

Polen Anemófilo en la Ciudad de Sucre y su relación con factores Meteorológicos y Contaminantes del Aire

Anemophilic Pollen in the City of Sucre and its relationship with Meteorological factors and air Pollutants

Noelia Roxana Janko Fernandez ¹✉ • Fabiola Mabel Ramallo Jadue ¹ • Omar Nahir Urquizo Huanca ¹

Recibido: 23 Febrero 2024 / Revisado: 28 Febrero 2024 / Aceptado: 20 Marzo 2024 / Publicado: 18 Abril 2024

Resumen

La aerobiología es una rama muy importante de la biología que estudia las partículas de origen biológico que se encuentran en el aire, por lo cual tiene una variedad de aplicaciones en investigaciones de distinta naturaleza. En la presente investigación, el objetivo fue caracterizar y asociar la fluctuación de la abundancia y diversidad de polen anemófilo con factores meteorológicos y la contaminación atmosférica, durante la época húmeda en la ciudad de Sucre. El monitoreo del polen en el aire, se llevó a cabo con un captador volumétrico Burkard y el conteo se realizó mediante el protocolo de Hirst. Nuestros resultados nos indican que los factores meteorológicos tienen influencia sobre la abundancia de los granos de polen que se encuentran en el aire, al igual que el factor contaminante PM10. En cuanto a los tipos polínicos, se registraron e identificaron 24 familias de plantas, se observó que existe una variación en la abundancia de polen en el aire, donde encontramos que diferentes familias de plantas tenían altos picos de liberación de polen en las fechas de muestreo, sugiriendo que las fechas de muestreo pueden considerarse como el periodo de floración y época de polinización de los taxones. Además, que 11 familias de plantas del polen encontrado se considera con polinización anemófila (i.e. viento), 10 familias son considerados de polinización por agentes polinizadores (i.e. insectos, roedores, aves) y 4 familias de polinización mixta.

Palabras claves: Aerobiología, Concentración polínica, Captador volumétrico, Dinámica del polen.

Fabiola Mabel Ramallo Jadue
<https://orcid.org/0009-0005-7897-4993>

Omar Nahir Urquizo Huanca
<https://orcid.org/0000-0002-4439-6663>

✉ Noelia Roxana Janko Fernandez /
jankofernandeznoelia@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0000-1737-2394>

¹ Universidad Mayor Real Y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca

Abstract

Aerobiology is a very important branch of biology that studies particles of biological origin found in the air, which is why it has a variety of applications in research of a different nature. In the present research, the objective was to characterize and associate the fluctuation of the abundance and diversity of anemophilous pollen with meteorological factors and atmospheric

pollution, during the wet season in the city of Sucre. Pollen monitoring in the air was carried out with a Burkard volumetric collector and counting was carried out using the Hirst protocol. Our results indicate that meteorological factors have an influence on the abundance of pollen grains found in the air, as does the polluting factor PM10. Regarding pollen types, 24 plant families were recorded and identified, it was observed that there is a variation in the abundance of pollen in the air, where we found that different plant families had high peaks of pollen release on the sampling dates, suggesting that the sampling dates can be considered as the flowering period and pollination season of the taxa. Furthermore, 11 families of plants from the pollen found are considered to have anemophilous pollination (i.e. wind), 10 families are considered to be pollinated by pollinating agents (i.e. insects, rodents, birds) and 4 families are considered to have mixed pollination.

Keywords: Aerobiology, Pollen concentration, Volumetric sampler, Pollen dynamic.

Introducción

La aerobiología es una disciplina que se utiliza desde el siglo XX, para estudiar las partículas de origen biológico (Gregory 1973). Las partículas biológicas presentes en el aire, como bacterias, virus, esporas de plantas y hongos y el polen, pueden modificar la calidad del aire, aunque no se consideren contaminantes (Rahman et al 2019; Charpin & Poncet 2019; Plaza et al 2020).

La aerobiología, también estudia procesos biológicos como el desplazamiento de las partículas de un sitio geográfico a otro, en diferentes condiciones climáticas (Ackerman 2000). El polen de las plantas se puede dispersar en la atmósfera a través de las corrientes del viento, considerándose como polinización sin participación de un agente biológico (Basak et al., 2019).

Diferentes estudios, describen una asociación

de la cantidad de polen que se puede encontrar suspendido en el aire con diferentes factores climáticos; además, el polen junto con contaminantes del aire pueden ser un riesgo para la salud humana (Rahman et al 2019; Charpin & Poncet 2019; Plaza et al 2020).

La composición polínica en la atmósfera de una región geográfica depende de variables como la composición vegetal y su periodo de polinización, además de ciertos factores meteorológicos como la humedad, temperatura y la velocidad del viento (Soares et al 2019, Abud et al 2020; Bergamin et al 2021). La humedad y las lluvias constantes inciden en la eliminación del polen aerovagante en la atmósfera y la supresión de la antesis en las plantas (Domingos-Melo et al 2020). Otros estudios también describen que, en condiciones de alta temperatura, baja precipitación y humedad facilitan la liberación de polen junto con el viento facilita la liberación y dispersión de los granos de polen (Estève et al 2018; Basak et al 2019). Por lo tanto, los factores meteorológicos son variables que se deben considerar al momento de evaluar la variación de la diversidad y la dinámica de los granos de polen anemófilo en el aire (Bychkova & Khlebova 2019; Kafashan et al. 2021).

En diferentes estudios se ha descrito que los contaminantes atmosféricos tienen un efecto sobre la dispersión de los granos de polen en el aire (Di Bucchianico et al 2018; Gross et al 2019; Rahman et al 2019). Ščevková et al (2020) describe que hay mayor frecuencia de polen en áreas con mayores concentraciones de contaminantes del aire.

Además, el contacto directo de las partículas contaminantes puede deformar la estructura morfológica del polen afectando así la viabilidad del polen (Ahmadi et al 2019; Choël & Visez 2019).

De igual manera las partículas contaminantes que se pegan a los granos de polen pueden influir en el crecimiento del tubo polínico durante la germinación de los granos de polen, afectando directamente el ciclo reproductivo de las plantas (Noori et al 2018).

A través de la fenología y la aerobiología podemos entender la dinámica de la polinización anemófila en función a los períodos de floración (Monroy-Colín et al. 2020); donde el polen juega un papel importante en la polinización y reproducción de las plantas (Belmonte y Roure 2002).

