



**universidad  
de león**



**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES**

**LA EFICIENCIA DE LOS POLINIZADORES EN EL  
CAMPUS DE VEGAZANA  
POLLINATORS EFFICIENCY IN THE VEGAZANA  
CAMPUS**

**Autor: Ana Abad Reguera**

Co-Tutora: Victoria Ferrero Vaquero

Co-Tutor: Saúl Manzano Rodríguez

**GRADO EN BIOLOGÍA**

**Julio, 2023**

# ÍNDICE

RESUMEN.....	3
INTRODUCCIÓN .....	4
OBJETIVOS.....	6
MATERIALES Y MÉTODOS .....	7
ÁREA DE ESTUDIO.....	7
DISEÑO EXPERIMENTAL.....	7
METODOLOGÍA DE CONTEO .....	9
TRATAMIENTO DE DATOS.....	10
RESULTADOS.....	10
DISCUSIÓN.....	16
EFICIENCIA SEGÚN LAS FAMILIAS DE PLANTAS .....	17
EFICIENCIA ATENDIENDO AL GRUPO FUNCIONAL DE INSECTO.....	18
EFICIENCIA SEGÚN LA PARTE DEL CUERPO DEL POLINIZADOR .....	19
RED DE POLINIZACIÓN BASADA EN EFICIENCIA.....	19
LIMITACIONES DEL TRABAJO .....	20
CONCLUSIONES .....	21
BIBLIOGRAFÍA.....	21
ANEXO I. POLEN OBSERVADO	
ANEXO II. TABLAS CON LOS DATOS DE LA CARGA POLÍNICA	

## RESUMEN

La polinización se produce a través de una relación mutualista entre polinizadores y plantas, este proceso también sucede en los ambientes urbanos, pero los polinizadores están en declive. Una herramienta para evitarlo es el estudio detallado de la polinización, por ello, este estudio investiga la eficiencia de los polinizadores y el flujo de polen en el campus de Vegazana. Como medida de eficiencia se utilizó la carga polínica que porta cada grupo funcional de insectos para cada familia de plantas, contando los granos de polen de cada familia que portaban los insectos conservados en preparaciones realizadas con glicerogelatina teñida con fucsina básica. Las preparaciones se realizaron en 2 trabajos de fin de grado del año 2022. Para el tratamiento de datos se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis y se obtuvieron resultados significativos. Las familias más transportadas fueron Asteraceae, Brassicaceae, Papaveraceae y Fabaceae, el grupo funcional con más carga polínica fue "Andrena", en parte por incluir insectos con pilosidad, y la parte del cuerpo con más polen fue el tórax. Además, se concluyó que es útil utilizar medidas de eficiencia para obtener información que se queda fuera de las observaciones.

### **Abstract:**

Pollination occurs through a mutualistic relationship between pollinators and plants. This process also takes place in urban environments, but pollinators are facing decline. A tool to address this issue is the detailed study of pollination. Therefore, this study investigates the efficiency of pollinators and the pollen flow in the Vegazana campus. As a measure of efficiency, the pollen load carried by each functional group of insects for each plant family was examined by counting the pollen grains on insects preserved in preparations made with fuchsine-stained glycerogelatin. The preparations were obtained from two undergraduate projects conducted in 2022. The Kruskal-Wallis test was used for data analysis, yielding significant results. The most transported plant families were Asteraceae, Brassicaceae, Fabaceae and Papaveraceae. The functional group "Andrena" exhibited the highest pollen load, partly due to the presence of hairy insects in the group. The thorax was the body part carrying the greatest abundance of pollen. In conclusion it is relevant use efficiency measurements to gather information that is not captured through direct observations.

**Palabras clave:** Ambiente periurbano, carga polínica, eficiencia, grupo funcional, polen y polinización

**Keywords:** Efficiency, functional groups, peri-urban environment, pollen, pollen load and pollination.

# INTRODUCCIÓN

La polinización es un proceso fundamental que permite la reproducción sexual de las plantas con semillas (Abrol, 2012). Está caracterizado por el transporte de los granos de polen desde los sacos polínicos de las anteras hasta el micropilo de los óvulos en las gimnospermas o el estigma en las angiospermas. Una vez entran en contacto, la fecundación se produce cuando el tubo polínico alcanza el gametofito femenino. Si la polinización ocurre entre las flores de la misma planta se denomina autogamia, pero para favorecer la variabilidad genética dentro de las plantas es necesario que la polinización sea cruzada (alogamia), es decir, ocurra entre flores de distintas plantas (Aguado *et al.*, 2017).

El intercambio de granos de polen entre diferentes individuos puede ocurrir con la ayuda de agentes mediadores, los más comunes son: el agua (polinización hidrófila), el aire (polinización anemófila) y los animales (polinización zoófila). La última es especialmente efectiva a la hora de garantizar la reproducción cruzada y mejorar los resultados de la reproducción, en parte por la gran cantidad de agentes mediadores o polinizadores diferentes que existen, pudiendo ser desde un murciélago hasta una hormiga (Aguado *et al.*, 2017; Bernauer *et al.*, 2009). Esta variedad en los polinizadores, sin duda, conlleva una gran diversidad y complejidad en las relaciones mutualistas que se forman entre ambos organismos. En ellas las plantas proporcionan recursos (recompensa floral) a cambio del transporte de sus granos de polen. Principalmente, las plantas suministran alimento a los polinizadores mediante el polen y el néctar, una sustancia azucarada producida por los nectarios que contiene fructosa, sacarosa y glucosa (Aguado *et al.*, 2017). El grupo principal de polinizadores de las angiospermas son los insectos (Bernauer *et al.*, 2022). Las plantas los atraen a través del olor, color o forma de sus flores, caracteres que son costosos de producir. Pero, esta inversión tiene su recompensa, las flores que atraigan a los insectos de forma más efectiva tendrán un mayor éxito reproductivo (Galletto *et al.*, 2023; Santamaría *et al.*, 2015).

El estudio de la polinización es vital para conocer y mantener la estructura y funcionamiento de los ecosistemas salvajes, así como para sustentar actividades humanas como la agricultura (Abrol, 2012; Rhodes, 2018). No obstante, los ambientes urbanos están ampliamente extendidos en el planeta e incluyen en ellos áreas verdes con vegetación que también requieren de agentes polinizadores. Dentro de estas zonas urbanas han aparecido nuevas oportunidades para los visitantes florales, por ejemplo, la gran cantidad de flores diferentes que se encuentran en jardines y áreas verdes de las ciudades atraen a grupos de

insectos como coleópteros, dípteros o himenópteros porque son una amplia fuente de recursos alimenticios para estos insectos (Daniels *et al.*, 2020; Roguz *et al.*, 2023). Además, las zonas verdes generan también otros recursos como lugares para el anidamiento y de invernada, permitiendo que los polinizadores se reproduzcan y resistan en los ambientes urbanos (Dylewski *et al.*, 2020; Hennig y Ghazoul, 2012). Los espacios verdes públicos (parques, áreas verdes o bordes de carreteras) son, por tanto, parte fundamental de la red planta-polinizador en los ambientes urbanos. Si se potencia la abundancia y diversidad de flores en estos espacios se puede mejorar la robustez de esta red en las ciudades (Baldock *et al.*, 2019).

