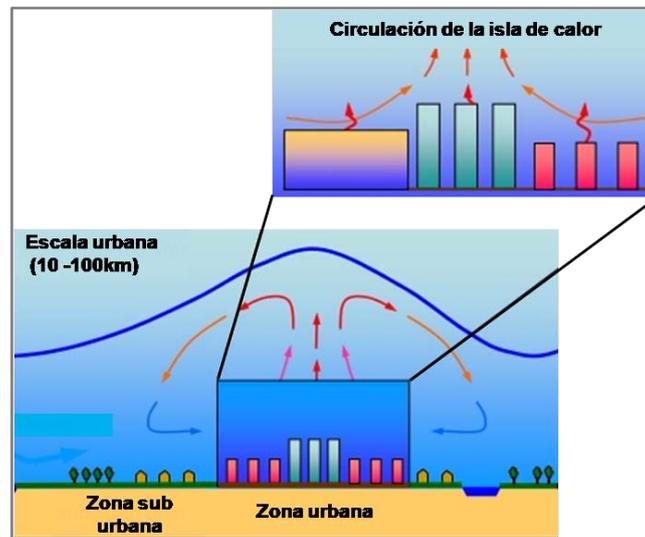
más elevadas, mayores turbulencias y mayores niveles de polución (Douglas 1983). La estructura de la ciudad, con superficies que disminuyen la velocidad del viento por rozamiento, limitarían la dispersión del polen, tanto local como proveniente de zonas extra-locales. En ese sentido, la velocidad anual promedio en el Prado (zona urbana) se sitúa en el entorno de los 3,5 m/s, mientras que en el aeropuerto de Carrasco es de 5,2 m/s (INUMET 2018). Otro aspecto a considerar en la zona urbana, es la diferencia térmica con respecto a zonas suburbanas y rurales; la isla de calor alcanza su máximo a finales de la tarde y la noche (Oke 1982). La figura 5. 5 esquematiza la circulación del aire que ocurre en las zonas urbanas como consecuencia de esta diferencia térmica. La formación de corrientes convergentes y divergentes provoca el ascenso de aire caliente y la circulación local, donde el aire más frío proveniente de zonas rurales pasa por encima de las zonas céntricas (Hidalgo *et al.* 2010). Por lo tanto, si bien se desconoce la magnitud de la isla de calor y la brisa urbana en Montevideo, estos fenómenos podrían, por un lado, favorecer la dispersión y resuspensión del polen a escala local y por otro, desviar el polen transportado de zonas más alejadas, reduciendo así el área de vegetación representada en el polen aerotransportado. Los resultados obtenidos en esta tesis concuerdan parcialmente con algunos trabajos que afirman que la mayoría del polen registrado proviene de fuentes locales (Solomon and Mathews 1978; Rantio-Lehtimäki 1994; Adams-Groom *et al.* 2002). Los resultados obtenidos por Damialis y colaboradores (2017) apuntan en la misma dirección ya que las mayores concentraciones de Poaceae se registran a nivel del suelo cercanas a las fuentes en comparación con concentraciones registradas a mayor altitud y distancia.

Por otra parte, los resultados obtenidos aquí son coherentes con los encontrados mediante la modelación del transporte y depósito de polen que sugieren que el tamaño de los parches de vegetación influyen en el área representada en el espectro polínico, donde a menor tamaño de parches menor es el área del paisaje representada en el polen (Bunting *et al.* 2004, Hellman *et al.* 2009).

De esta forma, en zonas con alto grado de urbanización y parches de gramíneas pequeños el área representada en el polen sería menor que en zonas menos urbanizadas y con parches de vegetación de mayor tamaño.

Por tanto, en zonas urbanas de Montevideo (céntricas y alejadas de zonas sub-urbanas) el polen estaría reflejando la vegetación de un área de 5 km de radio. Mientras que en zonas cercanas a los límites de la ciudad esa área podría incrementarse más allá de los 25 km de radio. Sigue abierta la pregunta de qué porcentaje del polen registrado sería producido en éstas áreas. En este sentido, estudios realizados con una aproximación similar, encontraron

la máxima correlación entre el polen y la vegetación del anillo de 37 km de radio para *Olea* (Oteros *et al.* 2015) y de 14 km para *Quercus* (Oteros *et al.* 2017), áreas que aportarían



**Figura 5. 5.** Circulación del aire en zonas urbanas, brisa urbana, por efecto de la isla de calor. Modificado de Carmeliet (2009).

En el entorno del 25% y 50% del polen respectivamente. Mientras que estudios de dispersión y depósito de polen estiman que el polen de fondo, proveniente de más allá del área relevante, podría llegar a ser más del 50 al 60% del total (Sugita 1994, Calcote 1995). Estos trabajos ilustran las diferencias en el tamaño y la contribución al polen de diferentes áreas del paisaje para estos taxones. De modo que el porcentaje de polen que aportan las áreas que muestran mayor correlación podría ser variable y la proporción de polen proveniente de otras zonas podría llegar a ser relevante.

En síntesis, el área de vegetación representada aumentaría de tamaño a medida que nos alejamos desde el centro hacia la periferia de la ciudad.

## Conclusiones

- El análisis presentado en este capítulo constituye una aproximación novedosa para determinar el área con mejor representación en el polen aéreo.
- En zonas urbanas céntricas, las gramíneas que crecen en la ciudad de Montevideo ubicadas en un rango de 5 km serían las de mayor relevancia al aporte de polen aéreo.
- En zonas urbanas y suburbanas, cercanas a los límites de la ciudad, las áreas fuente de gramíneas serían mayores, posiblemente por encima de los 25 km de radio.

**CAPÍTULO 6**  
**CONCLUSIONES GENERALES**

## Conclusiones

- En base a los resultados obtenidos y sin desmedro de las conclusiones desarrolladas en cada capítulo, las principales conclusiones generales son:
- La alta diversidad de tipos polínicos (97) registrados en Montevideo refleja la diversidad de la flora urbana y el aporte de polen regional al polen aerotransportado de Montevideo.
- El registro de polen de *Nothofagus* es evidencia clara de la existencia de eventos de transporte de larga distancia.
- Las altas concentraciones registradas por tipos polínicos considerados alérgicos sugieren que los individuos sensibles estarían expuestos a niveles moderados y altos de alérgenos desde setiembre a fines del verano.
- Los registros más elevados de polen de *Platanus* en setiembre estarían vinculados a veranos previos más lluviosos cálidos.
- Los registros más elevados de polen de herbáceas estarían vinculados a veranos más lluviosos cálidos.
- Las lluvias disminuyen las concentraciones de polen durante 48 hs (para polen arbóreo) y 72 hs (herbáceos).
- Los umbrales utilizados y los modelos de pronóstico de concentraciones desarrollados en esta tesis, para los taxones más relevantes, permitirán realizar reportes de polen para la ciudad de Montevideo con al menos 24 hs de anticipación.
- El contenido del polen aerotransportado en Montevideo es espacialmente heterogéneo, al menos entre zonas con marcadas diferencias en urbanización y vegetación local, como es el caso de Ciudad Vieja con respecto a Malvín Norte y Sayago.

- Las diferencias observadas entre los InAP y las medias de concentración de las diferentes zonas son explicadas por las diferencias en la cobertura de la vegetación local y, en particular, por la distancia de las plantas fuente de polen al punto de muestreo aerobiológico.
- Los resultados indicarían que los datos obtenidos en un punto de Montevideo no serían directamente aplicables al resto de la ciudad. Sin embargo, la clara asociación entre los registros obtenidos en los diferentes puntos permitiría la interpolación de resultados a otros puntos de la ciudad si se tienen en cuenta el grado de urbanización y la flora local del área.
- El área del paisaje representada en el polen de gramíneas aumentaría de tamaño a medida que nos alejamos desde el centro hacia la periferia de la ciudad.
- Las gramíneas de zonas urbanas constituyen un aporte relevante al polen de este taxón al aire de la ciudad de Montevideo.

Esta tesis constituye entonces la línea de base para futuros estudios aerobiológicos en Montevideo y Uruguay, y la primera aproximación en la región de las diferencias espaciales del polen aerotransportado en ambientes urbanos. En este sentido posibles líneas de trabajo podrían incluir la instalación de más puntos de monitoreo y estudios multidisciplinarios para determinar la incidencia de la polinosis en Montevideo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AAAAI. 2018. National Allergy Bureau. Reading the charts. <https://www.aaaai.org/global/nab-pollen-counts/reading-the-charts> (Diciembre 2018).
- Adams-Groom, B., Emberlin, J., Corden, J., Millington, W., Mullins, J. 2002. Predicting the start of the birch pollen season at London, Derby and Cardiff, United Kingdom, using a multiple regression model, based on data from 1987 to 1997. *Aerobiologia* 18:117–123
- Alba, F. & Díaz de la Guardia, C. 1998. The effect of air temperature on the starting dates of *Ulmus*, *Platanus* and *Olea* pollen season in the S Iberian Peninsula. *Aerobiologia* 14(2):191-195.
- Albertine JM, Manning WJ, DaCosta M, Stinson KA, Muilenberg ML, Rogers CA. 2014. Projected carbon dioxide to increase grass pollen and allergen exposure despite higher ozone levels. *PLoS One*, 9 (11): e111712.
- Alcázar, P., Cariñanos, P., De Castro, C., Guerra, F., Moreno, C., Domínguez-Vilches, E., & Galán, C. 2004. Airborne plane-tree (*Platanus hispanica*) pollen distribution in the city of Córdoba, South-Western Spain, and possible implications on pollen allergy. *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology* 14(3): 238–243.
- Alcázar, P., García-Mozo, H., Trigo, M. del M., Ruiz, L., González-Minero, F. J., Hidalgo, P., Díaz de la Guardia, C., Galán, C. 2011. *Platanus* pollen season in Andalusia (southern Spain): trends and modeling. *Journal of Environmental Monitoring*, 13(9): 2502.
- Andersen, T.B.: 1991. A model to predict the beginning of the pollen season. *Grana* 30, 269–275
- Antepara, I., Fernandez, J. C., Gamboa, P., Jauregui, I., & Miguel, F. 1995. Pollen allergy in the Bilbao area (European Atlantic seaboard climate): Pollination forecasting methods. *Clinical and Experimental Allergy*, 25 , 133–140
- Asero, R., Bellotto, E, Ghiani, A., Aina, R., Villalta, D., Citterio, S. 2014. Concomitant sensitization to ragweed and mugwort pollen: who is who in clinical allergy? *Ann Allergy Asthma Immunol*, 113(3):307-13.
- Barnes, Ch., Pacheco, F., Landuyt, J., Hu, F., Portnoy, J. 2001. The effect of temperature, relative humidity and rainfall on airborne ragweed pollen concentrations. *Aerobiologia* 17:61–68