La polinización de las plantas anemófilas se dispersa a largas distancias y en diferentes direcciones dependiendo de la dirección y fuerza del viento (Galveias et al 2021). Para este proceso, el polen anemófilo necesita una gran resistencia para sobrevivir, a las condiciones ambientales abruptas a las que está sometido (i.e. temperaturas más altas, precipitaciones, humedad, viento), para lo cual porta una membrana externa llamada exina (Liu et al 2017). Además, el polen de especies de plantas que son polinizadas por el viento tiene sacos de aire y otras estructuras que facilitan el movimiento por la atmosfera (Velasco-Jiménez et al 2018).

En Sucre-Bolivia, se desconocen estudios de Aerobiología ya que no existen instituciones o clínicas que tomen estos datos diarios de polen y

esporas, los cuales pueden ser necesarios para fines de investigación y para la misma población a la que se dirige este estudio.

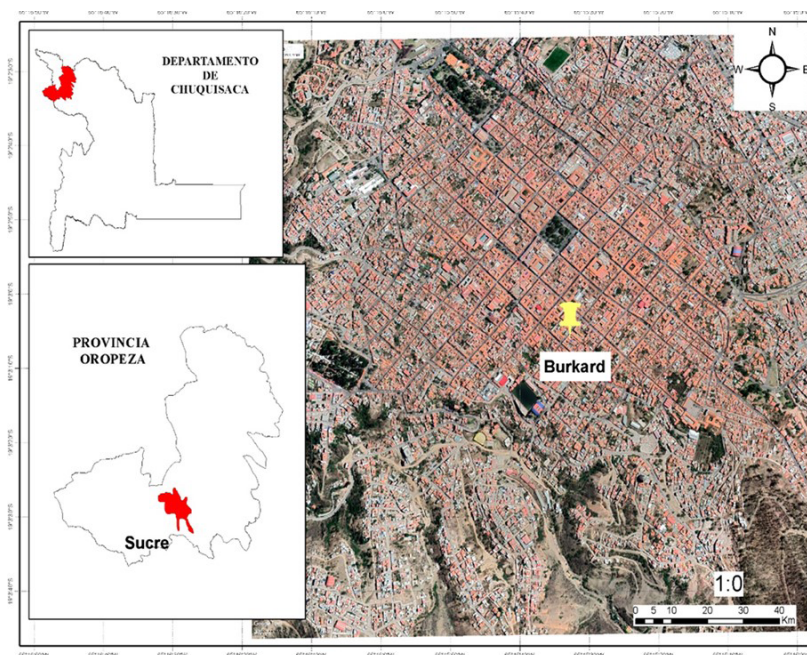
Por la cual el objetivo principal de este estudio es caracterizar y asociar la fluctuación de la abundancia y diversidad de polen anemófilo con factores meteorológicos (humedad, precipitación, temperatura, viento) y con la contaminación atmosférica (PM10), durante la época húmeda (diciembre 2019, enero y febrero 2020) en la ciudad de Sucre.

Materiales y métodos

Área de estudio

Este estudio se llevó a cabo en la ciudad de Sucre, en el municipio de Oropeza en el departamento de Chuquisaca - Bolivia, con una altitud de 2750 msnm (Figura 1). Perteneciente a la Región Andina Tropical, con un característico clima (mesotérmico), con temperaturas medias entre los 13 °C a 35 °C y con niveles de precipitación anual

Figura 1. Mapa del sitio de estudio en la ciudad de Sucre, el punto amarillo muestra la ubicación del muestreador volumétrico Burkard.



promedio de 1087 mm/hr (SENAMHI 2020). La vegetación está dominada por especies adaptadas a períodos de sequía prolongada (Xerófilas) y presenta mayormente especies microfoliadas, deciduas en la época seca.

Donde la vegetación dominante esta conformada por arbustos como la chacatea (*Dodonaea viscosa*), tola (*Bacharis dracunculifolia*), tolilla (*Eupatorium buniifolium*). La especie arbórea más importante es el pino del cerro (*Podocarpus parlatorei*), eucalipto (*Eucalytus* sp.), aliso (*Alnus acuminata*), molle (*Schinus molle*), sahuinto (*Myrcianthes callico* - ma). Además de la presencia a distancia de la kewiña (*Polylepis* sp.) y sahuinto (*Myrciathes callicoma*) (Navarro 2011).

Toma de datos

Los conteos de polen se realizaron en diciembre de 2019, enero y febrero del 2020. El muestreo de concentraciones de polen se realizó con el equipo de muestreo volumétrico tipo Hirst "Burkard", el cual se ubicó a una altura de 30 m sobre el nivel del suelo, en la terraza del Instituto Experimental de Biología "Dr. Luis Adam Briancon" de la Facultad de Ciencias Químicas, Farmacéuticas y Bioquímicas perteneciente a la Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca de la ciudad de Sucre, Bolivia.

El equipo consta de un cabezal que se abre por la parte superior, en cuyo interior lleva un tambor, donde se monta la cinta de muestreo (Melinex) impregnada con una solución de vaselina sólida "SOLQUIFAR", con el fin de facilitar la adherencia de las partículas biológicas.

El tambor al mismo tiempo, lleva acoplado un sistema de relojería que permite una autonomía semanal de 7 días. Para la cuantificación del polen, se dividió la cinta de muestreo en 7 segmentos de 48 mm (correspondientes a 24 horas) y cada uno de ellos se colocó entre el portaobjetos y el cubreobjetos, utilizando como medio glicero-gelatina y fucsina.

La cuantificación diaria de polen se realizó utilizando el objetivo del microscopio 40X en 4 barridos longitudinales y paralelos siguiendo el protocolo de conteo de Hirst (1982).

Datos meteorológicos

Las variables meteorológicas de precipitación (mm/hr), temperatura (°C), humedad relativa (%) y velocidad del viento (km/hr), fueron obtenidas de la Institución Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - Senamhi de Sucre, la cual estaba situada a una distancia de 5 km del equipo de muestreo aerobiológico. Donde el equipo de monitoreó de la estación meteorológica cuenta con los diferentes instrumentos de mediciones diarias de los parámetros (i.e. termómetro de máxima y mínima, barómetro, higrómetro, psicómetro, pluviómetros).