En la actualidad es conocido el declive de polinizadores que está ocurriendo en nuestro planeta (Rhodes, 2018). Las mayores fuentes de amenaza para los polinizadores son la fragmentación de hábitats, el abuso de pesticidas y la contaminación. Esta última, además, contribuye al cambio climático y en sí misma puede producir un impacto sobre la reproducción de los insectos (Dylewski *et al.*, 2020; LeBuhn y Luna, 2021; Kevan y Viana, 2003). Para paliar este problema es necesario un estudio detallado de la polinización tanto en áreas naturales como en las ciudades, que incluya la descripción de las interacciones insecto-planta y de la eficiencia total y relativa de estos polinizadores, la cual se ve afectada directamente por la disminución de la abundancia de los insectos (Li *et al.*, 2021).

La eficiencia de la polinización se define como la capacidad de un polinizador para transferir eficazmente el polen desde los estambres a los estigmas, para dar como resultado una fertilización y producción de frutos y semillas exitosa (Keys *et al.*, 1995 y Layek *et al.*, 2022). Se divide en dos componentes, el cuantitativo, la frecuencia con la que un polinizador transfiere el polen; y el cualitativo, la eficacia de la transferencia de granos de polen para el éxito reproductivo de las plantas (Rodríguez-Rodríguez *et al.*, 2013). Para medir la eficiencia de la polinización existen muchos métodos, algunos recogidos por Layek *et al.* (2022):

- Producción de frutos o semillas después de la polinización.
- Número de granos de polen depositados en el estigma de una flor por polinizador.
- Comportamiento de los polinizadores, a través del registro del número de flores visitadas, la duración de las visitas o el análisis de la dinámica del flujo de polen, es decir, el movimiento que experimenta este y que puede estimarse, por ejemplo, en las cargas que llevan los vectores polinizadores en su cuerpo.

El último método, el análisis del flujo polínico, es el que se va a usar en este estudio. Para ello hay que tener en cuenta que los dos componentes de la eficiencia de la polinización son independientes, no siempre que un insecto visita frecuentemente una planta está transfiriendo polen, especialmente si no porta en su cuerpo ningún grano de polen perteneciente a dicha planta que se pueda transferir. Por lo tanto, un polinizador puede presentar una frecuencia de visita alta a una planta, pero no contribuir realmente a su polinización (Zych *et al.*, 2013). Por este motivo, para caracterizar la eficiencia de los polinizadores es conveniente tener en cuenta la carga polínica que acarrear, su identidad y las plantas que visitan.

Según Li *et al.* (2021), la eficiencia de la polinización puede estar influenciada por varios factores, entre ellos la abundancia y el comportamiento de los polinizadores, así como los efectos medioambientales. El comportamiento de los polinizadores se refiere a su fidelidad a un grupo de plantas y el tiempo que pasan por flor, lo que influye en la carga polínica que llevan, y puede aumentar la probabilidad de una transferencia de polen exitosa. Además, los efectos medioambientales como la temperatura, humedad y viento pueden afectar el comportamiento del polinizador y la disponibilidad de polen, así como la calidad y cantidad de recursos que hay disponibles (Layek *et al.*, 2022). Las plantas también pueden influir en la eficiencia de la polinización debido a las diferencias en morfologías florales, néctar y recompensa floral que desarrollan. Por ejemplo, una flor especializada para un tipo de insecto que es visitada por otros polinizadores puede ser menos efectiva en su exportación de polen (Layek *et al.*, 2022).

Entender la eficiencia de la polinización y qué le puede afectar es, por tanto, importante para salvaguardar las dinámicas de los sistemas de polinización y determinar las contribuciones relativas de los diferentes polinizadores (Li *et al.*, 2021).

## **OBJETIVOS**

El objetivo de este estudio es describir el flujo de polen que se establece como consecuencia de las interacciones planta-polinizador en una zona periurbana, haciendo hincapié en la eficiencia de los insectos según las distintas plantas que visitan. Para ello, como medida de eficiencia se analiza la carga polínica que transportan cada grupo funcional de insectos de cada familia de plantas.

# MATERIALES Y MÉTODOS

## ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se desarrolló en el campus de Vegazana (42°36'49" N 5°33'30" O) situado en la ciudad de León, al noroeste de España, a una altitud de 836 m. El clima en esta zona se caracteriza, según los servicios climáticos de la AEMET, por tener una



**Figura 1.** Mapa de la ciudad de León, el área de estudio está señalada con un círculo rojo (fuente: Google Earth Pro).

temperatura media de 11,1°C, siendo los meses de más fríos enero y diciembre con 3,2°C y 4,2°C de media respectivamente. Mientras que los meses más cálidos son julio y agosto con 19,8°C y 19,6°C de media respectivamente. De forma general, la media de las temperaturas máximas es 16,7°C y la de las mínimas 5,5°C. En cuanto a las precipitaciones, la media anual se encuentra en 515 mm, los meses con más precipitaciones registradas son octubre, noviembre y diciembre con 61mm, 59 mm y 66 mm, en ese orden, y como es de esperar los más secos son julio y agosto con 19 mm y 23 mm, respectivamente.

La vegetación que aparece en la zona de estudio está recogida en zonas ajardinadas y formada por una pradera plantada y mantenida en forma de césped de *Lolium perenne* L., donde se producen riegos periódicos y siegas regulares. Además, alrededor del campus aparecen ambientes ruderales, formados por solares y descampados, donde el suelo está removido y pueden aparecer escombros. Las comunidades vegetales que se asientan en este tipo de ambientes suelen estar formadas por plantas herbáceas con un ciclo de vida anual o bianual, de pequeño porte. Se trata de una zona urbana, muy modificada y transitada por el hombre.

## DISEÑO EXPERIMENTAL

Las muestras analizadas en este trabajo fueron obtenidas en el marco de otros dos trabajos de fin de grado realizados en la primavera de 2022. En dichos estudios se registraron las interacciones insecto-planta, y se realizaron capturas de los insectos y recogida de las plantas presentes en el campus para su posterior identificación. Las plantas se depositaron en el

herbario LEB Jaime Andrés Rodríguez y los insectos están depositados en la colección particular de la Profa. Dra. Victoria Ferrero (Alzórriz Sancha, 2022; Pi Vallina, 2022).

En el contexto de dichos trabajos se recolectó el polen adherido a los insectos sobre diferentes partes de su cuerpo, separando por individuo la carga polínica de la probóscide, la de la cabeza (por la zona dorsal y ventral) y la del tórax. Para hacerlo se limpiaron las partes indicadas utilizando pequeños bloques de glicerogelatina teñida con fucsina básica (Alzórriz Sancha, 2022). Esta gelatina con polen se depositó en un portaobjetos, fundió y se selló con un cubreobjetos y parafina en caliente (Alzórriz Sancha, 2022). Las muestras de polen se encuentran depositadas en la palinoteca de la Profa. Dra. Victoria Ferrero.

En cuanto a los insectos capturados se clasificaron basándose en características morfológicas comunes, que tienen influencia en la forma que utilizan para polinizar las flores, así como comportamientos similares a la hora de aproximarse a las plantas (Alzórriz Sancha, 2022; Pi Vallina, 2022). Se diferenciaron 6 grupos funcionales:

- Grupo “ANDRENA”: incluye a las abejas solitarias grandes y con pilosidad incluidas en los taxones *Andrena* Fabricius, 1775, *Osmia* Panzer, 1806, *Antophora* Latreille, 1803 y *Apis mellífera* Linneo, 1758, aunque esta no es solitaria.
- Grupo “LASIOGLOSSUM”: incluye a los individuos pertenecientes al género *Lasioglossum* Curtis, 1833, que son de reducido tamaño y cuentan con escasa vellosidad.
- Grupo “COLEOPTERA”: incluye a todos los coleópteros y al único hemíptero capturado.
- Grupo “SYRPHIDAE”: incluye a todos los sírfidos, aquellos dípteros con apariencia de abeja o avispa.
- Grupo “OTROS DIPTERA”: incluye a todos los dípteros excepto a los sírfidos.
- Grupo “HALICTUS Y ANTHIDIUM”: incluye a todos los individuos pertenecientes a los géneros *Halictus* Latreille, 1804 y *Anthidium* Fabricius, 1804, estos tienen escasa pilosidad y son de tamaño intermedio entre los componentes del grupo “ANDRENA” y los de “LASIOGLOSSUM”.