- Bartková-Ščevková, J. 2006. The influence of temperature, relative humidity and rainfall on the occurrence of pollen allergens (*Betula*, Poaceae, *Ambrosia artemisiifolia*) in the atmosphere of Bratislava (Slovakia). *International Journal of Biometeorology* 48 (1):1-5.
- Bassett, I.J.; Crompton, C.W. & Parmelee, J.A. 1978. *An Atlas Of Airborne Pollen grains and common fungus spores of Canada*. Canada Department of Agriculture, Canada. 321pp.
- Bastl, K., Kmenta, M., & Berger, U. E. 2018. Defining Pollen Seasons: Background and Recommendations. *Current Allergy and Asthma Reports*, 18(12): 73.
- Belmonte, J., Vendrell, M. & Roure, J.M. 1988. Aerobiología en Cataluña. Estación de Bsteclona (1995-1996). *Rea* 3:53-56.
- Bianchi, M.M. 1992. Calendario polínico de la ciudad de Mar del Plata (Agosto 1987- Agosto 1989). *Archivos Argentinos de Alergia Inmunología Clínica* 23: 73-86.
- Bianchi, M.M., Olabuenaga, S.E.. 2006. A 3-year airborne pollen and fungal spores record in San Carlos de Bariloche, Patagonia, Argentina. *Aerobiologia* 22: 247-257.
- Bricchi, E., Frenguelli, G., & Mincigrucci, G. 2000. Experimental results about *Platanus* pollen deposition. *Aerobiologia*, 16(3-4): 347-352.
- Brown, T., Frenz, D.A., Wimpsett, T.L.. 1993. *Operating instructions for the Rotorod Sampler*. Minnetonka: Sampling Technologies, Inc, USA.
- Bunting, M. J. 2002. Detecting woodland remnants in cultural landscapes: modern pollen deposition around small woodlands in northwest Scotland. *The Holocene*, 12(3), 291-301.
- Bunting, M.J., Gaillard, M.J., Sugita, S., Middleton, R., and Broström, A. 2004. Vegetation structure and pollen source area. *The Holocene*, 14 (5): 651-660.
- Burge, HA. 1992. Monitoring airborne allergens. *Ann Allergy*, 69: 9-18.
- Calcote, R. 1995. Pollen source area and pollen productivity: evidence from forest hollows. *J Ecol*, 83:591-602
- Camacho, J. L., Cano, D., Cervigón, P., Gutiérrez, A. M., & Subiza, J. 2008. Predicción de eventos extremos de polen alergénico en la Comunidad de Madrid . Inicio de la estación polínica del plátano de sombra . *XXX Jornadas Científicas de la AME Agua Y Cambio Climático*:1-6, Zaragoza 5-7 mayo 2008
- Caramuti, V. E., Naab, O. A., & Murray, M. G. 2014. First report of airborne pollen in Santa Rosa, La Pampa, Argentina: A 2-year survey. *Aerobiologia*, 30(3), 293-305.
- Cariñanos, P., & Casares-Porcel, M. 2011. Urban green zones and related pollen allergy: A review. Some guidelines for designing spaces with low allergy impact. *Landscape and Urban Planning*, 101(3), 205-214.

- Carmeliet, J. 2009. *Multiscale building physics: from nano to urban scale*. Einführungsvorlesung von Professorinnen und Professoren / ETH Zürich. Departement Architektur. ETH Zürich, ITS-MMS.
- Carslaw, D. 2015. *The openair manual-open source tools for analyzing air pollution data*. Manual for version 1.1-4, King's College London.
- Chen, M., Xu J., Devis, D.L., Shi, J., Ren, K., Searle, I., Zhang, D. 2016. Origin and functional prediction of pollen allergens in plants. *Plant Physiol*, 172(1):341-357-
- Clot, B. 2001. Airborne birch pollen in Neuchatel (Switzerland): onset, peak and daily patterns, *Aerobiologia* 17, 25–29.
- Cole, A.L. and Harrington, J.B. 1967. III Atmospheric Dispersion of Ragweed Pollen. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 17(10):654-656.
- Connell, J.T. 1968. Quantitative intranasal pollen challenges: III. The priming effect in allergic rhinitis. *Journal of Allergy*, 43, 1:33-44
- Cresti, M., & Linskens, H. F. 2000. Pollen-allergy as an ecological phenomenon A review. *Plant Biosystems*, 134 (3): 341-352.
- D'Amato, G. D., Cecchi, L., Bonini, S., Nunes, C., Annesi-Maesano, I., Behrendt, H., Liccardi, G., Popov, T. van Cauwenberge, P. 2007. Allergenic pollen and pollen allergy in Europe. *Allergy*, 62(9):976-990.
- Dahl, A., Galán, C, Hajkova, L., Pauling, A., Sikoparija, B., Smith, M. and Vokou, D. 2012. Chapter 3. The Onset, Course and Intensity of the Pollen Season. En, M. Sofiev and K-C. Bergmann (eds.), *Allergenic Pollen: A Review of the Production, Release, Distribution and Health Impacts*. Springer Science+Business Media Dordrecht, 257 pp.
- Damialis, A., Kaimakamis, E., Konoglou, M., Akritidis, I., Traidl-Hoffmann, C., Gioulekas, D. 2017. Estimating the abundance of airborne pollen and fungal spores at variable elevations using an aircraft: how high can they fly? *Scientific Reports*, 7: 44535.
- Davies, J. M. 2014. Grass pollen allergens globally: The contribution of subtropical grasses to burden of allergic respiratory diseases. *Clinical and Experimental Allergy*, 44(6), 790–801.
- Davies, R. R., & Smith, L. P. 1973. Forecasting the start and severity of the hay fever season. *Clinical Allergy*, 3 (3), 263–267.
- Dingle, A.N., Gatz, D.F. 1966. Air cleansing by convective rains. *Journal of Applied Meteorology*, 5:160
- DINOT. 2014. *Cobertura del Suelo. Clasificación de la cobertura física y biofísica del Uruguay* a escala

- 1:100.000.https://www.dinama.gub.uy/geoserver/u19600217/wms?service=WMS&version=1.1.0&request=GetMap&layers=u19600217:c351 (Diciembre 2017).
- Douglas, I. 1983. *The Urban Environment*. Edward Arnold Publishers Ltd. London, UK.
- Driessen, M.N.B.M., Van Herpen, R.M.A. & Smithuis, L.O.M.J. 1990. Prediction of the start of the grass pollen season for the southern part of the Netherlands. *Grana*, 29: 79-86.
- Edmonds, R. 1979. *Aerobiology. The ecological systems approach*. Dowden, Hutchinson & Ross, Inc., Stroudsburg, Pennsylvania. USA.
- Feo Brito, F., Mur Gimeno, P., Martinez, C., Tobias, A., Suarez, L., Guerra, F., Borja, J. M., & Alonso, A. M. 2007. Air pollution and seasonal asthma during the pollen season. A cohort study in Puertollano and Ciudad Real (Spain). *Allergy*, 62 (10), 1152–1157
- Fernández-Rodríguez, S., Tormo-Molina, R., Maya-Manzano, J. M., Silva-Palacios, I., & Gonzalo-Garijo, Á. 2014a. A comparative study on the effects of altitude on daily and hourly airborne pollen counts. *Aerobiologia*, 30(3): 257–268.
- Fernández-Rodríguez, S., Tormo-Molina, R., Maya-Manzano, J. M., Silva-Palacios, I., & Gonzalo-Garijo, Á. 2014b. Comparative study of the effect of distance on the daily and hourly pollen counts in a city in the south-western Iberian Peninsula. *Aerobiologia*, 30(2): 173–187.
- Frenguelli, G., Spiekma, F.Th.M., Bricchi, E., Romano, B., Mincigrucci, G., Nikkels, A.H., Dankart, W. & Ferranti, F. 1991. The influence of air temperature on the starting dates of the pollen season of *Alnus* and *Populus*. *Grana*, 30: 196-200.
- Galán, C., Emberlin, J., Dominguez, E., Bryant, R.H. and Villamandos F.: 1995. A comparative analysis of daily variations in the Gramineae pollen counts at Cordoba, Spain and London, UK. *Grana* 34, 189–198.
- Galán, C., Alcázar, P., Cariñanos, P., García-Mozo, H., Domínguez-Vilches, E. 2000. Meteorological factors affecting daily urticaceae pollen count in southwest Spain. *International Journal of Biometeorology*, 43: 191-195
- Galán, C., Ariatti, A., Bonini, M., Clot, B., Crouzy, B., Dahl, A., Fernandez-González .D., Frenguelli,G., Gehrig, R., Isard, S., Levetin, E., Li, D.W., Mandrioli, P., Rogers, C.A., Thibaudon, M., Sauliene, I., Skjoth, C., Smith,M., Sofiev, M. 2017. Recommended terminology for aerobiological studies. *Aerobiologia*, 33, 293–295.
- Galán, C., Emberlin, J., Dominguez, E., Bryant, R. H., & Villamandos, F. 1995. A comparative analysis of daily variations in the Gramineae pollen counts at Cordoba, Spain and London, UK. *Grana*, 34, 189–198

- Galán, C., Emberlin, J., Domínguez, E., Bryant, R.H. & Villamandos, F.: 1995. A comparative analysis of daily variations in the Gramineae pollen counts at Córdoba, Spain and London, UK. *Grana* 34, 189–198.
- García-Mozo, H, Galán, C, Jato, V, Belmonte, J, Díaz de la Guardia, C, Fernández D, Gutiérrez, M., Aira, M., Roure, J., Ruiz, L., Trigo, M. Domínguez-Vilches, E. 2006. Quercus pollen season dynamics in the Iberian Peninsula: response to meteorological parameters and possible consequences o of climate change. *Ann Agric Environ Med*, 13: 209–224
- García-Mozo, H., Galán, C., Belmonte, J., Bermejo, D., Candau, P., Díaz De La Guardia, C., Elvira,B., Gutiérrez, M., Jato, V., Silva, I., Trigo, M.M., Valencia, R, And Chuine , I. 2009. Predicting the start and peak dates of the Poaceae pollen season in Spain using process-based models. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(2): 256-262.
- García-Mozo, H., Galán, C., Gómez-Casero, M.T. & Domínguez-Vilches, E.: 2000. A comparative study of different temperature accumulation methods to predicting the start of the Quercus pollen season in Córdoba (South West Spain), *Grana* 39, 194–199.
- Gassmann, M. I., & Pérez, C. F. 2006. Trajectories associated to regional and extra-regional pollen transport in the southeast of Buenos Aires province, Mar del Plata (Argentina). *International Journal of Biometeorology*, 50(5): 280–291.
- Gassmann, M. I., Pérez, C. F., & Gardiol, J. M. 2002. Sea-land breeze in a coastal city and its effect on pollen transport. *International Journal of Biometeorology*, 46(3),
- Gehrig, R., Pietragalla-Köhler, B., Clot, B., Herren, T., Graber, MJ., Hauser, M.2011. *Luftpollengehalt in der Schweiz 2010*. Zürich, 2011.
- Giorato, M., Lorenzoni, F., Bordin, A., De Biasi, G., Gemignani, C., Schiappoli, M. and Marcer, G.: 2000, Airborne allergenic pollens in Padua: 1991–1996. *Aerobiologia* 16, 453–454
- Gonzalez Minero, F. J., Candau, P., Tomas, C., & Morales, J. 1998. Airborne grass (Poaceae) pollen in southern Spain. Results of a 10-year study (1987-96). *Allergy*, 53, 266–274.
- Gonzalo-Garijo, M. A., Tormo-Molina, R., Muñoz-Rodríguez, A. F., & Silva-Palacios, I. 2006. Differences in the spatial distribution of airborne pollen concentrations at different urban locations within a city. *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology*, 16(1), 37–43.
- Graphpad Software. 2012. *GraphPad Prism version 6.01* for Windows. La Jolla California USA, www.graphpad.com