Datos de la contaminación del aire

Los datos de contaminación del aire por material particulado (PM10) se obtuvieron del Programa Nacional de Gestión de la Calidad del Aire (SNIA), Red Mónica, que estaba situado a una distancia de 1 km del equipo de muestreo aerobiológico.

Donde los equipos automáticos de monitoreo, son los equipos en los cuales la recolección y el análisis de la muestra están combinados en un solo instrumento, que realiza mediciones de concentraciones de contaminantes de forma diaria y continua, que envía la señal respuesta de estos análisis a un mecanismo de colección de información que va desde un registrador analógico hasta un sistema de computación sofisticado.

Análisis estadístico

Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software RStudio (www.rstudio.com) (R Core Team 2021).

Para determinar el efecto de las variables

meteorológicas y la contaminación atmosférica sobre las concentraciones del polen anemófilo diario, se realizó un Modelo Lineal Generalizado (GLM) con una distribución de Poisson.

También se realizó un análisis de diversidad alfa y beta entre los meses de estudio y se realizó una curva de acumulación para evaluar si el esfuerzo de muestreo fue adecuado con el paquete iNEXT V.2.0.20 en el software estadístico R versión 4.2.1 (Chao et al. 2014; Chao et al. 2016, Hsieh et al. 2016).

Resultados

La abundancia de los granos de polen, independientemente de la familia a la que

pertencieran, fue diferente entre los tres meses muestreados (g.l.=2; F=15.83; p =1.34e-6).

Donde el test a posteriori Tukey muestra el siguiente patrón: Enero-diciembre p=0.0209565, febrero – diciembre p=0.0113481 y febrero - enero p= 0.0113481 (Figura 2).

Se confirmó que el esfuerzo de muestreo fue adecuado ya que se alcanzaron valores altos (99%) de completitud de la muestra (Figura 3).

Diversidad y dominancia de las familias de plantas en el polen colectado

La diversidad de las familias de plantas durante los tres meses de muestreo fue similar entre sí; el

Figura 2. Abundancia de granos de polen por m³ a lo largo de los tres meses de muestreo. Las letras denotan diferencias significativas en la abundancia del polen entre meses (p < 0.05).

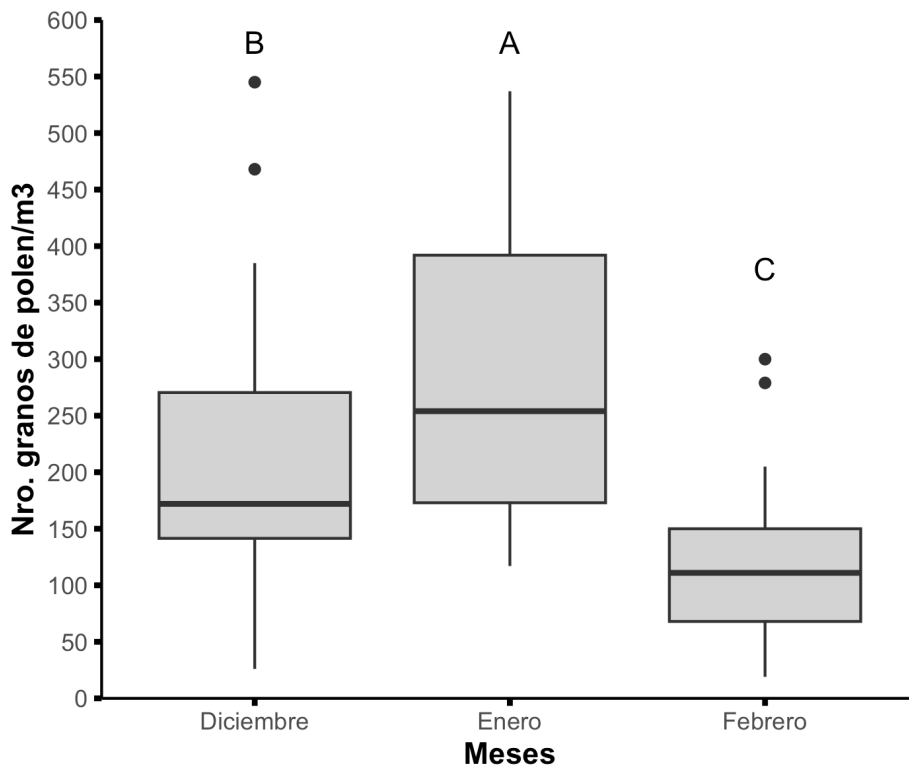
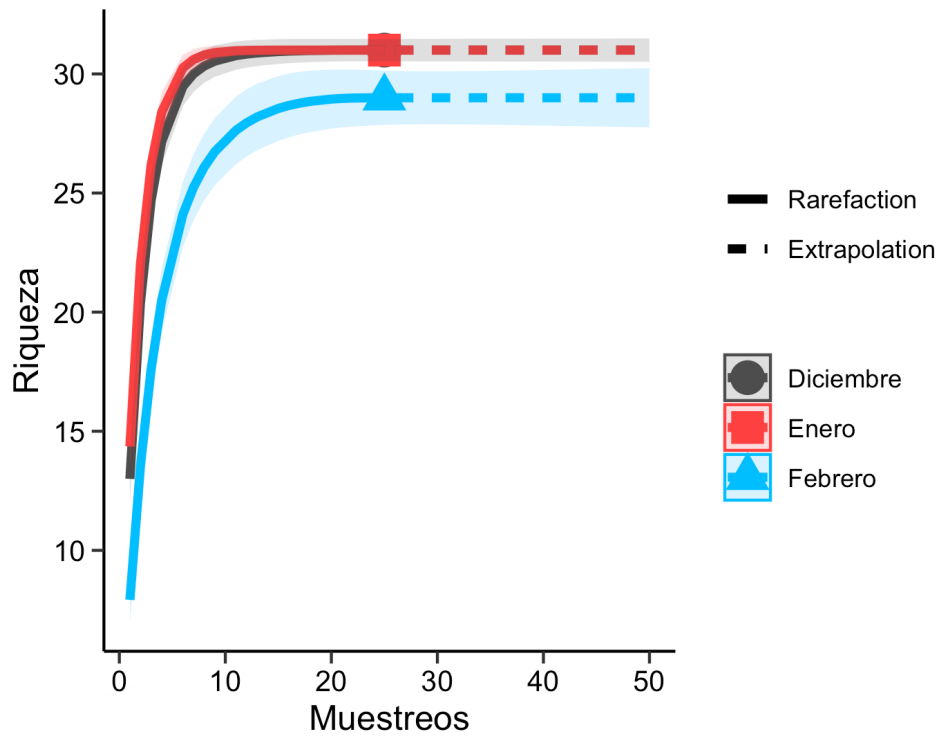


Figura 3. Las curvas de acumulación de la riqueza de especies de cada mes de muestreo. Las bandas de cada curva corresponden a los intervalos de confianza calculados al 95%.