Los grupos funcionales más representados en el muestreo fueron “Coleóptera” y “Lasioglossum”, con 9 individuos cada uno, seguidos de “Andrena”, con 7 individuos, y el resto incluían entre 4 y 5 individuos (Tabla 1).

**Tabla 1.** Resumen del número de individuos que se capturaron por grupo funcional.

<b>Grupos Funcionales</b>	<b>Nº Individuos</b>
“Andrena”	7
“Coleoptera”	9
“Halictus y Anthidium”	5
“Lasioglossum”	9
“Syrphidae”	4
“Otros Diptera”	5
Total	38

## **METODOLOGÍA DE CONTEO**

Para identificar las cargas de polen se utilizó un microscopio óptico de luz transmitida en campo claro marca Motic. Se realizó un barrido detallado de cada preparación para el recuento total de granos de polen a identificación del polen se realizó con la ayuda del manual “Sampling and identifying allergenic pollens and molds” (Smith, 2000). Para determinar las familias se tuvieron en cuenta las siguientes características generales (ver Anexo I. Figuras 1, 2 y 3):

- Familia Asteraceae: polen tricolporado y equinado.
- Familia Brassicaceae: polen tricolpado, reticulado, con la exina columnelada. Presentan un retículo homobrochado de lúmenes abiertos sobre la membrana del colpo.
- Familia Papaveraceae: polen tricolpado, con ornamentación escábrida, y aperturas de margen serrado.
- Familia Fabaceae: polen tricolporado, con poros lalongados o lolongados sin constricción medial de contorno más o menos cuadrada.

- Familia Plantaginaceae: polen poliporado, generalmente con 8 o más poros anulados y ornamentación gruesamente verrucada.
- Familia Boraginaceae: polen tricolporado, iso o anisopolares, sin crestas ecuatoriales de contorno araquiforme en visión ecuatorial o bien, anisopolares y piriformes y entonces tricolporados con el poro desplazado hacia el polo más ancho.
- Familia Geraniaceae: polen tricolpado, con una ornamentación suprareticulada que se hace evidente sobre patentes columelas y una apariencia más robusta que los de la familia Brassicaceae.
- Familia Malvaceae: polen poliporado, larga y profusamente equinado y de un tamaño superior a 75 micras.

## TRATAMIENTO DE DATOS

Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para comprobar si los datos siguen una distribución normal. Como no fue así, se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis para analizar si existían diferencias significativas en la carga polínica entre las diferentes partes del cuerpo de los insectos, las familias de plantas y los distintos grupos funcionales. Para llevar a cabo el análisis estadístico se utilizó el software R-Studio, la versión 2023.03.1+446. Los paquetes dplyr y ggplot2 se usaron para las gráficas (Wickham, 2016; Wickham *et al.*, 2023) y el paquete bipartite para la red (Dorman *et al.*, 2009)

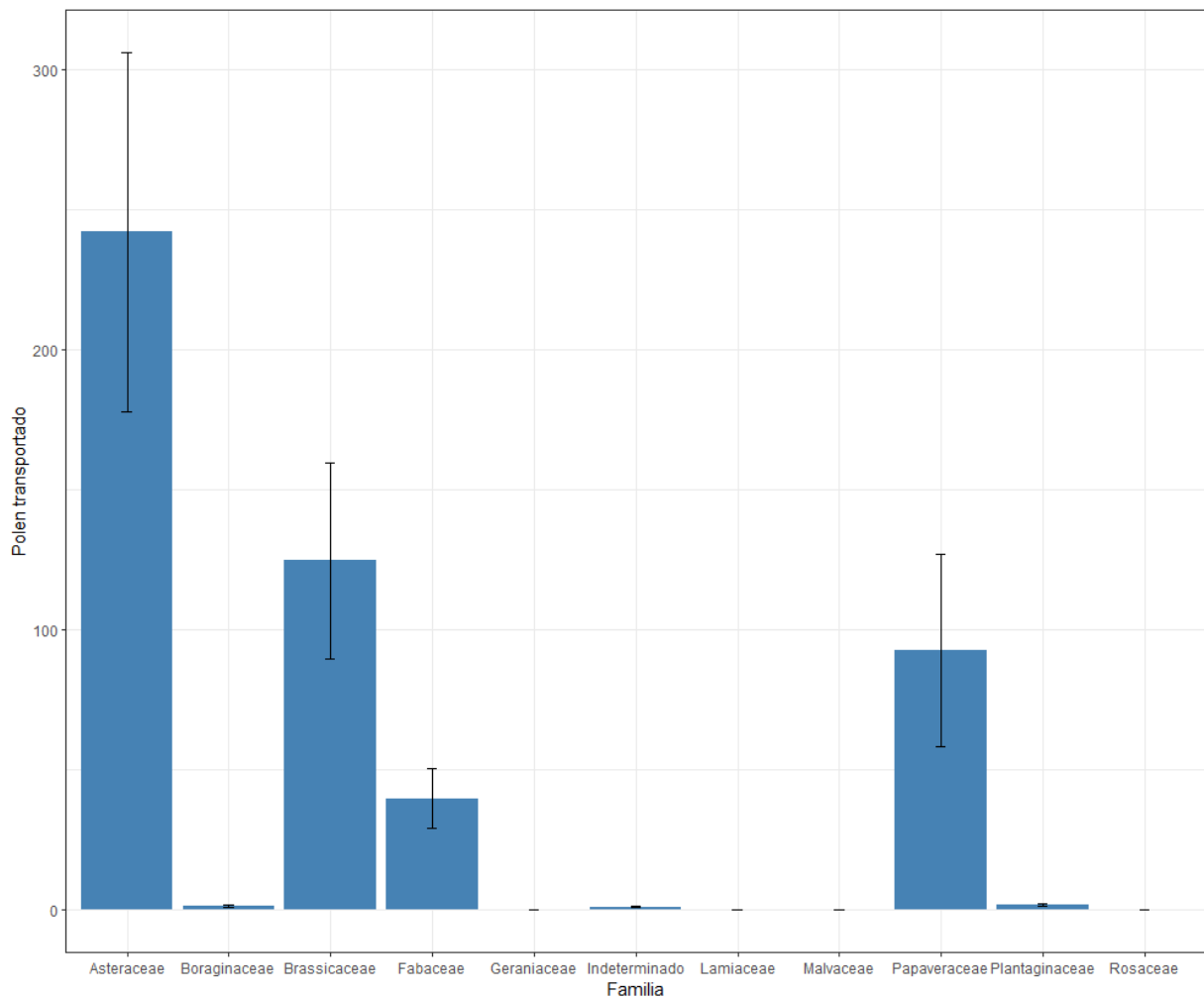
## RESULTADOS

En total se estudiaron un total de 114 preparaciones de polen, con una cantidad de granos de polen muy variable entre las muestras. La preparación con más granos de presentaba 5238 y la que menos 0 (Anexo II. Tabla 3). A pesar de esto sí se observan generalidades en los datos, como que las familias de plantas más frecuentemente visitadas fueron Asteraceae, Brassicaceae, Papaveraceae y Fabaceae, y las menos abundantes Geraniaceae, Malvaceae, Lamiaceae y Rosaceae (Anexo II. Tabla 1 y Fig. 2).