- Grashoff, J. L. & Beaman, J. H.. 1970. Studies in *Eupatorium* (Compositae), III. Apparent wind pollination. *Brittonia* 22: 77-84
- Gregory, P.H. 1973. *The microbiology of the atmosphere*. Clarke, Doble & Brendon Ltd, Plymouth.
- Grossi, M. A., Gutiérrez, D. G., Marquez, G. J., & Luna, M. L. 2017. Caracteres florales y palinológicos en *Acanthostyles* (Asteraceae, Eupatorieae) y su relación con la polinización. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 52(1):107-119.
- Hellman, S., Gaillard, M.J. and Bunting, M.J. 2009. Relevant Source Area of Pollen in patchy cultural landscapes and signals of anthropogenic landscape disturbance in the pollen record: A simulation approach. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 153(3-4):245-258.
- Hernández-Ceballos, M.A.; Skjøth, C.A.; García-Mozo, H.; Bolívar, J.P. & Galán, C. 2014. Improvement in the accuracy of back trajectories using WRF to identify pollen sources in southern Iberian Peninsula. *Int. J. Biometeorol.* 58 (10): 2031-2043.
- Hidalgo, J., Masson, V., & Gimeno, L. 2010. Scaling the Daytime Urban Heat Island and Urban-Breeze Circulation. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 49(5), 889–901
- Iglesias I, Rodríguez-Rajo FJ, Mendez J. 2007. Behavior of *Platanus hispanica* pollen, an important spring aeroallergen in northwestern Spain. *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology*, 17: 145-56.
- Intendencia de Montevideo. 2014. *Inventario de Emisiones de Gases de efecto invernadero de Montevideo año 2014*. Servicio de evaluación de la Calidad y Control Ambiental. Montevideo, 49 pp.
- INUMET. 2017. Estadísticas climatológicas. <https://www.inumet.gub.uy/clima/estadisticas-climatologicas>
- Jackson, S. T. 1990. Pollen source area and representation in small lakes of the northeastern United States. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 63(1–2), 53–76.
- Jato, V., Rodríguez-Rajo, F. J., Alcázar, P., De Nuntiis, P., Galán, C., Mandrioli, P. 2006. May the definition of pollen season influence aerobiological results? *Aerobiologia*, 22(1): 13–25.
- Keijzer, C.J., Leferink-Ten Klooster, H.B., Reinders, M.C. 1996. The Mechanics of the Grass Flower: Anther Dehiscence and Pollen Shedding in Maize. *Annals of Botany*, 78: 15-21.

- Kleine-Tebbe, J., & Davies, J. 2014. Grass pollen allergens. En, *Global Atlas of Allergy*. Eds., Akdis, C. & Agache, I. Published by the European Academy of Allergy and Clinical Immunology. 22–26 pp.
- Kosisky, S. E., Marks, M. S., Yacovone, M. A., & Nelson, M. R. 2011. Determination of ranges for reporting pollen aeroallergen levels in the Washington, DC, metropolitan area. *Annals of Allergy, Asthma and Immunology*, 107(3): 244–250.
- Latorre, F. 1997. Comparison between phenological and aerobiological patterns of some arboreal species of Mar del Plata (Argentina). *Aerobiología* 13: 49-59.
- Latorre, F. 1999. Differences between airborne pollen and flowering phenology of urban trees with reference to production , dispersal and interannual climate variability. *Aerobiología*: 131–141.
- Latorre, F., C. Pérez. 1997. One Year Of Airborne Pollen Sampling In Mar Del Plata (Argentina). *Grana* 36: 49-53.
- Latorre, F., M.A. Caccavari. 2009. Airborne Pollen Patterns In Mar Del Plata atmosphere (Argentina) and its relationship with meteorological conditions. *Aerobiología* 27: 297-312
- Lewis, W.H.; Vinay, P. & Zenger, V.E. 1983. *Airborne And Allergenic Pollen In North America*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, USA. 254 pp.
- Liem, A.S.N. 1980. Effects of light and temperature on the anthesis of *Holcus lanatus*, *Festuca rubra* and *Poa annua*. *Grana* 19: 21-29.
- Lombardo, A. 1984. *Flora montevicensis, v. 2. Gamopétalas*. Intendencia Municipal de Montevideo. 347 pp.
- Lombardo, A. 1984. *Flora montevicensis, v. 3. Monocotiledoneas*. Intendencia Municipal de Montevideo. 465 pp.
- Lorscheitter, M.L., F. Machado Vieira, F. De Olivera. 1986. Conteúdo polínico atmosférico na cidade de Caixas do Sul, Rio Grande do Sul (Brasil), e sua correlação alérgica. Paleobotânica e Palinologia da América do Sul, *Boletim IG-USP, Instituto Geociências, Universidade de São Paulo* 17: 131-140.
- Majid, A., Chehregani, A., Moin, M., Gholami, M., Kohno, S., Nabe, T. 2004. The effects of air pollution on structures, proteins and allergenicity of pollen grains. *Aerobiología*, 20: 111–118.
- Majeed, H. T., Periago, C., Alarcón, M., & Belmonte, J. 2018. Airborne pollen parameters and their relationship with meteorological variables in NE Iberian Peninsula. *Aerobiología*, 34(3), 375–388.
- Mallo, A.C., D.S. Nitiu, M.C. Gardella Sambeth. 2011. Airborne fungal spore content in the atmosphere of the city of La Plata, Argentina. *Aerobiología* 27: 77-84.

- Mandrioli, P. 1998. The dimensionless nature of pollen count summations. En P, Mandrioli, P, Comtois, & V, Levizzani (Eds.), *Methods in aerobiology*. Pitagora Editrice, Bologna.
- Markgraf, V. & D'antoni, H.L. 1978. *Pollen flora of Argentina. Modern spore and pollen types of Pteridophyta, Gymnospermae and Angiospermae*. The University Press, Tucson. 208 pp.
- Markgraf, V; D'Antoni, H. L.; Ager, T.A. 1981. Modern Pollen Dispersal in Argentina. *Palynology*, 5: 43-63.
- Maya Manzano, J. M., Tormo Molina, R., Fernández Rodríguez, S., Silva Palacios, I., & Gonzalo Garijo, Á. 2017. Distribution of ornamental urban trees and their influence on airborne pollen in the SW of Iberian Peninsula. *Landscape and Urban Planning*, 157: 434–446.
- Maya-Manzano, J. M., Sadyś, M., Tormo-Molina, R., Fernández-Rodríguez, S., Oteros, J. 2017. Relationships between airborne pollen grains, wind direction and land cover using GIS and circular statistics. *Science of The Total Environment*, 584–585: 603–613.
- Maya-Manzano, J.M., Fernández-Rodríguez, S., Monroy-Colín, A., Silva Palacios, I., Tormo-Molina, R., Gonzalo-Garijo, A. 2017. Allergenic pollen and ornamental plant trees in a Mediterranean environment and urban planning as a prevention tool. *Urban forestry and Urban Greening*, 27: 352-362.
- Medek, DE, Beggs, PJ, Erbas, B, Jaggard, AK, Campbell, BC, Vicendese, D, Johnston, FH, Godwin, I, Heute, AR, Green, BJ, Burton, PK, Bowman, DMJS, Newnham, RM, Katelaris, CH, Haberle, SG, Newbiggin, E, Davies, JM. 2016. Regional and seasonal variation in airborne grass pollen levels between cities of Australia and New Zealand. *Aerobiologia*, 32(2): 289–302.
- Migueres, M., Davila, I., Frati, F. 2014. Types of sensitization to aeroallergens: definitions, prevalences and impact on the diagnosis and treatment of allergic respiratory disease. *Clin Transl Allergy*, 4:16.
- Minero, F. J. G., & Candau, P. 1997. Study on *Platanus hispanica* Miller pollen content in the air of Seville, southern Spain. *Aerobiologia*, 13(2), 109–115.
- Molina, R. T., Rodríguez, A. M., & Palaciso, I. S. 2009. Pollen production in anemophilous trees. *Grana* 35 (1):38-46.
- Mourelle, D. & Prieto, A. 2012. Modern pollen assemblages of surface samples and their relationships to vegetation in the campos region of Uruguay. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 181(1): 22-33.
- Murray, M. G., Galán, C., & Villamil, C. B. 2010. Airborne pollen in Bahía Blanca, Argentina: Seasonal distribution of pollen types. *Aerobiologia*, 26(3), 195–207.

- Murray, M.G., C. Galán. 2016. Effect Of The Meteorological Parameters On The *Olea europaea* L. pollen season in Bahía Blanca (Argentina). *Aerobiologia* 32:541-553.
- Murray, M.G., C. Galán, C.B. Villamil. 2008. Aeropalynological Research In Salitral de la Vidriera, Buenos Aires province, Argentina. *Aerobiologia* 24: 181-190.
- Murray, M.G., C. Galán, C.B. Villamil. 2010. Airborne Pollen In Bahía Blanca, Argentina: seasonal distribution of pollen types. *Aerobiologia* 26: 195-207.
- Murray, M.G., M.I. Sonaglioni, C.B. Villamil. 2002. Annual Variation Of Airborne pollen in the city of Bahía Blanca, Argentina. *Grana* 41: 183-189.
- Murray, M.G., R.L. Scofield, C. Galán, C.B. Villamil. 2007. Airborne Pollen sampling in a Wildlife Reserve in the south of Buenos Aires province, Argentina. *Aerobiologia* 23: 107-117.
- Nalini, A.S, Talwai, S., Uppar, D.S. 2005. Airborne Pollen Grains of Wasteland Weeds in Hubli - Dharwad. *Karnataka J.Agric.Sci.*,18 (4): 1084-1086.
- Nilsson S. And Persson S.: 1981. Tree Pollen Spectra In The Stockholm Region (Sweden) 1973–1980, *Grana* 20, 179–182.
- Nitiu, D. S. 2006. Aeropalynologic analysis of La Plata City (Argentina) during a 3-year period. *Aerobiologia*, 22(1), 79–87.
- Nitiu, D.S, A.C. Mallo. 2011. Seasonal Variation Of Pollen And Fungal Spores In The atmosphere of Plata city (Argentina). *Boletin de la Sociedad Argentina de Botanica* 46: 297-304
- Nitiu, D.S., A.C. Mallo, E.J. Romero. 2003. Quantitative Aeropalynology In The atmosphere of Buenos Aires city, Argentina. *Aerobiologia* 19: 1-10.
- Noetinger, M., E.J. Romero, F.D. Majas. 1994. Airborne Pollen And Spores monitoring in Buenos Aires City: A preliminary report. Part II. Herbs, weeds (NAP) and spores. General discussion. *Aerobiologia* 10: 129-139.
- Norris-hill, J., &Emberlin, J. 1993. The incidence of increased pollen concentrations during rainfall in the air of London. *Aerobiologia* 9: 27–32.
- Ogden, E.C., Hayes, J.V., Raynor, G.S. Diurnal patterns of pollen emission in *Ambrosia*, *Phleum*, *Zea* and *Ricinus*. *Am J Bot.*, 1969;56:16 –21.
- Oke, T. R., 1982: The energetic basis of the urban heat island. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 108, 1–24.
- Olson, D.M., E. Dinerstein, E.D. Wikramanayake, N.D.Burgess, G.V.N. Powell, E.C. Underwood, J.A. D'amico, I. Itoua, H.E. Strand, J.C. Morrison, C.J. Loucks, T.F. Allnutt, T.H. Ricketts, Y. Kura, J.F. Lamoreux, W.W. Wettengel, P. Hedao, K.R. Kassem. 2001. Terrestrial ecoregions of the world: A new map of life on Earth. *BioScience*, 51: 933-938.