índice de Shannon del mes de diciembre fue 2.215, el de enero 2.465 y el de febrero 2.254.

Por otro lado, el índice de similitud de Sorensen, muestra una similitud entre los meses de diciembre y enero del 86%, en cuanto a diciembre y febrero fueron los meses con menor similitud, descendiendo a un 80%, mientras los meses de enero y febrero tuvieron una similitud del 89% entre sí.

Según los resultados también se pudo observar que algunas plantas iniciaron su época de floración antes y durante el mes de diciembre. Y los tipos de polen que se registraron en el mes de diciembre fueron pertenecientes a 24 familias de plantas

(Figura 4A).

Las familias dominantes durante este mes, fueron Betulaceae y Msp1. Mientras que en el mes de enero se registró 20 familias (Figura 4B).

Y en el mes de febrero solo se registraron 18 familias (Figura 4C). Por lo tanto, durante los tres meses las familias dominantes fueron Asteraceae, Msp1, Cupressaceae, Betulaceae, Pinaceae y Poaceae. Todas estas especies según varios estudios son familias de polen con potencial alergénico mostrando efectos negativos sobre la salud humana, al mismo tiempo, todas ellas están descritas como familias que se caracterizan por polinización anemófila (Tabla 1).

Figura 4. Número de granos de polen por familias de plantas de diciembre de 2019 (A), enero del 2020 (B) y febrero del 2020 (C).

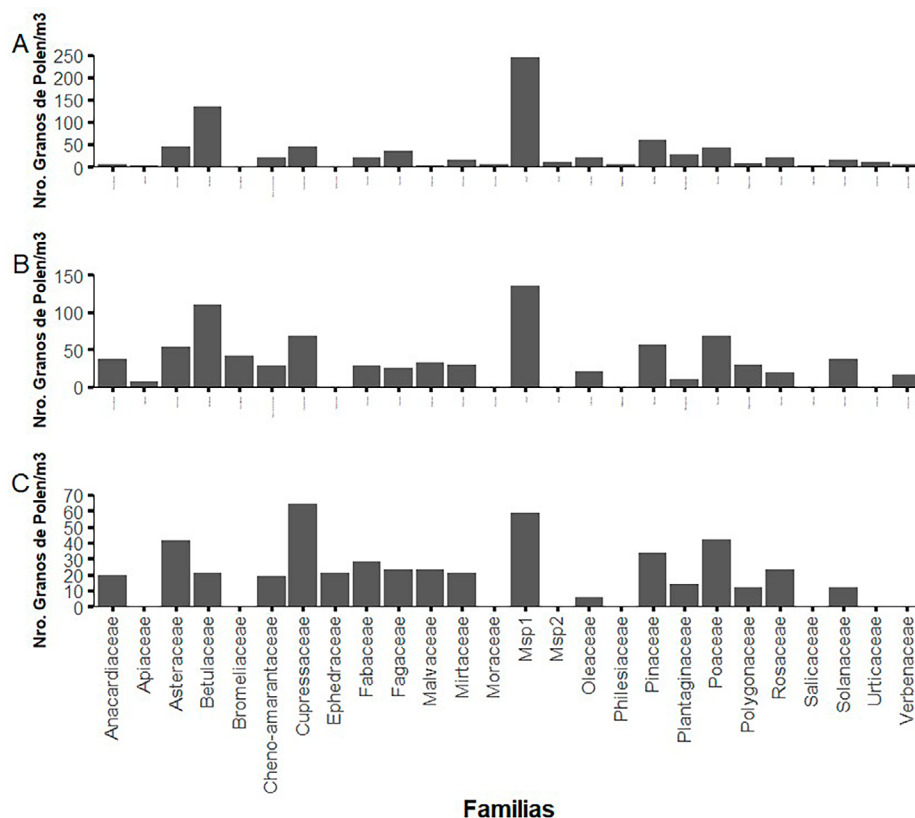


Tabla 1. Registro de especies y familias de plantas con potencial polen alérgico en previas investigaciones.

Familia	Nombre común	Especies alergenas	Cita bibliográfica
Betulaceae	Avellano Aliso Abedul	<i>Corylus avellana</i> <i>Alnus Glutinosa</i> <i>Betula pubescens</i>	
Cupressaceae	Arizona Enebro y sabinas	<i>Cupressus arizona</i> <i>Juniperus sp.</i>	
Asteraceae	Diente de león Artemisia	<i>Taraxacum officinale</i> <i>Artemisia vulgaris</i>	(Belmonte & Roure 2002, Aloisi et al 2019; Žiarovská et al 2019, Zemmer et al. 2022, An et a. 2023, Lei et al 2023)
Poaceae		<i>Dactylis glomerata</i> <i>Lolium perenne</i> <i>Phleum pratense</i> <i>Poa pratensis</i>	
Pinaceae	Pino	<i>Pinus sp.</i>	
Urticaceae			
Chenopodiaceae			

Factores meteorológicos, contaminante atmosférico y la concentración polínica

Se observaron diferentes efectos significativos de los factores (precipitación, temperatura, humedad, viento y PM10) sobre la concentración polínica en el aire (Tabla 2). Donde la precipitación mostró tener un efecto negativo significativo (AIC = 7190.3, z-value = -6.987, p= 2.81e-12) en relación a la abundancia de granos de polen.

Por lo que se observa mayor abundancia de granos de polen en el aire, en los días con menor cantidad de lluvia, manteniendo abundancias mínimas durante los días con alta precipitación.