Por otra parte, los grupos funcionales que transportan más granos de polen ueron “Andrena”, “Halictus y Anthidium” y “Lasioglossum”, y los que menos “Coleoptera”, “Otros Diptera” y “Syrphidae” (Fig. 3).

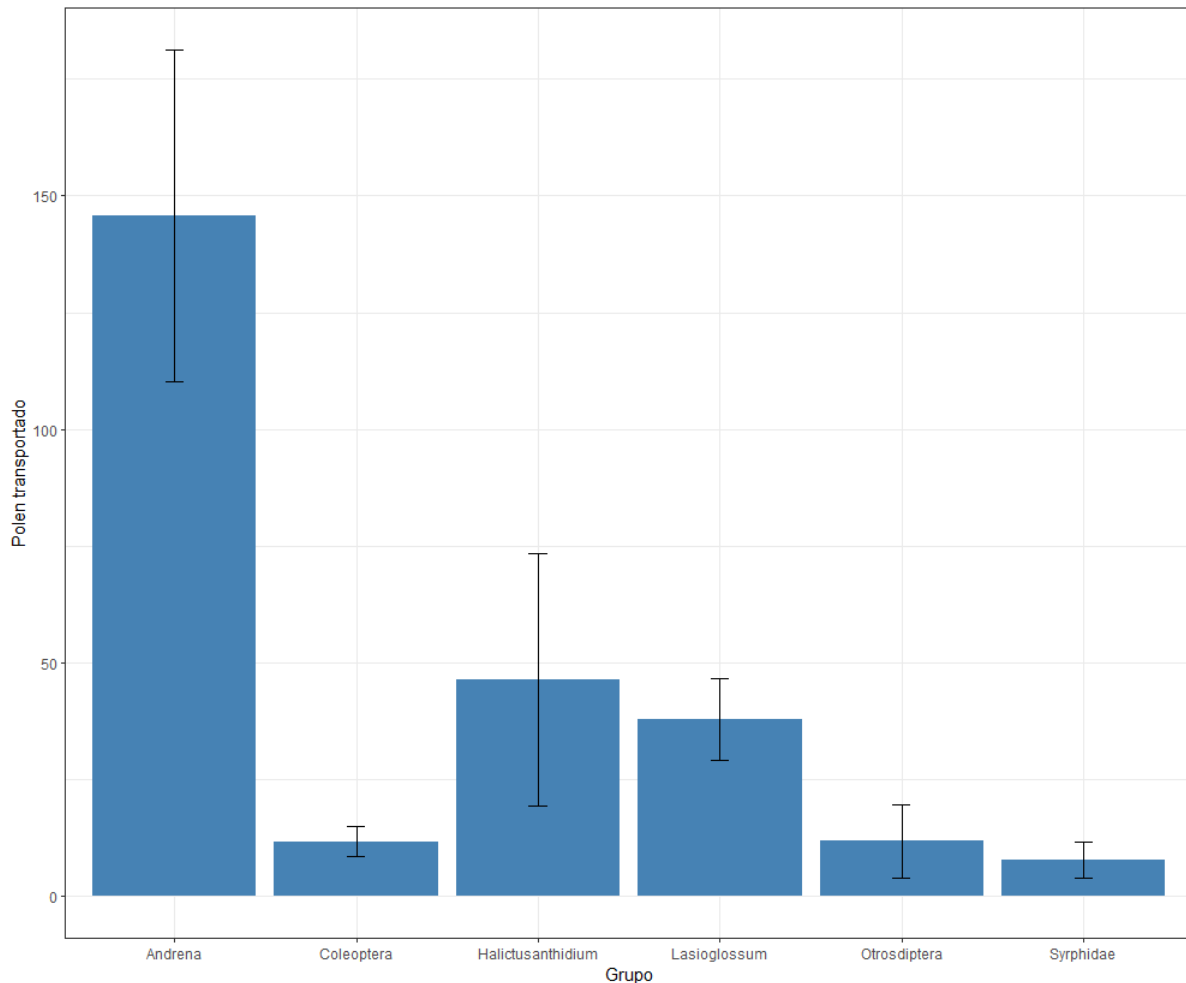
En cuanto a las partes del cuerpo el tórax fue en la que la carga polínica era mayor, seguido de la probóscide, mientras que la cabeza tuvo menos granos de polen presentes (Fig. 4).

Al realizar la prueba de Kruskal-Wallis, para relacionar la familia de plantas con el número de granos de polen, se encontraron diferencias significativas entre las diferentes familias de plantas ( $W= 0,393$ ;  $p < 0,001$ ). Estas diferencias se ven representadas en la Figura 2, donde se observa que la familia con más granos de polen transportados fue Asteraceae, muy superior a las que le siguen: Brassicaceae y Papaveraceae, entre las que no hay mucha diferencia. Con una carga polínica mucho menor transportada se encuentran las familias Plantaginaceae y Boraginaceae, que apenas tienen representación. Las familias menos abundantes, con una representación casi anecdótica, son Malvaceae, Geraniaceae, Lamiaceae y Rosaceae.



**Figura 2.** Carga polínica de cada familia de plantas contada en los insectos del Campus de Vegazana. Se representa la media junto con las barras de error simple.