- Oteros, J., García-Mozo, H., Alcázar, P., Belmonte, J., Bermejo, D., Boi, M., Cariñanos, P., Díaz de la Guardia, C., Fernández-González, D., Gonzálz-Minero, F., Gutiérrez-Bustillo, A.M., Moreno-Grau,S., Pérez Badía, R., Rodríguez-Rajo, F.J., Ruíz-Valenzuela, L., Suárez-Pérez, J., Trigo, M.M., Domínguez-Vilches, E., Galán, C.. 2015. A new method for determining the sources of airborne particles. *J. Environ. Manag.*, 155, 212–218
- Oteros, J., García-Mozo, H., Hervás, C., & Galán, C. 2013. Biometeorological and autoregressive indices for predicting olive pollen intensity. *International Journal of Biometeorology*, 57(2): 307–316.
- Oteros, J., Valencia, R. M., del Río, S., Vega, A. M., García-Mozo, H. 2017. Concentric Ring Method for generating pollen maps. Quercus as case study. *Science of the Total Environment*, 576: 637–645.
- Panofsky, H. A. & Brier, G. W. 1968: *Some Applications Of Statistics To Meteorology*. Published by the Pennsylvania State University, 224 pp.
- Parsons, R.W., Prentice, I.C. 1981. Statistical approaches to R-values and the pollen-vegetation relationship. *Rev Palaeobot Palynol* 32:127–52
- Pathirane, L. 1975. Aerobiological literature in scientific periodicals. *Grana*, 15:145-147.
- Pazouki, N., Sankian, M., Nejadattari, T., Khavari-Nejad, R.A., Varasteh, A.R. 2008. Oriental plane pollen allergy: identification of allergens and cross-reactivity between relevant species. *Allergy Asthma Proceedings*, 29(6):622-8
- Peel, R. G., Kennedy, R., Smith, M., & Hertel, O. 2014. Do urban canyons influence street level grass pollen concentrations? *International Journal of Biometeorology*, 58(6): 1317–1325.
- Peel, R., Kennedy, R., Smith, M., & Hertel, O. 2014. Relative efficiencies of the Burkard 7-Day, Rotorod and Burkard Personal samplers for Poaceae and Urticaceae pollen under field conditions. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 21(4): 745–752.
- Pérez, C. F., Gassmann, M. I., & Covi, M. 2009. An evaluation of the airborne pollen-precipitation relationship with the superposed epoch method. *Aerobiologia*, 25(4), 313–320.
- Pérez, C., M.M. Páez. 1998. Seasonal Airborne Pollen Pattern In Mar Del Plata City, Argentina. *Aerobiologia* 14: 383-389.
- Pérez, C.F., J.M. Gardiol, M.M. Páez. 2001. Comparison Of Intradiurnal Variation Of airborne pollen in Mar del Plata (Argentina). Non-arboreal pollen. *Aerobiologia* 17: 151-163.
- Pérez, C.F., J.M. Gardiol, M.M. Páez. 2003. Diurnal variation of airborne pollen in Mar del Plata (Argentina). Arboreal pollen. *Grana* 42: 161-167.

- Potter, L.D. & Rowley, J.S. 1960. Pollen rain and vegetation, San Agustin Plains, New Mexico. *Botan. Gaz.*, 122:1-25.
- Powell, R. L., & Still, C. J. 2009. Biogeography of C3 and C4 vegetation on South America. *Anais Do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 2935–2942.
- Prentice, I. C. 1985. Pollen representations, source area, and basin size: towards a unified theory of pollen analysis. *Quaternary Research*, 23: 76–86.
- Prentice, I.C., Parsons, R.W. 1983. Maximum likelihood linear calibration of pollen spectra in terms of forest composition. *Biometrics* 39:1051–1057
- Puls, K.E., Yon Wahl, P.G. 1991. zum Einfluss von Niederschlagen auf pollen in der atmosphere. *Grana*, 30:235
- QGIS Development Team, 2014. *QGIS Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation Project. <https://qgis.org>.
- Rantio-Lehtimäki, A. 1994. Short, medium and long range transported airborne particles in viability and antigenicity analyses. *Aerobiologia* 10:175–181
- Rantio-Lehtimäki, A., Helander, M; Pessi, A.M. 1991. Circadian periodicity of airborne pollen and spores, significance of sampling height. *Aerobiologia* 7(2): 129-135.
- Rapiejko, P., Stanlaewicz, W., Szczygielski, K., & Jurkiewicz, D. 2007. Threshold pollen count necessary to evoke allergic symptoms. *Otolaryngologia Polska*, 61 (4), 591–594
- Recio, M., Docampo, S., García-Sánchez, J., Trigo, M., Melgar, M., & Cabezudo, M. 2010. Influence of temperature, rainfall and wind trends on grass pollination in Malaga (western Mediterranean coast). *Agricultural and Forest Meteorology*, 160, 931–940.
- Recio, M., Trigo, M.M., Docampo, S., Cabezudo, B. 2002. Estudio Del Ritmo intradiario del polen total en la atmósfera de Málaga durante los años 1992-1997. *Rea* 7: 17-22.
- Ribeiro, H., Cunha, M., & Abreu, I. 2007. Definition of main pollen season using a logistic model. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 14(2): 259–264.
- Rojo, J., Rapp, A., Lara, B., Fernández-González, F., & Pérez-Badia, R. 2015. Effect of land uses and wind direction on the contribution of local sources to airborne pollen. *Science of The Total Environment*, 538: 672–682.
- Rojo, J., Rapp, A., Lara, B., Sabariego, S., Fernández-gonzález, F., & Pérez-Badia, R. 2016. Characterisation of the airborne pollen spectrum in Guadalajara ( central Spain ) and estimation of the potential allergy risk. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188:130-

- Liang, K.L., Su, M.C, Shiao, J.Y., Wu, S.H., Li, Y.H., Jiang, R.S. 2010. Role of Pollen Allergy in Taiwanese Patients With Allergic Rhinitis. *Journal of the Formosan Medical Association*, 109 (12): 859-934.
- Ruiz, S. S., Bustillo, A. M. G., Morales, P. C., & Cuesta, P. 2008. Forecasting airborne Platanus pollen in the Madrid region. *Grana*, 47(3), 234–240.
- Sánchez-Mesa, J.A.; Smith, M.; Emberlin, J.; Allitt, U.; Caulton, E. and Galán C.: 2003. Characteristics of grass pollen seasons in areas of southern Spain and the United Kingdom. *Aerobiología* 19, 243–250.
- Seinfeld, J.H. and Pandis, S.N. 2006. *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*. 2nd Edition, John Wiley & Sons, New York.
- Servicio de Geomática. 2012. *Árboles. Mapa digital que contiene la representación de los árboles del ornato público*. [http://intgis.montevideo.gub.uy/sit/php/common/datos/generar\\_zip2.php?nom\\_tab=sig\\_arboles&tipo=gis](http://intgis.montevideo.gub.uy/sit/php/common/datos/generar_zip2.php?nom_tab=sig_arboles&tipo=gis) (Diciembre 2012).
- Šikoparija, B., Marko, O., Panić, M., Jakovetić, D.; Radišić, P. 2018. How to prepare a pollen calendar for forecasting daily pollen concentrations of Ambrosia, Betula and Poaceae?. *Aerobiología* 43(2):203-2017.
- Skjøth, C.A., Ørby, P.V., Becker, T., Geels, C., Schlünssen, V., Sigsgaard, T., Bønløkke, J.H., Sommer, J., Søgaard, P., Hertel, O. 2013. Identifying urban sources as cause to elevated grass pollen concentrations using GIS and remote sensing. *Biogeosciences*, 10: 541-554.
- Smith, E.G. 1990. *Sampling and identifying allergenic pollens and molds. An illustrated identification manual for air samplers*. Blewstone Press, Texas, USA. 196 pp.
- Smith, M. and Emberlin, J. 2005. Constructing a 7-day ahead forecast model for grass pollen at north London, United Kingdom, *Clin. Exp. Allergy*, 35, 1400–1406, 2005
- Soldevilla, C. G.; Cariñanos, P.; Alcázar, P.; Domínguez - Vilches, E. 2007. *Manual de calidad y gestión de la Red Española de Aerobiología. Servicio de Publicaciones, Universidad de Córdoba, España*.
- Solomon, W.R. and Mathews, K.P. 1978. Aerobiology and inhalant allergens. En: Middleton E, Reed CE, Ellis EF (eds) *Allergy principles and practice*, vol 2. Mosby, St. Louis
- Soriano A. 1992. Río de la Plata grasslands. En: Coupland RT (ed.) *Natural grasslands: introduction and western hemisphere. Ecosystems of the World 8A*. Amsterdam: Elsevier pp 367 – 407
- Spieksma, F.Th.M.Z; Emberlin, J.; Hjelmroos, M.; Jäger, S. and Leuschner, R.M.: 1995, Atmospheric birch (Betula) pollen in Europe: Trends and fluctuations in annual quantities and the starting dates of the seasons. *Grana* 34, 51–57