La temperatura máxima también tuvo un efecto significativo positivo (AIC = 7190.3, z-value = 3.080, p= 0.002067) sobre la abundancia de polen y la temperatura mínima muestra un efecto positivo (AIC = 7190.3, z-value = 3.009, p= 0.002621) sobre la abundancia de polen. La temperatura media tuvo un efecto significativo negativo (AIC = 7190.3, z-value = -2.888, p = 0.003875) sobre la abundancia de polen que se encuentran en el aire.

La humedad relativa máxima tuvo un efecto positivo significativo (AIC = 4993.2, z-value = 3.376, p-value = 0.000736), al igual que la velocidad de viento media (AIC = 4993.2, z-value = 18.756, p-value = $< 2e-16$) sobre la abundancia de granos de polen.

La velocidad máxima del viento es otra variable ambiental que tuvo un efecto negativo significativo sobre la abundancia de polen (AIC = 4993.2, z-value = -15.541, p-value = $< 2e-16$).

Finalmente, el efecto del material particulado (PM10) sobre la concentración de polen es negativo significativo (AIC:7190.3; z-value=-3.330; p-value=0.000868), las concentraciones de polen fueron condicionadas por este factor, ya que en días con mucha contaminación atmosférica por parte del PM10 la abundancia de polen en el aire fue menor, disminuyendo el número de polen en el aire.

Además, el valor del criterio de Akaike (AIC) selecciono al modelo con las variables, que mejor hacen las predicciones del mismo.

Tabla 2. Efectos de los factores meteorológicos y el contaminante atmosférico sobre la abundancia de los granos de polen por m³ de aire (p < 0.05).

Factores meteorológicos y el contaminante atmosférico	AIC	z-value	p-value
<i>Precipitación (mm/hr)</i>	7190.3	-6987	2.81e-12 ***
<i>Temperatura máxima (°C)</i>		3080	0.002067 **
<i>Temperatura mínima (°C)</i>		3009	0.002621 **
<i>Temperatura media (°C)</i>		-2888	0.003875 **
<i>Humedad relativa máxima (%)</i>	4993.2	3376	0.000736 ***
<i>Velocidad viento media (km/hr)</i>		18756	$< 2e-16$ ***
<i>Velocidad viento máxima (km/hr)</i>		-15541	$< 2e-16$ ***
<i>Material Particulado PM10 (ug/m³)</i>	7190.3	-3330	0.000868 ***

Periodo de floración y dinámica del polen de las familias dominantes

Betulaceae

La temporada de floración de las plantas pertenecientes a la familia Betulaceae iniciaron antes del inicio del mes de diciembre, ya que el día 1 de este mes ya se registraron 43 granos de polen por m³ de aire, lo cual según la Asociación española de Aerobiología es un número promedio diario.

Este periodo de liberación de polen duró desde el 6 de diciembre 2019 hasta el 23 de enero del 2020, donde a finales de enero el número de granos de polen por día llegó a 20 granos de polen por m³ de aire.

Poaceae

El periodo de liberación de polen de la familia Poaceae, inició antes del mes de diciembre subiendo su abundancia de polen, a mediados del mes de enero y decreciendo a finales del mismo mes. El número mínimo fue de 4 y un máximo de 69 granos de polen por m³ de aire, según la asociación española de Aerobiología el número de granos de polen registrados son considerados altos para este tipo de polen.

Asteraceae

Las plantas de la familia Asteraceae en su mayoría son inflorescencias, formando una gran parte de las plantas ornamentales de la ciudad de Sucre.

La dinámica del polen en esta familia fue similar a la de la familia Poaceae, teniendo abundancias altas a mediados del mes de enero y a finales del mes de febrero aún se mantenía alta la abundancia de polen de esta familia, con más de 20 granos de polen por m³ de aire.

Cupressaceae

La familia Cupressaceae, es conformada por

una mayoría de especies arbóreas, el periodo de polinización de polen al igual que las anteriores ya inicio su periodo de floración antes de los meses de estudio y se mantiene abundante a lo largo de los tres meses de muestreo.

Pinaceae

La abundancia de polen de la familia Pinaceae en el mes de enero fue de menos de 20 granos de polen por m³ de aire lo cual es un valor relativamente bajo, pero durante los meses de enero y febrero estas abundancias se incrementaron a 40 y 50 granos de polen por m³.

Morfoespecie (Msp1)

Una morfoespecie (Msp1) no logró ser identificado, sin embargo, se constituyó en un tipo de polen que fue el más abundante y constante en comparación a las anteriores familias que a mediados de diciembre llego aún pico máximo de 250 granos de polen diario, que fue decreciendo desde finales de diciembre hasta finales de febrero.

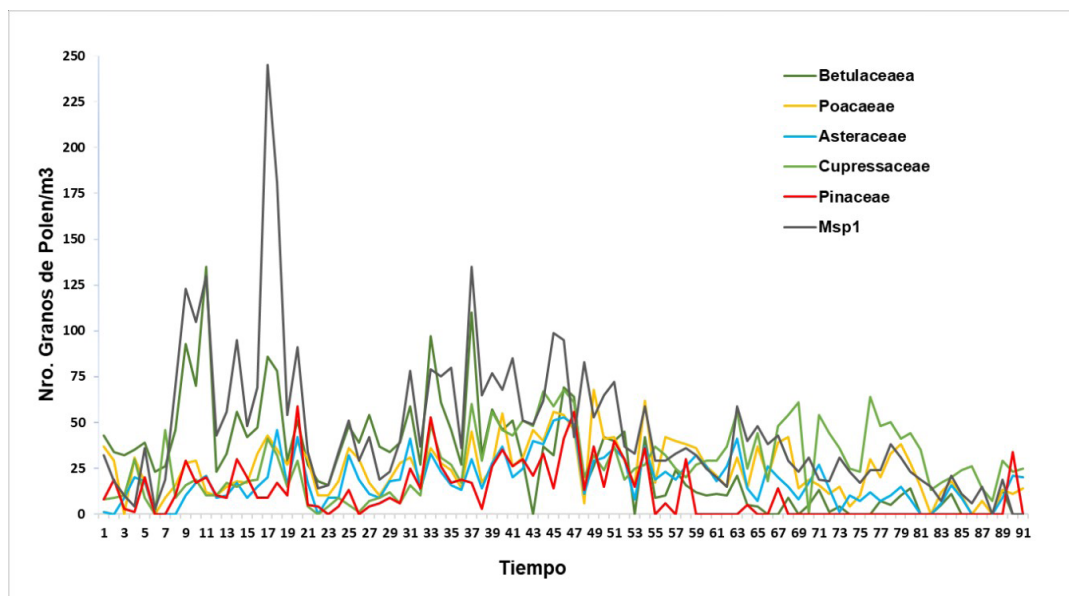
Discusión

En el presente estudio se logró registrar que el mes con mayor abundancia de polen suspendido en el aire, fue el mes de enero de 2020, sin embargo, la diversidad de polen fue similar a lo largo de los tres meses de muestreo.