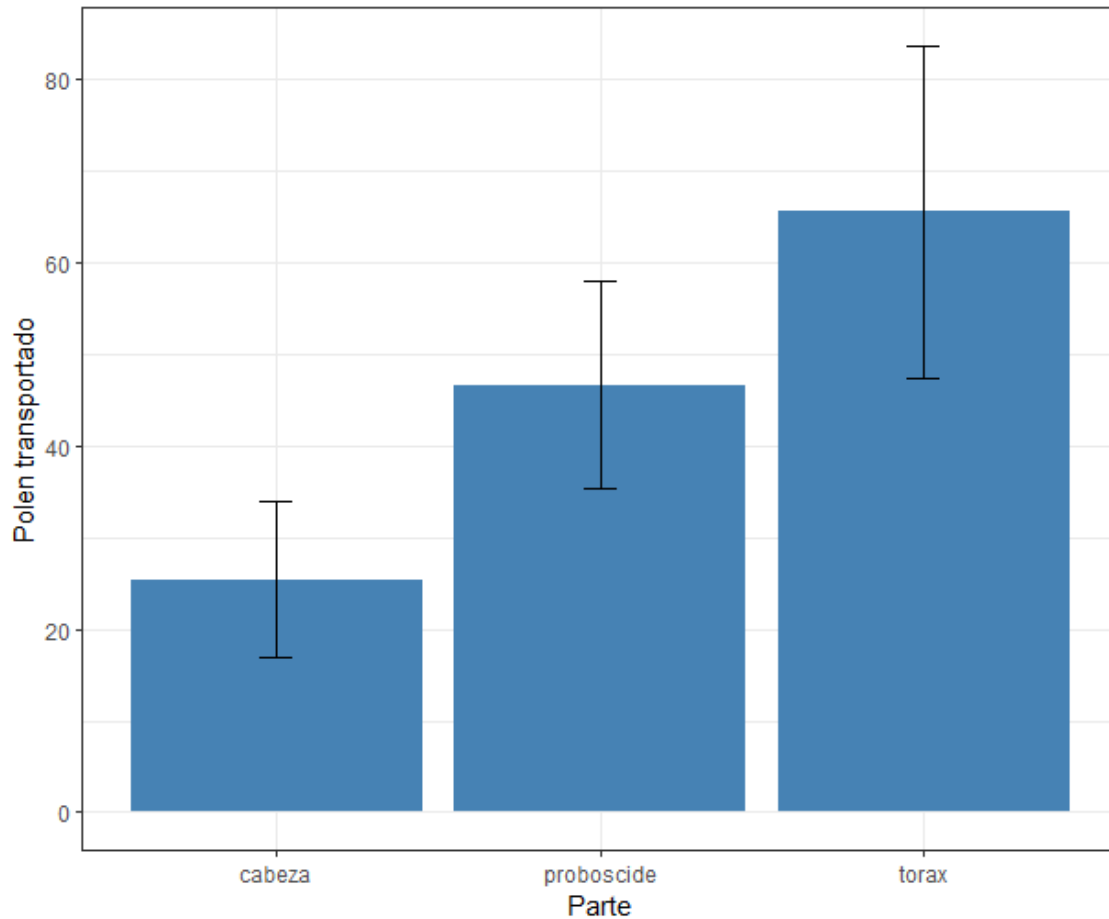
Posteriormente, se realizó la prueba para la variable grupos funcionales, donde se obtuvo también un resultado significativo ( $W= 0,21981$ ;  $p < 0,001$ ). En este caso, como se puede ver en la Figura 3, el grupo funcional donde se encontró una mayor carga polínica fue, con diferencia, “Andrena”, que integra a las abejas solitarias grandes y con pilosidad. Los siguientes grupos en los que aparecieron más granos de polen fueron “Halictus y Anthidium” y “Lasioglossum”. Los 3 grupos que menos granos de polen transportaban correspondieron a “Coleoptera”, “Otros Diptera” y “Syrphidae”, respectivamente.



**Figura 3.** Carga polínica para cada grupo funcional contada en los insectos del Campus de Vegazana. Se representa la media junto con las barras de error simple.

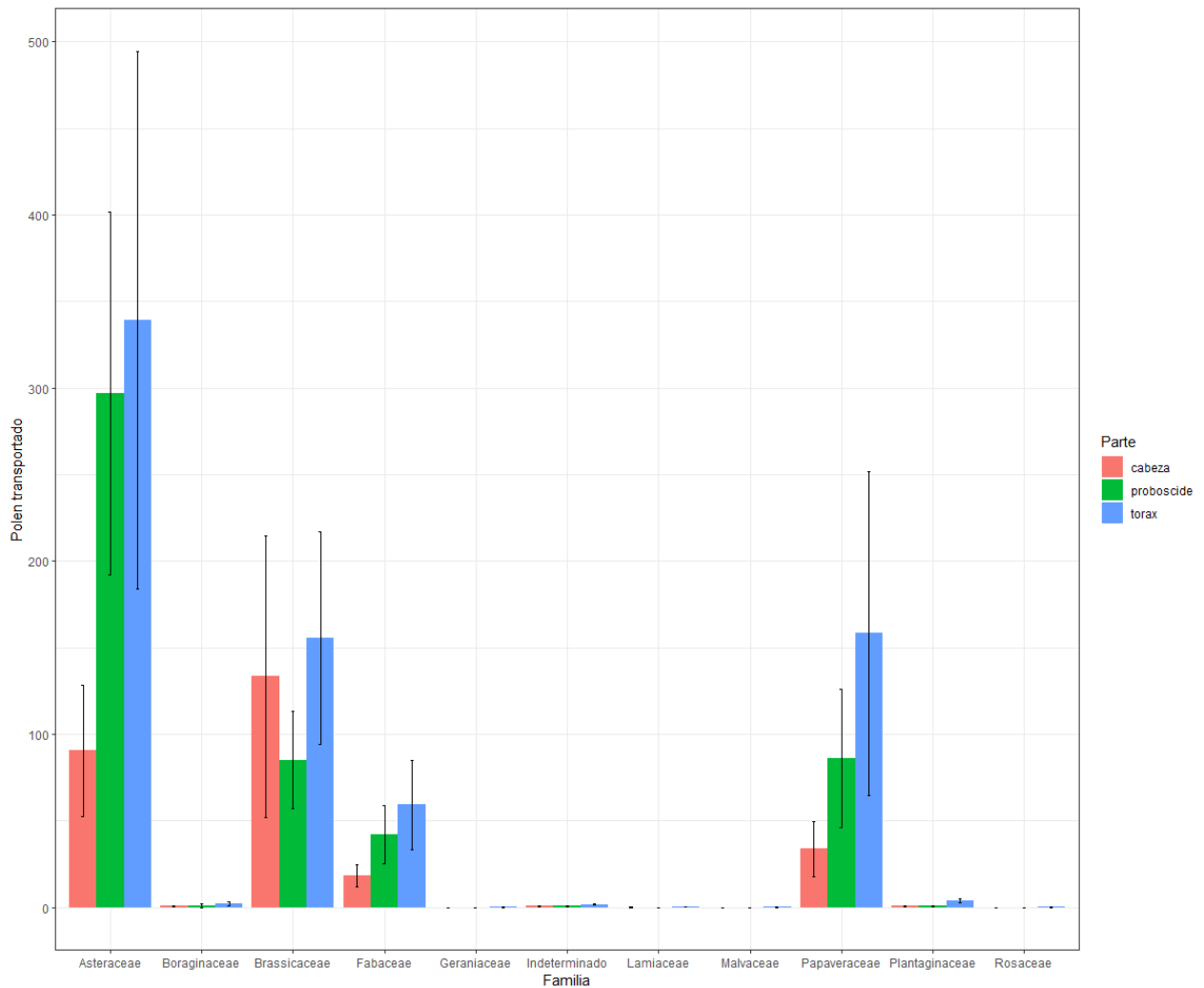
Por último, se realizó la misma prueba para la variable partes del cuerpo de nuevo obteniendo como resultado la existencia de diferencias significativas ( $W= 0,1657$ ;  $p= 0,001$ ). Como se observa en la Figura 4, la parte del cuerpo en la que aparecen más granos de polen fue el tórax, seguido de la probóscide y, en la que se encuentra la menor carga polínica es la cabeza. Entre las partes del cuerpo, cabeza y probóscide; y probóscide y tórax se observa una

diferencia de aproximadamente 20 granos de polen. Entre la cabeza y el tórax, de aproximadamente 40 granos de polen.



**Figura 4.** Carga polínica de cada parte del cuerpo contada en los insectos del Campus de Vegazana. Se representa la media junto con las barras de error simple.

Además, se representaron de forma conjunta, las partes del cuerpo y las familias de plantas, como se puede ver en la Figura 5. En la mayoría de los casos, se observó la misma tendencia que al analizar solo las partes del cuerpo. Como excepciones cabe resaltar la familia Asteraceae porque la cabeza tiene, con mucha diferencia, una menor carga polínica que las otras dos partes del cuerpo, alrededor de 200 granos de polen menos. Además, en Brassicaceae la segunda parte del cuerpo que transporta más granos de polen fue la cabeza y no la probóscide, y entre la cabeza y el tórax no existe una diferencia en la carga polínica grande.