- Stach, A.; Smith, M.; Skjøth, C. A. and Brandt, J. 2007. Examining Ambrosia pollen episodes at Poznań (Poland) using back-trajectory analysis. *International Journal of Biometeorology*, 51(4): 275–286.
- Stjepanovic, B.; Svečnjak, Z.; Hrga, I.; Večenaj, A.; Šćepanović, M. and Baric, K. 2015. Seasonal variation of airborne ragweed ( *Ambrosia artemisiifolia* L .) pollen in Zagreb , Croatia. *Aerobiologia*, 31 (4): 525–535.
- Subba Reddi, C. & Reddi, N.S. 1986. Pollen production in some anemophilous angiosperm. *Grana*, 25:55-61.
- Subba Reddi, C.; Reddi, N. S. & Atluri Janaki, B. 1988. Circadian Patterns Of pollen release in some species of Poaceae. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 54(1–2): 11–42.
- Sugita, S. 1993. A model of pollen source area for an entire lake surface. *Quat Res* 39:239–244
- Sugita, S. 1994. Pollen Representation of Vegetation in Quaternary Sediments: Theory and Method in Patchy Vegetation. *The Journal of Ecology*, 82(4): 881.
- Sullivan, V. I. 1975. Pollen pollination in the genus Eupatorium (Compositae). *Canad. J. Bot.* 53: 582- 589.
- Systat Software, Inc. *SigmaPlot Version 11.0*. San Jose California USA, www.systatsoftware.com
- Tejera, L. & Beri, A. 2005. First volumetric airborne pollen sampling in Montevideo City, Uruguay. *Aerobiologia*, 21(1):33-41.
- Tejera, L. 2002. *Primer estudio aeropalinológico volumétrico para la ciudad de Montevideo*. Tesis de Maestría. Universidad de la República, Uruguay. 121 pp.
- Tejera, L.; Beri, A. and Martínez Blanco, X. 2018. General Characteristics Of airborne pollen In Montevideo city, Uruguay. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 53 (2): 239-253.
- Torres, G. 2018. Monitoring of the Airborne Pollen Diversity in the Urban Area of San Salvador De Jujuy, Argentina. *Biodiversity International Journal*, 2(1), 67–73.
- Varela, S.; Subiza, J.; Subiza, J.L.; Rodríguez, R.; García, B.; Jerez, M.; Jiménez, J.A.; Panzani, R. Platanus pollen as an important cause of pollinosis. *J. AllergyClin. Immunol.* 1997, 6:748-754
- Velasco-Jiménez, M. J.; Alcázar, P.; Domínguez-Vilches, E. & Galán, C. 2013. Comparative study of airborne pollen counts located in different areas of the city of Córdoba (south-western Spain). *Aerobiologia*, 29(1), 113–120.
- Vergamini, S.M.; R.M. Valencia-Barrera, B.C.; De Antoni Zoppas, C.; Pérez Morales, D. and Fernández-González. 2006. Pollen from tree and shrub taxa in the atmosphere of Caxias do Sul (Rio Grande do Sul, Brazil). *Aerobiologia* 22: 141-148.

- Vergamini, S.M.; Valencia Barrera, R.M.; De Antoni Zoppas, B.C.; Perez C. and Fernández González, D. 2006. Pollen from tree and shrub taxa in the atmosphere of Caxias do Sul( Rio Grande do Sul, Brazil ). *Aerobiologia* 22(2):141-148.
- Waisel, Y.; Mienis, Z.; Kosman, E. and Geller-Bernstein, C. 2004. The partial contribution of specific airborne pollen to pollen induced allergy. *Aerobiologia*, 20 (4), 197–208.
- Zer, C.J. 1987. The processes of anther dehiscence and pollen dispersal I. The opening mechanism of longitudinally dehiscing anthers. *New Phytologist*, 105: 487-498.

**ANEXOS**

## ANEXO 1 – Análisis correspondientes al Capítulo 3: POLEN AÉREO EN MALVÍN NORTE: CARACTERÍSTICAS GENERALES Y TAXONES PRINCIPALES.

### CAPÍTULO 3.1. Características generales del polen aéreo en Malvín Norte

**Tabla A1. 1.** Análisis de varianza – Polen total

Two Way Analysis of Variance					
<b>Data source:</b> Polen total – Malvín Norte					
General Linear Model					
Dependent Variable: TP					
<b>Normality Test:</b>	Failed (P < 0.050)				
<b>Equal Variance Test:</b>	Failed (P < 0.050)				
<b>Source of Variation</b>	<b>DF</b>	<b>SS</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
season	3	238751.928	79583.976	28.155	<0.001
year	3	23460.325	7820.108	2.767	0.041
season x year	9	140325.831	15591.759	5.516	<0.001
Residual		14454084476.291	2826.627		
Total		14604486620.565	3073.028		
Least square means for season :					
<b>Group</b>	<b>Mean</b>	<b>SEM</b>			
4.000	17.712	2.771			
1.000	34.960	2.771			
2.000	48.923	2.787			
3.000	48.638	2.798			
Least square means for year :					
<b>Group</b>	<b>Mean</b>	<b>SEM</b>			
2011.000	37.328	2.779			
2012.000	32.993	2.783			
2013.000	35.964	2.783			
2014.000	43.949	2.783			
Comparisons for factor: year					
<b>Comparison</b>	<b>Diff of Means</b>	<b>p</b>	<b>q</b>	<b>P</b>	<b>P&lt;0.050</b>
2014.000 vs. 2012.000	10.956	43.937	0.028		Yes
2014.000 vs. 2013.000	7.986	32.870	0.105		No
2014.000 vs. 2011.000	6.622	22.381	0.092		Do Not Test
2011.000 vs. 2012.000	4.334	31.559	0.513		No
2011.000 vs. 2013.000	1.364	20.491	0.729		Do Not Test
2013.000 vs. 2012.000	2.970	21.067	0.450		Do Not Test
Comparisons for factor: year within 4					
<b>Comparison</b>	<b>Diff of Means</b>	<b>p</b>	<b>q</b>	<b>P</b>	<b>P&lt;0.05</b>

2013.000 vs. 2012.000	6.436	41.161	0.845	No
2013.000 vs. 2014.000	5.445	30.982	0.767	Do Not Test
2013.000 vs. 2011.000	5.411	20.976	0.490	Do Not Test
2011.000 vs. 2012.000	1.025	30.185	0.991	Do Not Test
2011.000 vs. 2014.000	0.0339	20.00612	0.997	Do Not Test
2014.000 vs. 2012.000	0.991	20.179	0.899	Do Not Test

Comparisons for factor: **year within 1**

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0.05
2014.000 vs. 2013.000	27.187	44.905		0.003	Yes
2014.000 vs. 2011.000	20.409	33.682		0.025	Yes
2014.000 vs. 2012.000	6.778	21.223		0.387	No
2012.000 vs. 2013.000	20.409	33.682		0.025	Yes
2012.000 vs. 2011.000	13.632	22.459		0.082	No
2011.000 vs. 2013.000	6.778	21.223		0.387	No

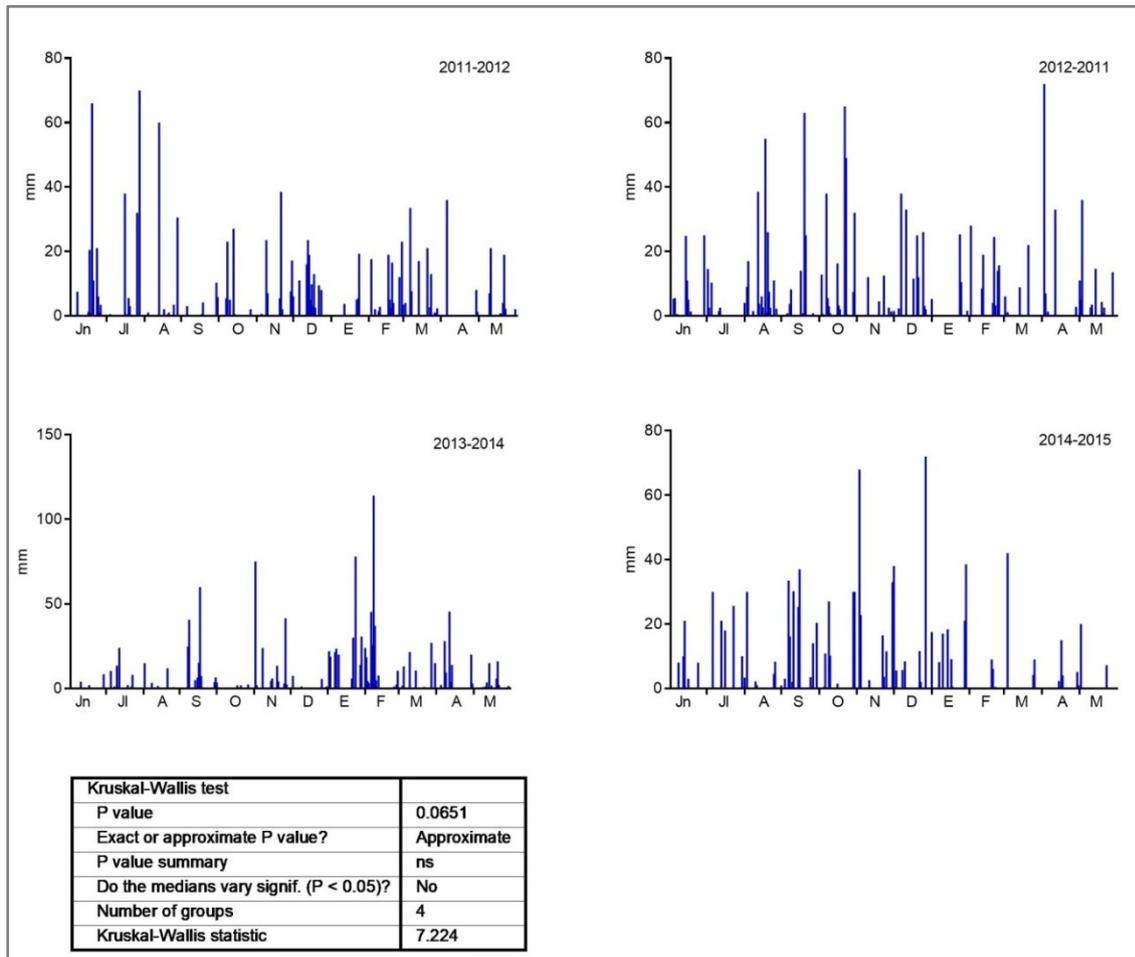
Comparisons for factor: **year within 2**

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0.05
2011.000 vs. 2013.000	31.440	45.641		<0.001	Yes
2011.000 vs. 2012.000	23.055	34.137		0.010	Yes
2011.000 vs. 2014.000	12.202	22.189		0.122	No
2014.000 vs. 2013.000	19.238	33.452		0.039	Yes
2014.000 vs. 2012.000	10.853	21.947		0.169	No
2012.000 vs. 2013.000	8.385	21.504		0.287	No