La abundancia en el mes de enero puede estar posiblemente relacionado con el hecho de corresponder al mes más húmedo del año y, por lo tanto, se sugiere que fue la variable que favorece más a la floración de plantas, así como se registró en una investigación reciente (Ajikah et al. 2023).

A su vez, se logró identificar un total de 24 familias de plantas en relación al polen colectado a lo largo del muestreo, las cuales pertenecen a distintos tipos de polinización como: la anemofilia, la polinización por un agente polinizador y la

Figura 5. Periodo de floración y polinización de las plantas pertenecientes a las familias dominantes durante los meses de estudio.



polinización mixta (Lu et al. 2022; Budumajji & Solomo 2018).

Once familias de plantas del polen colectado en los meses de muestreo ha sido descrito con características que son asociadas a la polinización por el viento (Timerman & Barrett 2019). Diez familias se caracterizan por tener una polinización por un agente polinizador (i.e. insectos, aves, murciélagos y otros) (Toon et al. 2020).

Finalmente, también se registraron granos de polen de cuatro familias de plantas con patrones de polinización mixta, es decir, que son polinizadas por insectos, aves, otros animales y viento (Timerman & Barrett 2019; Toon et al. 2020).

Esto nos demuestra que el polen suspendido en el aire no pertenece de forma exclusiva a familias de plantas anemófilas y que puede existir una variedad de tipos de polen circulando en la atmósfera. Según Haselhorst, et al. (2020), esto podría vincularse con la abundancia de individuos que son utilizados como plantas ornamentales y que se encuentran en áreas verdes próximas al equipo de muestreo.

En relación al efecto de factores meteorológicos, los mismos mostraron diferentes asociaciones con la

abundancia total del polen, que también mostraron similares patrones en otras investigaciones, por ejemplo, la precipitación (-) (Demir et al. 2021). La precipitación puede tener un efecto negativo en la abundancia de polen debido a que las lluvias lavan la atmósfera (Wang et al. 2012). Además, también se sabe que las lluvias continuas llegan a detener los procesos biológicos de las plantas como la antesis, lo que disminuye la abundancia polínica diaria (Kluska et al. 2020).

Además, la temperatura máxima (+) tuvo un efecto significativo positivo sobre la abundancia de polen, es decir temperaturas elevadas. El efecto de la temperatura podría estar relacionado con el hecho de que existen familias de plantas que precisan condiciones de altas temperaturas para la liberación del polen de sus flores (Navarro 2011, Ślusarczyk et al. 2022, An et al. 2023).

Según, Shivanna & Johri (1985), las temperaturas altas podrían ayudar a la germinación del polen. Por otro lado, en condiciones de humedad relativa máxima, la abundancia de polen disminuye cuando la humedad incrementa, otras investigaciones asociaron las condiciones tienen alta humedad relativa con las precipitaciones que igual muestra

una disminución de polen en la atmosfera (Rosianu et al. 2022; An et al. 2023).

La velocidad del viento máxima mostró tener un efecto negativo sobre la abundancia del polen (-), este caso se ha demostrado en algunas investigaciones (Ślusarczyk et al. 2022). Aunque, otras investigaciones registraron que en condiciones de alta velocidad del viento se encuentra un incremento en la abundancia de polen y este favorece el desplazamiento a otras regiones (Alan et al 2018, Demir et al. 2021).

Finalmente, la contaminación atmosférica tomada en cuenta como material particulado (PM10) tuvo un efecto negativo (-) sobre la abundancia total de polen captado del aire, Rosianu et al. (2022), sugiere que la contaminación de polen anemófilo por material particulado puede afectar aerodinámica del polen anemófilo. Por otra parte, el viento puede ser un factor que disminuye la concentración de los contaminantes atmosféricos en el aire como se ha descrito en previas investigaciones (Olszowski, 2016; Rosianu et al. 2022).

Las familias de plantas anemófilas (i.e. Betulaceae, Poaceae, Cupressaceae, Pinaceae, Urticaceae, Chenopodiaceae) cuentan con un reconocido potencial alergénico (Aloisi et al 2019; Žiarovská et al 2019, Zemmer et al. 2022, An et al. 2023, Lei et al. 2023).

En el presente estudio logramos notar que miembros de las familias previamente mencionadas tienen una alta cantidad de polen en la atmosfera en distintos puntos de los meses donde se realizó el muestreo de polen suspendido, lo cual nos permite sugerir que en las fechas que se realizó el muestreo puede haber un incremento en los casos de alergia por polen en la ciudad, realizar un control mediante este método nos puede ayudar a predecir épocas con mayor riesgo de sufrir patologías asociadas a alergias producidas por el polen alergénico.

Los resultados obtenidos representan los primeros estudios Aerobiológicos para la ciudad de Sucre. Sin embargo, sugerimos realizar estudios

a largo plazo con el polen que se encuentra suspendido en el aire ya que nos permite determinar por adelantado patrones que pueden ser útiles para diferentes aspectos como la comprensión de los patrones de floración de familias anemófilas, la predicción de épocas con mayor riesgo de incidencia de enfermedades asociadas a alergias producidas por el polen, al igual que profundizar acerca de los efectos puntuales que tiene la contaminación sobre el ciclo reproductivo de las plantas.

Agradecimientos

Agradecemos al proyecto BOL-01 del IPICS y al Laboratorio de Ecología Química (LEQ) de la Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca por el apoyo financiero para el desarrollo de esta investigación.