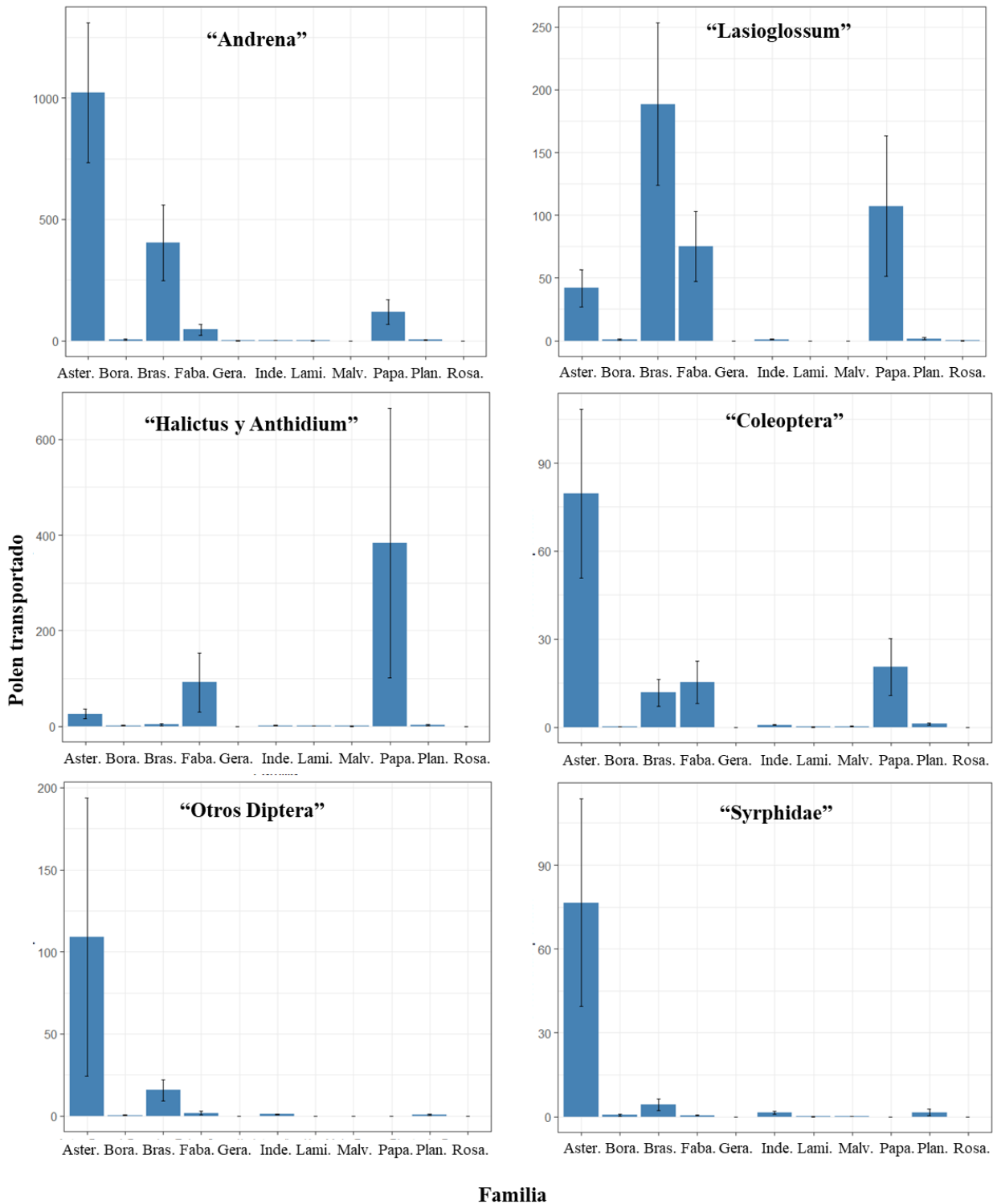


**Figura 5.** Carga polínica contada de cada familia de plantas en función de las partes del cuerpo en los insectos del Campus de Vegazana. Se representa la media junto con las barras de error simple.

Al representar la carga polínica que portaba cada grupo funcional en función de las familias de plantas, se observó que la familia más representada fue Asteraceae, como se ve en la Figura 6. Sin embargo, esto no se cumple en los grupos “*Halictus* y *Anthidium*” y “*Lasioglossum*”, que portaban mayor carga polínica de las familias Papaveraceae y Brassicaceae, respectivamente.

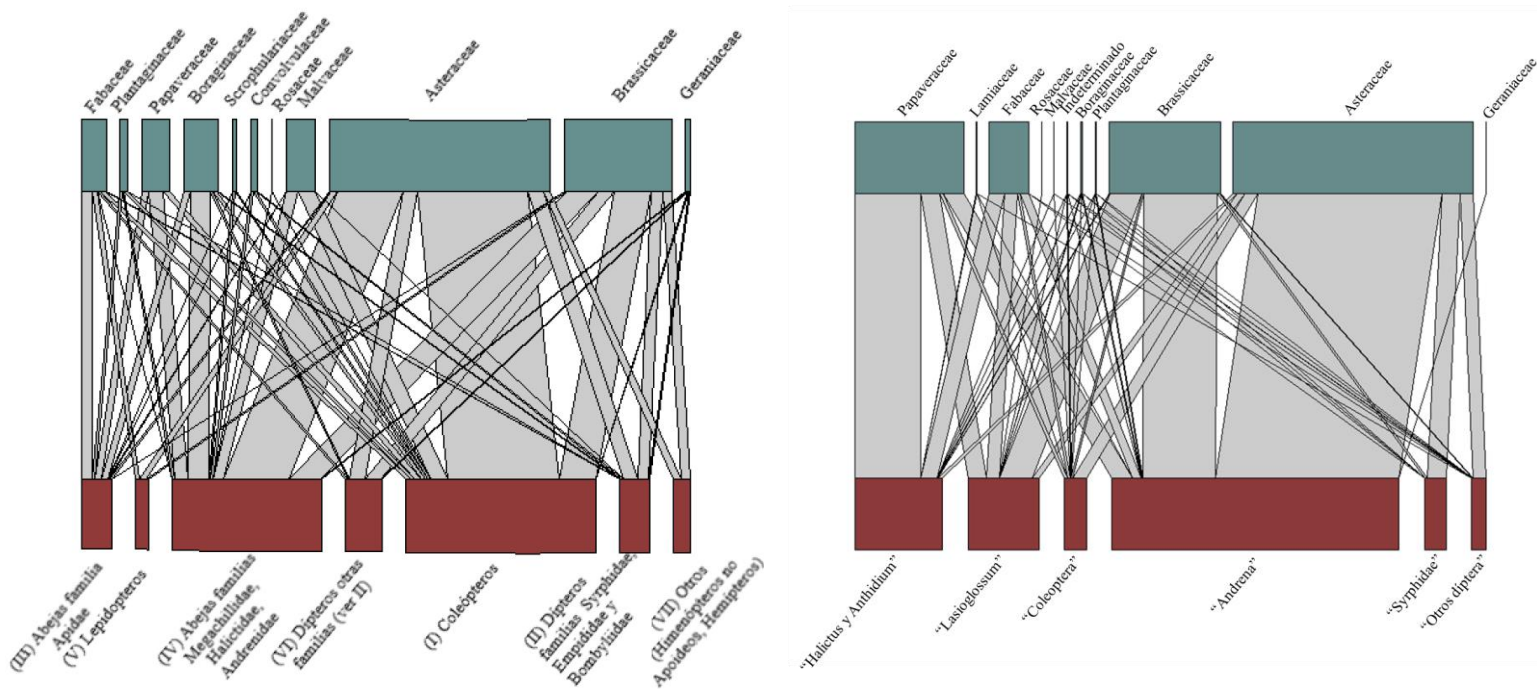
En “*Otros Diptera*” y “*Syrphidae*” la única familia realmente abundante es Asteraceae, ya que en estos dos grupos no se encontraron granos de polen de Papaveraceae, a pesar de que era una de las familias más representadas, al igual que Brassicaceae y Fabaceae, de las cuales, aunque portan polen su carga polínica no es muy alta.