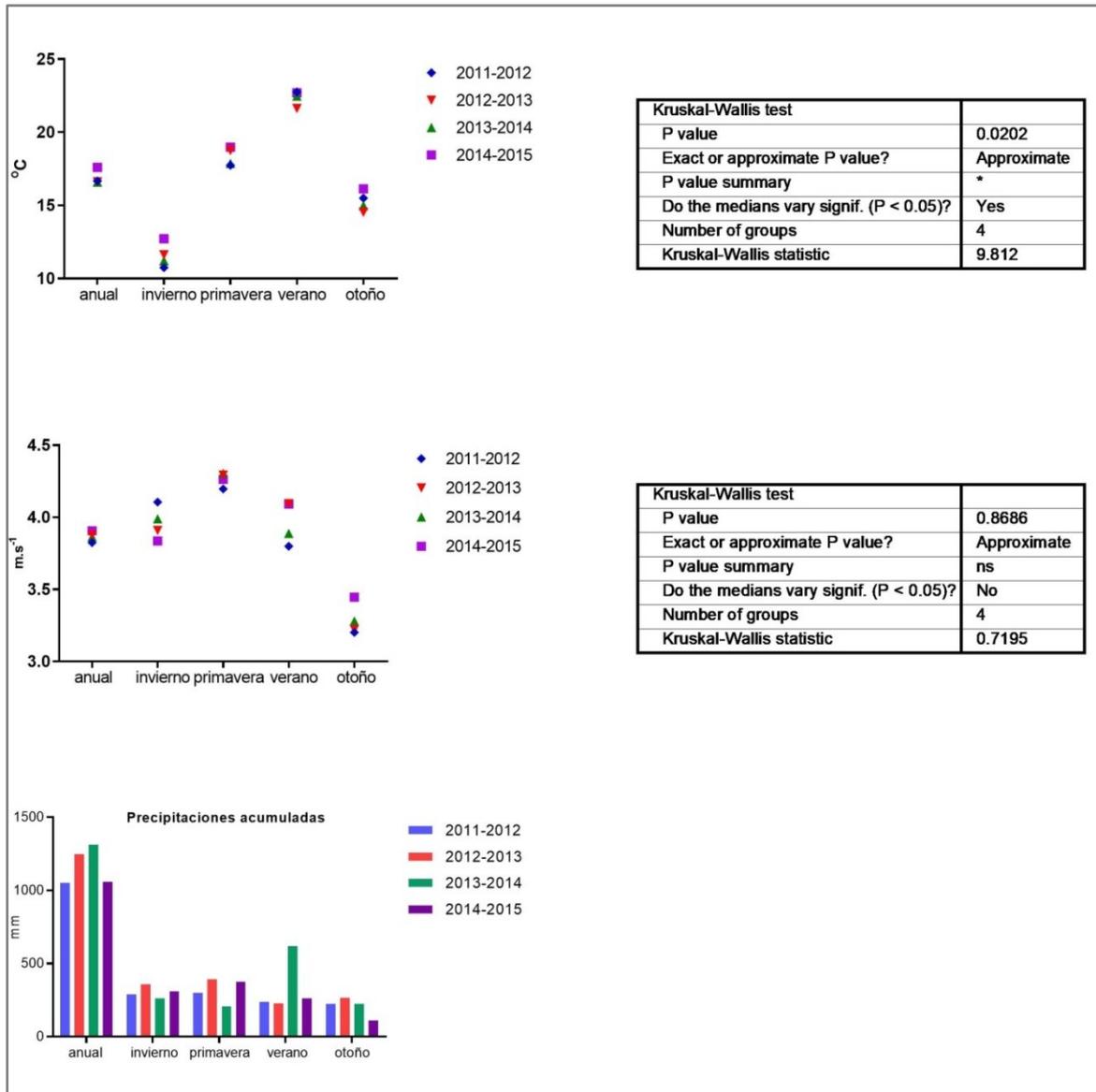
Comparisons for factor: **year within 3**

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0.05
2013.000 vs. 2012.000	34.238	46.109		<0.001	Yes
2013.000 vs. 2011.000	27.349	34.894		0.002	Yes
2013.000 vs. 2014.000	9.036	21.612		0.254	No
2014.000 vs. 2012.000	25.202	34.497		0.004	Yes
2014.000 vs. 2011.000	18.313	23.277		0.021	Yes
2011.000 vs. 2012.000	6.889	21.233		0.383	No

## Condiciones meteorológicas - Estación del aeropuerto de Carrasco



**Figura A1. 1.** Distribución de las precipitaciones acumuladas diarias en los años de muestreo.



**Figura A1. 2.** Medias estacionales para cada año de a. temperatura media, b. velocidad del viento y c. precipitaciones acumuladas. Las tablas presentan los análisis de varianza de las temperaturas medias y de la velocidad del viento.

## Capítulo 3.2 - Poaceae

**Tabla A1. 2.** Análisis de varianza entre los indicadores obtenidos mediante diferentes criterios para determinar la EPP de Poaceae

Table Analyzed				Data 1
Kruskal-Wallis test				
P value				0,0017
Exact or approximate P value?				Approximate
P value summary				**
Do the medians vary signif. (P < 0.05)				Yes
Number of groups				3
Kruskal-Wallis statistic				12,71
- Fecha inicio				
Data summary				
Number of treatments (columns)				3
Number of values (total)				24
Number of families	1			
Number of comparisons per family	3			
Alpha	0,05			
Dunn's multiple comparisons test	Mean rank diff,	Significant?		Summary
90% vs. 13 gr.m <sup>-3</sup>	0,6214	No		ns
90% vs. 98%	11,55	Yes		**
13 gr.m <sup>-3</sup> vs. 98%	10,93	Yes		*
- Fecha finalización				
Number of families	1			
Number of comparisons per family	3			
Alpha	0,05			
Dunn's multiple comparisons test	Mean rank diff,	Significant?		Summary
90% vs. 13 gr.m <sup>-3</sup>	-4,293	No		ns
90% vs. 98%	-11,65	Yes		**
13 gr.m <sup>-3</sup> vs. 98%	-7,357	No		ns
- Duración				
Dunn's multiple comparisons test	Mean rank diff,	Significant?		Summary
90% vs. 13 gr.m <sup>-3</sup>	-2,429	No		ns
90% vs. 98%	-13,00	Yes		***
13 gr.m <sup>-3</sup> vs. 98%	-10,57	Yes		*

**Tabla A.1.3** Diferencias interanuales entre concentraciones de Poaceae

**Kruskal-Wallis One Way Analysis of Variance on Ranks**

Data source: lluvias in EPP Poa Met

Dependent Variable: Poa MPP

Group	N	Missing	Median	25%	75%
11.000	229	0	9.311	4.158	20.846
12.000	228	0	10.317	4.304	23.333
13.000	227	0	9.055	2.906	21.062
14.000	227	0	13.011	4.857	27.674

H = 9.663 with 3 degrees of freedom. (P = 0.022)

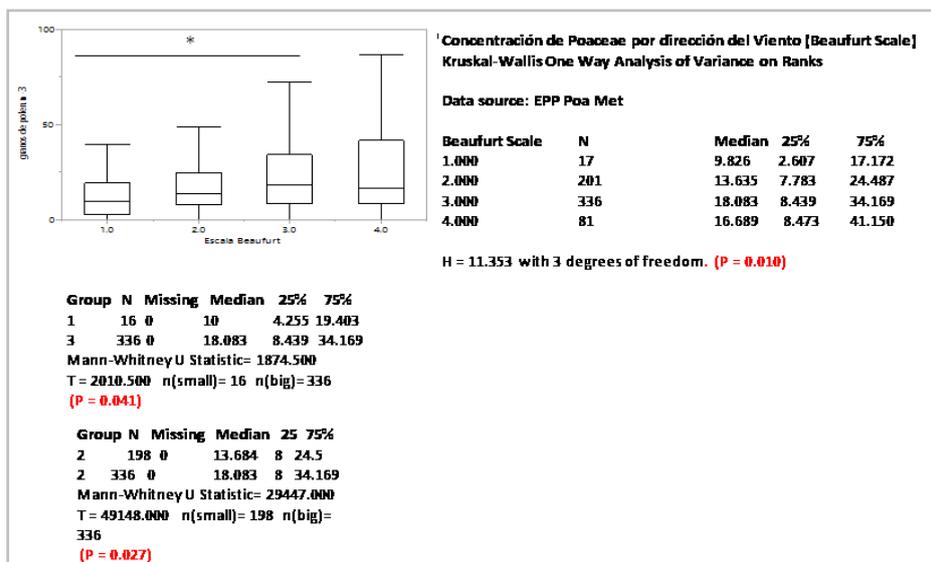
The differences in the median values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = 0.022)

To isolate the group or groups that differ from the others use a multiple comparison procedure.

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Dunn's Method) :

Comparison	Diff of Ranks	Q	P<0.05
14 vs 13	74.764	3.027	Yes
14 vs 11	52.399	2.126	No
14 vs 12	43.567	1.766	Do Not Test
12 vs 13	31.198	1.265	No
12 vs 11	8.832	0.359	Do Not Test
11 vs 13	22.365	0.908	Do Not Test

Note: The multiple comparisons on ranks do not include an adjustment for ties.



**Figura A1. 3.** Concentraciones de polen por velocidad del viento (rangos)

**Tabla A.2.4.** Comparación de las distribuciones anuales de Poaceae - Test de Kolmogorov – Smirnov

Table Analyzed	mpp mETEORO	Table Analyzed	mpp mETEORO
Column Y	11Poaceae	Column Y	11Poaceae
vs.	vs,	vs.	vs,
Column Z	Poaceae12	Column AA	Poaceae13
Kolmogorov-Smirnov test		Kolmogorov-Smirnov test	
P value	0,8113	P value	0,0991
Exact or approximate P value?	Approximate	Exact or approximate P value?	Approximate
P value summary	ns	P value summary	ns
Significantly different? (P < 0.05)	No	Significantly different? (P < 0.05)	No
Kolmogorov-Smirnov D	0,0625	Kolmogorov-Smirnov D	0,1202
Table Analyzed	mpp mETEORO	Table Analyzed	mpp mETEORO
Column Z	Poaceae12	Column Y	11Poaceae
vs.	vs,	vs.	vs,
Column AA	Poaceae13	Column AB	Poaceae14
Kolmogorov-Smirnov test		Kolmogorov-Smirnov test	
P value	0,0601	P value	0,0106
Exact or approximate P value?	Approximate	Exact or approximate P value?	Approximate
P value summary	ns	P value summary	*
Significantly different? (P < 0.05)	No	Significantly different? (P < 0.05)	Yes
Kolmogorov-Smirnov D	0,1298	Kolmogorov-Smirnov D	0,1587
Table Analyzed	mpp mETEORO	Table Analyzed	mpp mETEORO
Column AA	Poaceae13	Column Z	Poaceae12
vs.	vs,	vs.	vs,
Column AB	Poaceae14	Column AB	Poaceae14
Kolmogorov-Smirnov test		Kolmogorov-Smirnov test	
P value	0,0028	P value	0,0775
Exact or approximate P value?	Approximate	Exact or approximate P value?	Approximate
P value summary	**	P value summary	ns
Significantly different? (P < 0.05)	Yes	Significantly different? (P < 0.05)	No
Kolmogorov-Smirnov D	0,1779	Kolmogorov-Smirnov D	0,1250

**Tabla A.3.5.** Análisis de varianza de las concentraciones de polen con respecto al día en que ocurren las precipitaciones.