Bibliografía

- Abud-Sierra, L., & Latorre, F. (2020). Diversidad, abundancia y estacionalidad del polen alergénico en la atmósfera de Mar del Plata (Argentina). *Boletín de La Sociedad Argentina de Botánica*, 55(1), 3–21. [doi:10.31055/1851.2372.v55.n1.230](https://doi.org/10.31055/1851.2372.v55.n1.230)
- Ahmadi, F., ValizadehKaji, B. & Abbasifar, A. (2019). The Effect of Air Pollution on Developmental Stages and Pollen Germination, Pollen Tube Growth and Fruit Set of the Apple Cultivars ‘Golden Delicious’ and ‘Golab’. *Gesunde Pflanzen*, 71, 237–247. <https://doi.org/10.1007/s10343-019-00468-4>
- Ajikhah, L. B., Roffe, S. J., Neumann, F. H., Bamford, M. K., Esterhuizen, N., Berman, D., & Peter, J. (2023). Meteorological influences on airborne pollen and spores in Johannesburg (Gauteng), South Africa. *Aerobiologia*, 39(3), 363–388.
- Alan, Ş., Şahin, A. A., Sarışahin, T., Şahin, S., Kaplan, A., & Pınar, N. M. (2018). The effect of geographical and climatic properties on grass

pollen and Phl p 5 allergen release. *International Journal of Biometeorology*, 62(7), 1325–337. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1536-0>

Aloisi, I., Del Duca, S., De Nuntiis, P., Mandrioli, P. and Fernández-González, D. (2019). Comparison of extraction methods for Poaceae pollen allergens. *Aerobiologia*, 35(1), 195-200. <https://doi.org/10.1007/s10453-018-9538-2>

An, Y., Ouyang, Y., & Zhang, L. (2023). Impact of airborne pollen concentration and meteorological factors on the number of outpatients with allergic rhinitis. *World Allergy Organization Journal*, 16(4), 100762.

Basak, T., Chakraborty, A., & Bhattacharya, K. (2019). Identification of airborne pollen allergens from two avenue trees of India. *International journal of environmental health research*, 29(4), 414-429. DOI: 10.1080/09603123.2018.1546836

Belmonte-Soler, J., & Roure J.M. (2002). "Introducción. Valero-Santiago AL, Cadahía García A (Eds). *Polinosis polen y alergia*. España. MRA ediciones, 7-16.

Benitez-Vieyra, S., Pérez-Alquicira, J., Sazatornil, F. D., Domínguez, C. A., Boege, K., Pérez-Ishiwara, R., & Fornoni, J. (2019). Evolutionary transition between bee- and hummingbird-pollination in *Salvia*: comparing means, variances and covariances of corolla traits. *Journal of Evolutionary Biology*, 32(8), 783-793. <https://doi.org/uchile.idm.oclc.org/10.1111/jeb.13480>

Bergamin, R. S., Seger, G. D., Carlucci, M. B., Molz, M., Mello, R. S., Martins, R. & Duarte, L. D. (2021). Elevational shifts in phylogenetic diversity of angiosperm trees across the subtropical Brazilian Atlantic Forest. *Austral Ecology*, 46(3), 486-495.

Budumajji, U., & Solomon Raju, A. J. (2018). Pollination ecology of *Bidens pilosa* L. (Asteraceae). *Taiwania*, 63(2).

Bychkova, O. V., & Khlebova, L. P. (2019). Effects of air temperature, humidity and air pollution on fertility of birch pollen in urban environments. *Ukrainian Journal of Ecology*, 9(3).

Chao A, Gotelli NJ, Hsieh TC, Sander EL, Ma KH, Colwell RK, Ellison AM. (2014). Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecol Monogr*. <https://doi.org/10.1890/13-0133.1>. Return to ref 48 in article

Chao A, Ma KH, Hsieh TC (2016). User's guide for iNEXT online: software for interpolation and extrapolation of species diversity. *Inst Stat*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25777.79200>.

Charpin, D., & Poncet, P. (2019). Allergie au pollen de cyprès. *Revue Française d'Allergologie*, 59(8), 584-591.

Choël, M., & Visez, N. (2019). Altérations du grain de pollen par la pollution atmosphérique. *Revue Française d'Allergologie*. <https://doi.org/10.1016/j.reval.2019.10.003>

Demir, C., Özler, H., & Kaplan, A. (2021). Effects of meteorological factors on pollen flora in the atmosphere of Sinop (Turkey). *Bangladesh Journal of Botany*, 50, 147-157.

Domingos-Melo, A., Bezerra, S. M. D. S., Nadia, T. D. L., & Machado, I. C. (2020). The dark side of the rain: self-pollination setbacks due to water exposure in *Pavonia varians* Moric (Malvaceae), a species with rain-dependent flowering. *Acta Botanica Brasilica*, 34, 437-441.

di Bucchianico, A. D. M., Brighetti, M. A., Cattani, G., Costa, C., Cusano, M., De Gironimo, V., ... & Tripodi, S. (2019). Combined effects of air pollution and allergens in the city of Rome. *Urban forestry & urban greening*, 37, 13-23.

Estève, R. S., Baisnée, D., Guinot, B., Petit, J.-E., Sodeau, J., O'Connor, D., ... Gros, V. (2018). Temporal Variability and Geographical Origins of Airborne Pollen Grains Concentrations from 2015 to 2018 at Saclay, France. *Remote Sensing*, 10(12), 1932. DOI:10.3390/rs10121932

Galveias, A., Costa, A. R., Bortoli, D., Alpizar-Jara, R., Salgado, R., Costa, M. J., & Antunes, C. M. (2021). Cupressaceae Pollen in the City of Évora, South of Portugal: Disruption of the Pollen during Air Transport Facilitates Allergen Exposure.

Forests, 12(1), 64. <https://doi.org/10.3390/f12010064>

Gross, L., Weber, R., Wolf, M., & Crooks, J. L. (2019). The Impact of Weather and Climate on Pollen Concentrations in Denver Colorado, 2010-2018. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*. DOI:10.1016/j.anai.2019.08.002

Gregory, P. H. (1973). *The Microbiology of the Atmosphere*. Ed. Leonard Hill. Plymouth.

Haselhorst, D. S., Moreno, J. E., & Punyasena, S. W. (2020). Assessing the influence of vegetation structure and phenological variability on pollen-vegetation relationships using a 15-year Neotropical pollen rain record. *Journal of Vegetation Science*, 31(4), 606-615. <https://doi.org/10.1111/jvs.12897>

Hirst, J. (1952). An automatic volumetric spore trap. *Annals of applied Biology*, 39(2), 257-265. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1952.tb00904.x>

Hsieh TC, Ma KH, Chao A (2016). iNEXT: an R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). *Methods Ecol Evol*. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12613>.