También se observó una carga polínica ligeramente mayor perteneciente a la familia Plantaginaceae en “Coleoptera”, “Syrphidae” y “Lasioglossum”, que no aparece en los otros grupos funcionales.



**Figura 6.** Carga polínica contada de cada familia de plantas para cada grupo funcional de los insectos del Campus de Vegazana. Las familias de plantas son: Asteraceae (Aste.), Boraginaceae (Bora.), Brassicaceae (Bras.), Fabaceae (Faba.), Geraniaceae (Gera.), Indeterminado (Inde.), Lamiaceae (Lami.), Malvaceae (Malv.), Papaveraceae (Papa.), Plantaginaceae (Plan.) y Rosaceae (Rosa.). Se representa la media y las barras de error simple.

Por último, se realizó una red de polinización relacionando las cargas de polen que portaban los insectos y las familias de plantas a las que pertenecían (Fig. 7. B). Donde se observa como la familia con la carga polínica más transportada es Asteraceae, y el grupo funcional que acarrea más polen es “Andrena”, este grupo transporta mayoritariamente el polen de las asteráceas y las brasicáceas, siendo el grupo con la mayor carga polínica para estas dos familias. En cuanto el grupo “Lasioglossum”, la familia que más porta es Brassicaceae, pero no hay tanta diferencia con el resto de las familias que lleva. Sí existe bastante diferencia entre las cargas polínicas que porta en el grupo “Halictus y Anthidium”, en el cual la familia de la que más polen lleva es Papaveraceae con mucha diferencia con el resto. Los grupos “Coleoptera”, “Syrphidae” y “Otros Diptera” son los que menos carga polínica portan, en los 3 la familia a la que le pertenece la mayoría de la carga polínica que acarrean es Asteraceae. Además, los grupos “Syrphidae” y “Otros Diptera” no transportan polen de papaveráceas.



**Figura 7.** Red de polinización del campus de Vegazana en 2022. A) Visitas planta-polinizador (fuente: Pi Vallina, 2022). B) Cargas de polen e insectos visitantes.

## DISCUSIÓN

En este estudio se analizaron las interacciones planta-polinizador del campus de Vegazana haciendo hincapié en la eficiencia que mostraban los insectos a la hora de transportar polen de plantas de distintas familias. Se encontraron diferencias significativas en el tipo de polen (polen de distintas familias de plantas) que llevaban los polinizadores en su cuerpo. También



se encontraron diferencias en la cantidad de polen que llevaban los distintos grupos funcionales de insectos, y asimismo se detectaron diferencias relacionadas con la cantidad de polen que portaban en cada parte del cuerpo en la que era transportado. Para la discusión de estos resultados y la caracterización de la eficiencia de la polinización para cada familia de planta se tienen en cuenta los datos de cargas polínicas obtenidos en este estudio, así como las interacciones descritas por Alzórriz Sancha, 2022 y Pi Vallina, 2022.

## **EFICIENCIA SEGÚN LAS FAMILIAS DE PLANTAS**

Atendiendo a las cargas polínicas que llevaban cada grupo funcional y las interacciones que los insectos tuvieron con las plantas, se puede concluir que Asteraceae fue la familia que tuvo una polinización más eficiente en 2022. Una posible explicación es que la ornamentación equinada de sus granos de polen favorezca su adhesión al cuerpo del insecto (Hasegawa, *et al.*, 2021). Sin embargo, puede que tenga más peso sobre la eficiencia de su polinización el hecho de que las asteráceas son el grupo más diverso y representado en el campus, así como la familia en la que se registran más interacciones con insectos (Pi Vallina, 2022). Las flores que produce esta familia son generalistas lo que permite que mayor diversidad de insectos puedan acceder a sus granos de polen (Ollerton *et al.* 2007). También, como las flores están distribuidas en una inflorescencia se perciben como una sola unidad que suele ser de tamaño grande, característica que atrae a más insectos según el estudio de Van der Kooi *et al.* (2021). En cuanto a los insectos, “Andrena”, “Coleoptera”, “Otros Diptera” y “Syrphidae”, portaron una carga polínica alta de la familia Asteraceae, esto puede ser una consecuencia de que la visiten más o podría indicar que son más eficientes al polinizar a esta familia que al resto. Que diferentes polinizadores sean más o menos igual de eficientes a la hora de polinizar una misma planta provoca que los procesos evolutivos favorezcan el desarrollo de flores generalista ya que la eficiencia de los insectos también puede ser un motor para la evolución de las plantas (Galletto *et al.*, 2023). En nuestro caso, Asteraceae fue una familia muy visitada en 2022, lo que podría ser el motivo de las elevadas cargas de polen encontradas (ver Fig. 7 A y B) (Pi Vallina, 2022).

Otra familia con flores generalistas y grandes es Papaveraceae, lo que puede explicar porque es una de las familias con más granos de polen presentes en los insectos. Sin embargo, a pesar de esto no se registraron muchas interacciones entre los insectos y flores de esta familia (Pi Vallina, 2022), lo que supone un resultado interesante. El motivo de esta disparidad puede deberse a que dentro de la zona de estudio solo aparece una especie

perteneciente a las papaveráceas, *Papaver dubium*, L., que además presentaba una densidad no muy elevada de individuos. Sin embargo, como en los alrededores del campus de Vegazana hay muchas zonas con vegetación en las que proliferan plantas pertenecientes a esta familia, como las amapolas *Papaver rhoeas* L., es posible que la mayoría de las interacciones y por tanto la adhesión del polen ocurriera fuera del área muestreada y no se registrara en los censos llevados a cabo en 2022 por Pi Vallina. Para esta familia los grupos más eficientes son “Lasioglossum” y “Halictus y Anthidium”. Sin embargo, otros grupos como “Otros Diptera” y “Syrphidae” no portan granos de polen pertenecientes a la familia Papaveraceae, lo que coincide con la red de polinización descrita por Pi Vallina (2022) (Figura 7. A).

En el caso de la familia Fabaceae ocurre lo opuesto que en Papaveraceae, a pesar de estar bastante representada en las zonas de observación en 2022, sus granos de polen son menos transportados por los insectos analizados. Esto puede deberse a que la flor papilionácea de esta familia presenta una adaptación para la polinización por himenópteros, dentro de los cuales se incluyen los grupos funcionales “Lasioglossum” y “Halictus y Anthidium” (Aronne *et al.* 2012). Precisamente estos dos grupos se han descrito como aquellos que presentan las mayores eficiencias para la polinización de esta familia. Además, en el mismo estudio de Aronne y colaboradores (2012) se menciona que en esta familia existen muchos mecanismos de liberación de polen, y alguno de ellos provoca que el polen se deposite en el abdomen de los insectos (parte del cuerpo que no se ha estudiado), por lo que puede ser la razón de que a pesar de ser una familia representada en el área de estudio no se encuentre una carga polínica esperada en los insectos.