Table Analyzed	EPP Poa en r/ día lluvia		
Kruskal-Wallis test			
P value		0,0032	
Exact or approximate P value?		Approximate	
P value summary		**	
Do the medians vary signif. (P < 0.05)		Yes	
Number of groups		6	
Kruskal-Wallis statistic		17,83	
Data summary			
Number of treatments (columns)		6	
Number of values (total)		918	
Dunn's multiple comparisons test	Mean rank diff,	Significant?	Summary
-1 vs. 1	82,41	No	ns
-1 vs. 2	70,47	No	ns
-1 vs. 3	25,25	No	ns

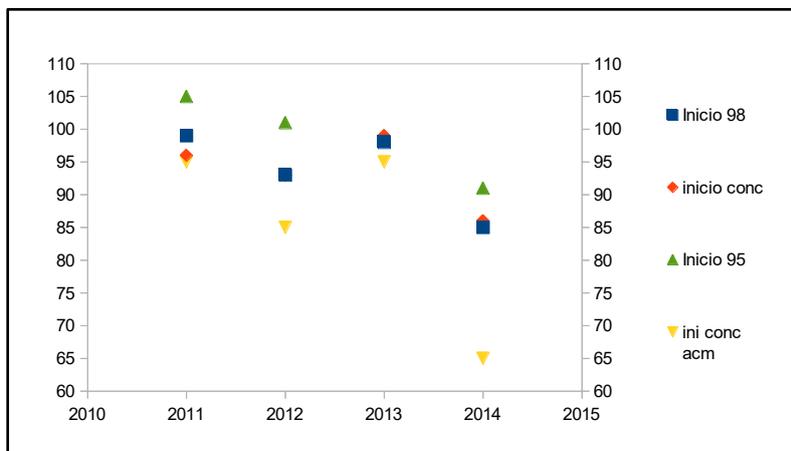
-1 vs. 5	-3,000	No	ns
-1 vs. 0	75,53	No	ns
1 vs. 2	-11,94	No	ns
1 vs. 3	-57,16	No	ns
1 vs. 5	-85,41	Yes	*
1 vs. 0	-6,881	No	ns
2 vs. 3	-45,22	No	ns
2 vs. 5	-73,47	No	ns
2 vs. 0	5,059	No	ns
3 vs. 5	-28,25	No	ns
3 vs. 0	50,28	No	ns
5 vs. 0	78,53	Yes	*

<b>Mann Whitney test</b>	<b>1 vs 5</b>	<b>-1 vs 0</b>	<b>0 vs 5</b>
P value	0,0021	0,0147	0,0014
Exact or approximate P value?	Approximate	Approximate	Approximate
P value summary	**	*	**
Significantly different? (P < 0.05)	Yes	Yes	Yes
One- or two-tailed P value?	Two-tailed	Two-tailed	Two-tailed
Sum of ranks in column G,J	22700 , 39429	22998 , 53639	56118 , 65653
Mann-Whitney U	12115	12598	24612
Difference between medians			
Median of column G	8,466	11,61	13,33
Median of column J	13,33	8,446	8,446
Difference: Actual	4,867	-3,164	-4,887
Difference: Hodges-Lehmann	3,649	-2,814	-3,127

**Tabla A.4.6.** Descriptores de las concentraciones de Poaceae con respecto al día en que ocurren las precipitaciones.

POACEAE	-1	0	1	2	3	5
Number of values	105	286	145	104	71	207
Minimum	0	0	0	0	0	0
25% Percentile	5.041	2.94	3.305	3.586	3.881	5.056
Median	11.61	8.446	8.466	8.371	12.51	13.33
75% Percentile	30.62	20.29	18.79	20.35	24.49	28.95
Maximum	223.9	629.3	115.1	188	194.6	147.8
Mean	25.6	22.23	15.09	19.28	20	19.04
Std. Deviation	37.72	55.16	19.59	30.99	28.28	19.25
Std. Error of Mean	3.681	3.262	1.627	3.039	3.357	1.338

### CAPÍTULO 3.3 – *Platanus*



**Figura A1. 4.** Fechas de inicio de la EPP de *Platanus* utilizando diferentes criterios.

**Tabla A.5.7.** Descriptores de la EPP según diferentes criterios y estadísticos básicos

	inicio 95	fin95	dura95	inicio98	fin98	dura98	inicio1GR	fin1GR	duragr
Minimum	91,00	118,0	19,00	85,00	120,0	26,00	80,00	125,0	38,00
Median	99,00	129,0	31,00	95,50	130,5	38,50	92,50	135,0	44,50
Maximum	105,0	138,0	39,00	99,00	139,0	42,00	95,00	140,0	48,00
Mean	98,50	128,5	30,00	93,75	130,0	36,25	90,00	133,8	43,75
Std. Deviation	5,745	11,00	8,406	6,185	10,42	7,136	6,782	7,089	4,193
Std. Error of Mean	2,872	5,500	4,203	3,092	5,212	3,568	3,391	3,544	2,097
Lower 95% CI of mean	89,36	111,0	16,62	83,91	113,4	24,90	79,21	122,5	37,08
Upper 95% CI of mean	107,6	146,0	43,38	103,6	146,6	47,60	100,8	145,0	47,42
Coefficient of variation	5,83%	8,56%	28,02%	6,60%	8,02%	19,68%	7,54%	5,30%	9,58%

**Tabla A.1.8.** Correlación de las concentraciones diarias de Plátanus (Spearman).

<b>correlation coefficient</b>				
	11Platanus	Platanus12	Platanus13	Platanusfcien
11Platanus		0,7369584	0,7520235	0,6766417
Platanus12	0,7369584		0,7325051	0,8077605
Platanus13	0,7520235	0,7325051		0,7160287
Platanusfcien	0,6766417	0,8077605	0,7160287	
<b>p values</b>				
	11Platanus	Platanus12	Platanus13	Platanusfcien
11Platanus		0,000	0,000	0,000
Platanus12	0,000		0,000	0,000
Platanus13	0,000	0,000		0,000
Platanusfcien	0,000	0,000	0,000	

**Tabla A.6.9 -** Comparación interanual de las concentraciones diarias de *Platanus* dentro de la EPP

<b>Kruskal-Wallis One Way Analysis of Variance on Ranks</b>					
Group	N	Missing	Median	25%	75%
2013-14	39	0	2.053	0.473	21.899
2012-13	39	0	8.890	2.509	65.859
2011-12	39	0	1.760	1.313	32.350
2014-15	39	0	10.677	3.964	80.522

H = 15.942 with 3 degrees of freedom. (P = 0.001)

The differences in the median values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = 0.001)

To isolate the group or groups that differ from the others use a multiple comparison procedure.

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparison	Diff of Ranks	q	P<0.05
<b>2014-15 vs 2013-14</b>	<b>1429.000</b>	<b>5.065</b>	<b>Yes</b>
<b>2014-15 vs 2011-12</b>	<b>1088.000</b>	<b>3.856</b>	<b>Yes</b>
2014-15 vs 2012-13	385.000	1.365	No
<b>2012-13 vs 2013-14</b>	<b>1044.000</b>	<b>3.700</b>	<b>Yes</b>
2012-13 vs 2011-12	703.000	2.492	No
2011-12 vs 2013-14	341.000	1.209	No

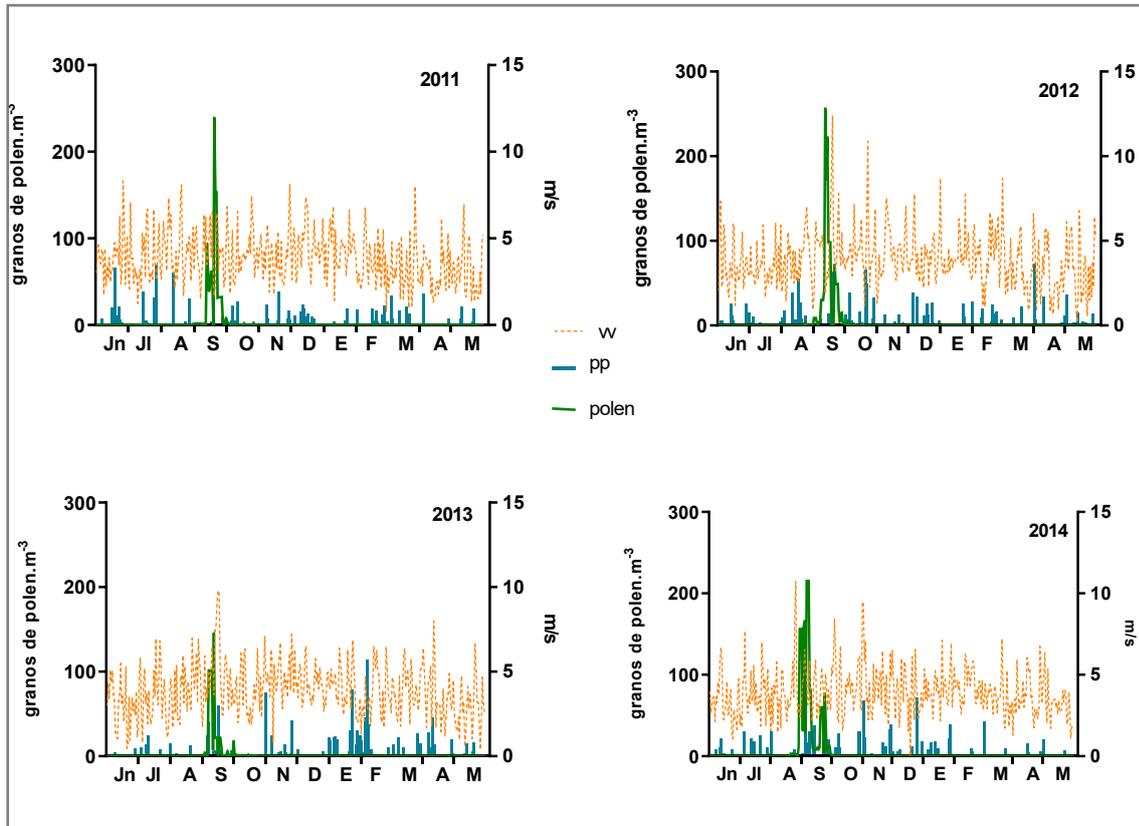
Note: The multiple comparisons on ranks do not include an adjustment for ties.

**Tabla A.7.10.** Análisis de varianza de las concentraciones de polen con respecto al día en que ocurren las precipitaciones.

Table Analyzed	precipitaciones
Kruskal-Wallis test	
P value	0,6406
Exact or approximate P value?	Approximate
P value summary	ns
Do the medians vary signif. (P < 0.05)	No
Number of groups	6
Kruskal-Wallis statistic	3,387
Data summary	
Number of treatments (columns)	6
Number of values (total)	179

**Tabla A.8.11.** Análisis de varianza de las concentraciones de polen con respecto a la velocidad del viento en escala Beaufurt.

Table Analyzed	ws
Kruskal-Wallis test	
P value	0,7814
Exact or approximate P value?	Approximate
P value summary	ns
Do the medians vary signif. (P < 0.05)	No
Number of groups	4
Kruskal-Wallis statistic	1,082
Data summary	
Number of treatments (columns)	4
Number of values (total)	176



**Figura A1. 5.** Concentración de *Platanus*, velocidad del viento (w) y precipitaciones acumuladas (pp), valores diarios.

## CAPÍTULO 3.4 - *Acanthostyles- Raulinoreitzia*

**Tabla A.9.12.** Análisis de varianza de las concentraciones de polen con respecto al día en que ocurren las precipitaciones.