Kafashan, H. A., Khosravi, A. R., Alyasin, S., Sepahi, N., Kannejad, Z., Shirazi, F. M. A. Z., & Karami, S. (2021). Airborne Pollens and Their Association with Meteorological Parameters in the Atmosphere of Shiraz, Southwest Iran. *Iranian Journal of Allergy, Asthma and Immunology*, 20(3):294-302. DOI: 10.18502/ijaa.v20i3.6332

Kluska, K., Piotrowicz, K., & Kasprzyk, I. (2020). The impact of rainfall on the diurnal patterns of atmospheric pollen concentrations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 291, 108042. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108042>

Lei, Y., Miao, Y., Zhao, Y., Zhang, S., Cao, H., Lan, X., ... & Jin, H. (2023). The effects of meteorological conditions on allergenic airborne pollen in arid Northwest China. *Atmospheric Environment*, 299, 119647.

Liu, Z., Lin, S., Shi, J., Yu, J., Zhu, L., Yang, X., Zhang, D. & Liang, W. (2017). Rice No Pollen 1 (NP 1) is required for anther cuticle formation

and pollen exine patterning. *The Plant Journal*, 91(2), 263-277. <https://doi-org.uchile.idm.oclc.org/10.1111/tpj.13561>

Noori, M., Baghaeifar, Z., Chehregani, A., & Faraki, F. (2018). Seeds characters, pollen fertility and flavonoids of ten Brassicaceae collected near a kilns thermal power plant for air pollution bioindication. *Nusantara Bioscience*, 10(2), 96-104. <https://doi.org/10.13057/nusbiosci/n100206>

Navarro, G. (2011) *Clasificación de la vegetación de Bolivia*. Centro de Ecología. Difusión Simon I. Patiño. Santa Cruz Bolivia.

Monroy-Colín, A., Maya-Manzano, J. M., Tormo-Molina, R., Pecero-Casimiro, R., Gonzalo-Garijo, M. Á., & Fernández-Rodríguez, S. (2020). HYSPLIT as an environmental impact assessment tool to study the data discrepancies between *Olea europaea* airborne pollen records and its phenology in SW Spain. *Urban Forestry & Urban Greening*, 126715. DOI: 10.1016/j.ufug.2020.126715

Olszowski, T. (2016). Changes in PM 10 concentration due to large-scale rainfall. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(2), 160. <https://doi.org/10.1007/s12517-015-2163-2>

Rahman, A., Luo, C., Khan, M. H. R., Ke, J., Thilakanayaka, V., & Kumar, S. (2019). Influence of atmospheric PM2.5, PM10, O3, CO, NO2, SO2, and meteorological factors on the concentration of airborne pollen in Guangzhou, China. *Atmospheric Environment*, 212, 290-304.

Plaza, M.P., Alcázar, P., Oteros, J. et al. (2020) Atmospheric pollutants and their association with olive and grass aeroallergen concentrations in Córdoba (Spain). *Environ Sci Pollut Res* 27, 45447-45459. <https://doi-org.uchile.idm.oclc.org/10.1007/s11356-020-10422-x>

Rosianu, A. M., Leru, P. M., Stefan, S., Iorga, G., & Marmureanu, L. (2022). Six-Year Monitoring of Atmospheric Pollen and Major Air Pollutant Concentrations in Relation with Meteorological Factors in Bucharest, Romania. *Rom. Rep. Phys*, 74, 703.

Ščevková, J., Vašková, Z., Sepšiová, R., Dušička,

J., & Kováč, J. (2020). Relationship between Poaceae pollen and Phl p 5 allergen concentrations and the impact of weather variables and air pollutants on their levels in the atmosphere. *Heliyon*, 6(7), e04421.

Shivanna, K. R., & Johri, B. M. (1985). *The angiosperm pollen: structure and function*. Wiley Eastern.

Ślusarczyk J., Kopacz-Bednarska A., & Posłowska J. (2022). Influence of meteorological factors on the dynamics of hazel, alder, birch and poplar pollen in the 2021 season in Kielce, Poland. *Ann Agric Environ Med*, 29(4): 502–512. doi: 10.26444/aaem/152837

Soares, C. J., Sampaio, M. B., Santos-Filho, F. S., Martins, F. R., & dos Santos, F. A. (2019). Patterns of species diversity in different spatial scales and spatial heterogeneity on beta diversity. *Acta Botanica Brasílica*, 34, 9-16.

Timerman, D., & Barrett, S. C. (2019). Comparative analysis of pollen release biomechanics in *Thalictrum*: implications for evolutionary transitions between animal and wind pollination. *New Phytologist*, 224(3), 1121-1132. <https://doi.org/10.1111/nph.15978>

Toon, A., Terry, L. I., Tang, W., Walter, G. H., & Cook, L. G. (2020). Insect pollination of cycads. *Austral Ecology*, 45(8), 1033-1058.

Wang, Q., Nakamura, S., Lu, S., Xiu, G., Nakajima, D., Suzuki, M., Sakamoto K. & Miwa, M. (2012). Release behavior of small sized daughter allergens from *Cryptomeria japonica* pollen grains during urban rainfall event. *Aerobiologia*, 28(1), 71-81.

Velasco-Jiménez, M. J., Alcázar, P., Valenzuela, L. R., Gharbi, D., Díaz de la Guardia, C., & Galán, C. (2018). Pinus pollen season trend in South Spain. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 152(4), 657-665. <https://doi-org.uchile.idm.oclc.org/10.1080/11263504.2017.1311962>

Žiarovská, J., Urbanová, L., Fernández-Cusimamani, E., Ražná, K. & Labajová, M. (2019). Variability in expression profiles of Betulaceae spring pollen allergens in Central Europe region. *Biologia*, 76(8), 2349–2358. <https://doi.org/10.1007/s11756-021-00744-7>

Zemmer, F., Dahl, Å., & Galán, C. (2022). The duration and severity of the allergenic pollen season in Istanbul, and the role of meteorological factors. *Aerobiologia*, 38(2), 195-215.