Table Analyzed		Eupatorium - precipitaciones	
Kruskal-Wallis test			
P value		0,0013	
Exact or approximate P value?		Approximate	
P value summary		**	
Do the medians vary signif. (P < 0.05)		Yes	
Number of groups		6	
Kruskal-Wallis statistic		19,91	
Data summary			
Number of treatments (columns)		6	
Number of values (total)		171	
Dunn's multiple comparisons test	Mean rank diff,	Significant?	Summary
-1 vs. 0	37,84	No	ns
-1 vs. 1	43,51	No	ns
-1 vs. 2	50,55	Yes	*
-1 vs. 3	20,04	No	ns
-1 vs. 5	11,25	No	ns
0 vs. 1	5,663	No	ns
0 vs. 2	12,70	No	ns
0 vs. 3	-17,80	No	ns
0 vs. 5	-26,59	No	ns
1 vs. 2	7,042	No	ns
1 vs. 3	-23,47	No	ns
1 vs. 5	-32,25	No	ns
2 vs. 3	-30,51	No	ns
2 vs. 5	-39,30	Yes	*
3 vs. 5	-8,788	No	ns

## Anexo 2.- Análisis correspondientes al Capítulo 4: HETEROGENEIDAD ESPACIAL DE LA NUBE POLÍNICA EN LA CIUDAD DE MONTEVIDEO: ¿ES UN SOLO PUNTO REPRESENTATIVO PARA TODA LA CIUDAD?

**Tabla A2.1** Concentración polínica total registrada en el período de estudio.

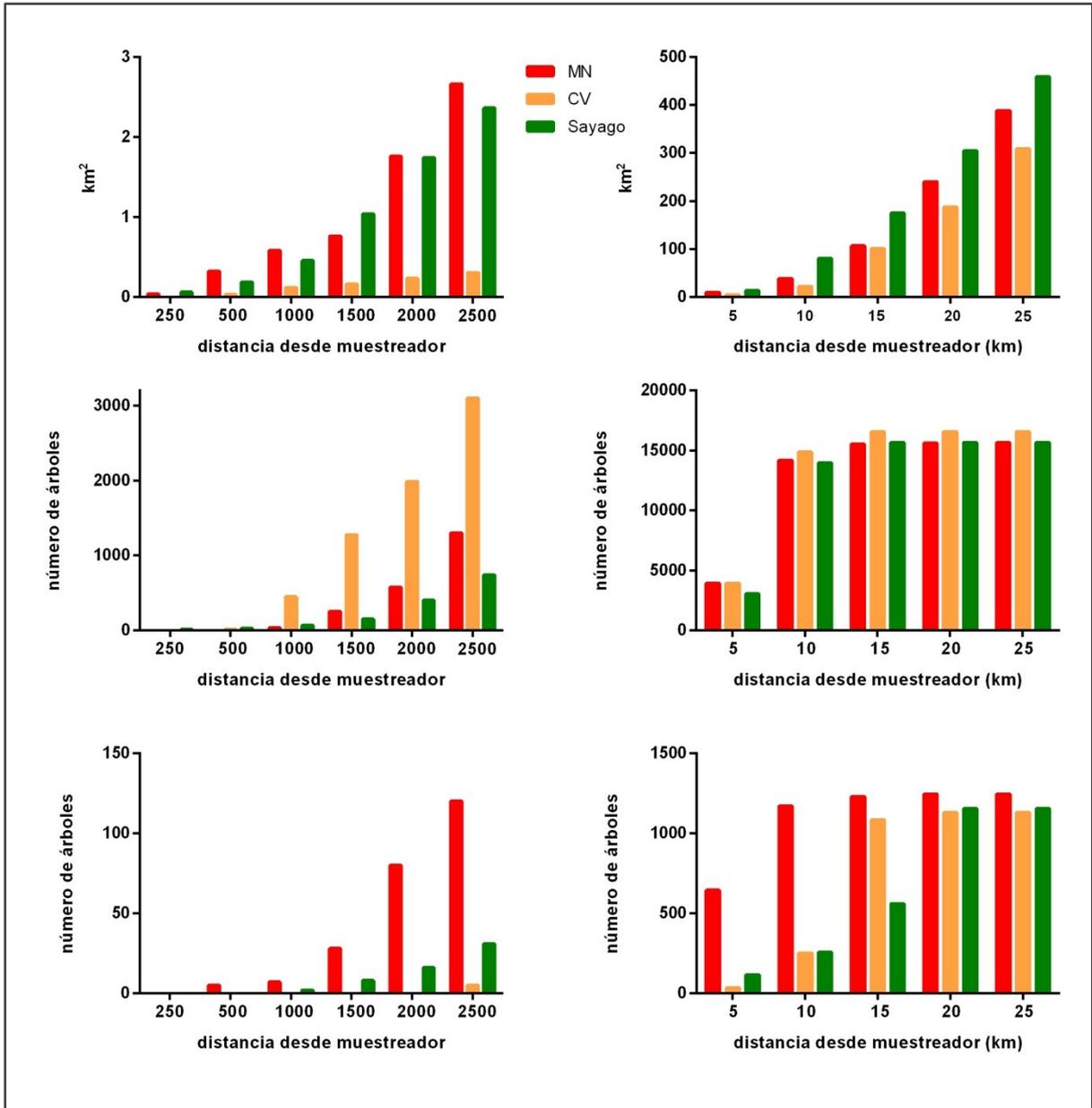
	Malvín Norte		Ciudad Vieja	
	Concentración	% total	Concentración	% total
<b>Polen total</b>	10948		5906	
<b>Polen Arbóreo</b>	4476	40,9	2506	42,4
<b>Polen no arbóreo</b>	6475	59,1	3387	57,3

**Tabla A2.2.** Períodos de polinización principal, fechas de inicio y fin, duración en días y días por encima del umbral (+umbral).

	Sitio	EPP			Pico		Días conc. Alta <sup>1</sup>
		Inicio	Fin	Duración	fecha	conc.	
<b>Poaceae</b>	MN	155	329	82	180	188	38
	CV	161	243	174	180	253	16
	SAYAGO	115	294	179	171	206	40
	MN	137	321	184	172	220	55
<b>Acanthostyles - Raulinoreitzia</b>	MN	274	333	59	283	42	8
	CV	275	294	19	283	31	3
	SAYAGO	264	289	35	285	103	14
	MN	264	321	57	285	337	14
<b>Platanus</b>	MN	100	126	26	104	172	8
	CV	93	131	38	108	145	15
	SAYAGO	73	121	48	94	703	33
	MN	80	125	45	98	215	16
<b>Cupressaceae</b>	MN	57	106	49	95	168	
	CV	47	94	47	93	67	

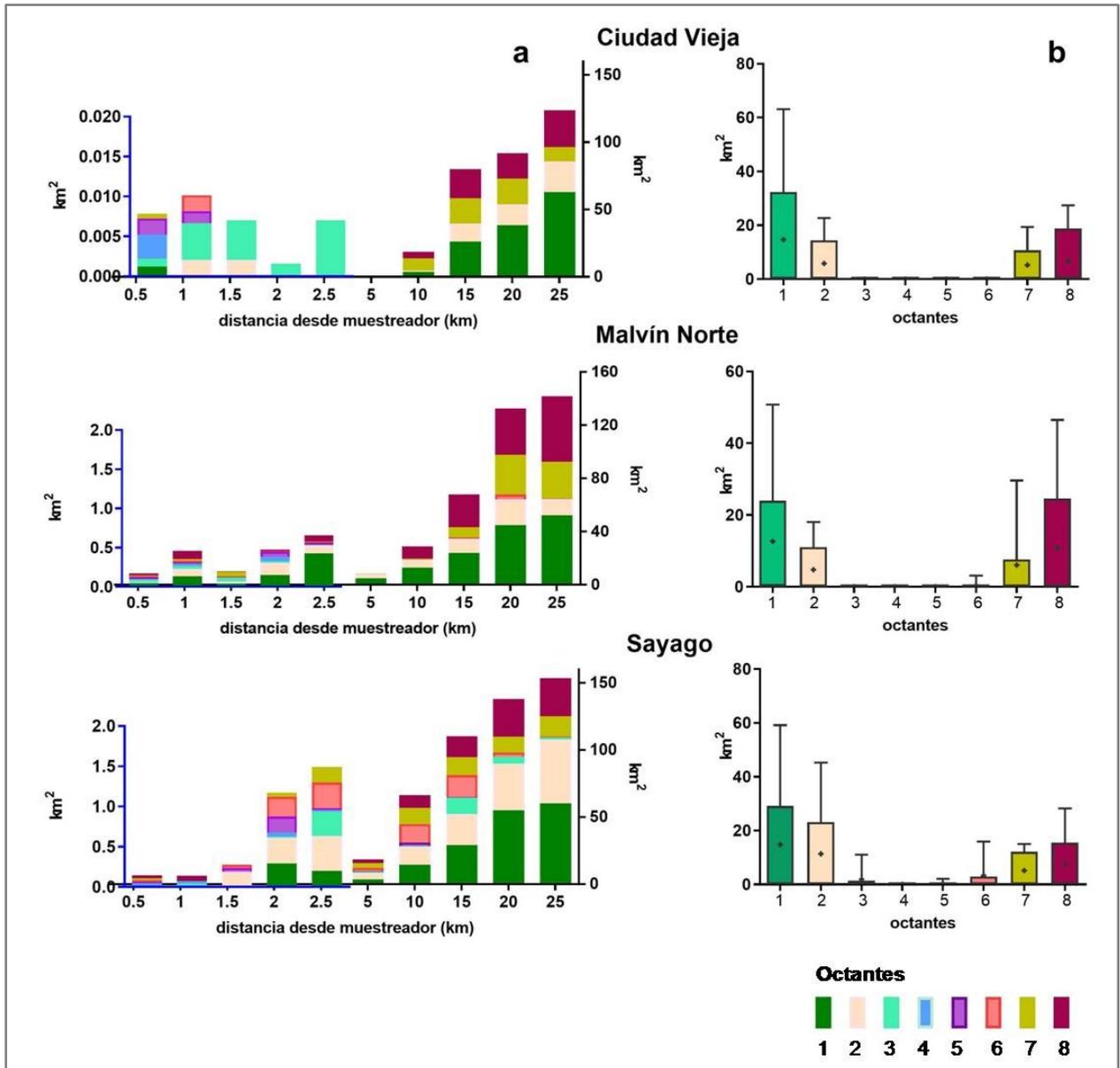
**Tabla A2.3** Tipos polínicos registrados en Sayago

Tipo polínico	%		
<i>Platanus</i>	22.2	Cyperaceae	2.6
Poaceae	21.4	Gynko	2.5
Moraceae	7.1	Araucaria	2.2
<i>Acanthostyles-Raulinoreitzia</i>	6.2	Myrtaceae	2.1
<i>Liquidambar</i>	4.0	Quercus	1.9
Altnernathera	3.1	Fraxinus	1.8
Urticaceae	2.9	Pinaceae	1.6
<i>Casuarina</i>	2.9	Celtis	1.6
		Cupressaceae	1.4
		Acer	1.4



**Figura A2.1.** Cobertura de Poaceae y número de árboles de *Platanus* y Cupressaceae a cada distancia de los puntos de muestreo aerobiológico.

### ANEXO 3 - Análisis correspondientes al Capítulo 5: ÁREAS FUENTE POTENCIALES DEL POLEN DE GRAMÍNEAS EN MONTEVIDEO



**Figura A3.1.** Cobertura de gramíneas en a. anillos concéntricos alrededor de cada sitio de muestreo y b. cobertura por octante por sitio. Los diagramas de cajas indican la media (punto), los percentiles 25 y 75 (extremos de la caja) y los percentiles 10 y 90 (barras de error) de cobertura por octante.