## **EFICIENCIA ATENDIENDO AL GRUPO FUNCIONAL DE INSECTO**

El grupo funcional con mayor carga polínica en su cuerpo y por tanto el más eficiente a la hora de transportar polen fue “Andrena”, que incluye abejas grandes y con mucha pilosidad. Ambas características pueden favorecer la adhesión del polen. En algunos estudios, como el realizado por Stavert *et al.* (2016) se muestra que la densidad de pelos de los polinizadores es una característica importante a la hora de recoger y depositar polen. Esto explicaría por qué hay tanta diferencia entre las cargas polínicas de “Andrena” y el resto de grupos como “Halictus y Anthidium” y “Lasioglossum”, ambos formados por individuos con escasa pilosidad. Estas características también podrían ser la razón por la que estos grupos apenas cargan polen de Asteraceae, a pesar de que muchas de las interacciones que llevan a cabo son con plantas de esta familia según el análisis de Pi Vallina (ver Fig 7A). Parece que los grupos

funcionales “Halictus y Anthidium” y “Lasioglossum”, no contribuyen a la polinización de la familia Asteraceae a pesar de que sí la visitan. Son grupos poco eficientes en la familia.

## **EFICIENCIA SEGÚN LA PARTE DEL CUERPO DEL POLINIZADOR**

Los datos de polen en las distintas partes del cuerpo de los polinizadores muestran que el tórax es la parte con mayor carga polínica, lo que se puede deber a que es la región corporal más grande de las tres estudiadas y en la que más pilosidad se puede encontrar en aquellos grupos que la tengan como, por ejemplo: “Andrena”. La segunda parte del cuerpo con más polen fue la probóscide, que es la zona del cuerpo que entra primero en contacto con el polen ya que normalmente los grupos estudiados utilizan esta parte de su cuerpo para recoger el polen, sobre todo aquellos insectos polinívoros como los coleópteros, o el néctar de las flores (Krenn *et al.*, 2021). La región con menos carga polínica fue la cabeza. Esto puede ser una consecuencia del tamaño de esta parte del cuerpo, y a que gran parte de ella esté ocupada por los ojos. Este patrón se conserva en todas las familias de plantas excepto en las brassicáceas. En general los insectos portaron mayor carga de polen de Brassicaceae en la cabeza y una menor en probóscide, aunque el tórax se mantiene como la parte del cuerpo con más polen. Esto puede deberse a la morfología de la flor, ya que presenta los nectarios en la base del androceo por lo que para alcanzarlos la cabeza de los insectos entraría más en contacto con las anteras que en otras familias (Masierowska, 2003).

## **RED DE POLINIZACIÓN BASADA EN EFICIENCIA**

En las redes de polinización descritas (Fig.7) se observa cómo Papaveraceae apenas recibe visitas por lo que la carga polínica para esta familia es mucho mayor de lo que cabría esperar, esto podría deberse a que la polinización de esta familia es muy eficiente, o como ya se ha explicado previamente puede deberse a que las interacciones entre los insectos y esta familia ocurran fuera del área muestreada. Este fenómeno no ocurre para las familias Asteraceae y Brassicaceae, que están igualmente representadas en ambas redes de polinización. No obstante, las asteráceas es la más representada de todas las familias de plantas en ambos casos, es decir, la más visitada y con una mayor carga polínica portada; esto indicaría que la cantidad de polen que llevan los insectos es consecuencia del mayor número de vistas que recibe y no de una gran eficiencia en la polinización de la familia. Como se exploraba anteriormente, esta familia tiene unas flores que atraen a un gran número de insectos por ser generalista y disponerse en una inflorescencia, lo que explica por qué son las plantas más

visitadas en la red de polinización descrita por Pi Vallina, 2022 (Ollerton *et al.*, 2007; Van der Kooi *et al.*, 2021).

En algunos casos se encontraron incongruencias entre la red de visitas y la de cargas de polen. Por ejemplo, un resultado interesante es el del grupo “Coleoptera”, respecto al cual lo único que tienen en común ambas redes es que la mayoría de las visitas que hace y del polen que porta pertenece a la familia Asteraceae. Pero de forma general, este grupo visita un gran número de plantas y el polen que porta en comparación es muy poco, esto podría exponer que este grupo funcional es poco eficiente al polinizar. Asimismo, los grupos “Syrphidae” y “Otros Diptera” también portan poco polen, pero realizan un número de visitas acorde con ello, sin embargo, existen también incoherencias entre las dos redes para estos grupos funcionales, en este caso respecto a Brassicaceae, a pesar de que visitan las plantas de esta familia casi no acarrean su polen, lo que podría ser una señal de que estos polinizadores no son eficientes para la familia Brassicaceae, en general estos dos grupos apenas portan polen de familias que no sean Asteraceae.

Ocurre lo opuesto entre esta misma familia, Brassicaceae, y el grupo “Andrena”, ya que este lleva más polen que el que se esperaría teniendo en cuenta las visitas que realizan a las plantas de esa familia. Esto podría significar que “Andrena” es un polinizador muy eficiente para Brassicaceae. “Andrena” es, además, el grupo que más carga polínica acarrea de esta familia de plantas, por lo que este grupo funcional claramente es importante para la polinización de las brasicáceas, lo que confirma trabajos previos (Badenes-Pérez 2022), en esta revisión los autores encontraron que los insectos de la familia Andrenidae, parte constituyente importante del grupo “Andrena”, se utilizan con mucha frecuencia como uno de los principales polinizadores de los cultivos de brasicáceas.

## **LIMITACIONES DEL TRABAJO**

Para terminar, es importante destacar que este estudio se ha realizado para un trabajo de fin de grado, lo que implica ciertas limitaciones. Por un lado, el tiempo para realizar la recolección de datos fue pequeño, por lo que el número de réplicas es bajo (N=38). Quizá hubiera sido interesante recolectar datos durante todo el tiempo que las plantas se encuentren en floración. Además, no se han analizado otras partes del cuerpo de los insectos, como el abdomen. Sin embargo, este es un primer paso para detallar las características de la polinización y de las interacciones planta-polinizador en zonas periurbanas, y sirve para demostrar la importancia de incluir en los estudios de polinización medidas de eficiencia para poder determinar

posibles interacciones fuera de nuestro rango de observación si nos basásemos únicamente en registros de visitas.

## CONCLUSIONES

A partir de este estudio, podemos concluir:

- La familia Asteraceae tiene flores generalistas por lo que es visitada por un mayor número de polinizadores distintos.
- La pilosidad del grupo funcional “Andrena” favorece que los granos de polen se adhieran a los insectos.
- La parte del cuerpo que más granos de polen porta es el tórax y la que menos la cabeza, excepto para Brassicaceae que por la morfología de la flor la parte con menos polen es la probóscide.
- El número de interacciones no siempre es sinónimo de eficiencia de polinización, como ocurre en el caso de Asteraceae y los grupos “Lasioglossum” y “Halictus y Anthidium”.
- La elevada carga polínica de Asteraceae se debe a que son más visitadas y no a una gran eficiencia de los insectos para polinizar esta familia.
- La familia Andrenidae, donde están recogidos los insectos del género *Andrena* del grupo funcional “Andrena”, es importante para la polinización de Brassicaceae.
- Incluir medidas de eficiencia en los estudios de polinización puede dar información sobre interacciones que quedan fuera del alcance de nuestros registros de visitas.

## BIBLIOGRAFÍA

Abrol, D.P. (2012) “Pollination – Basic Concepts”, en Abrol, D. P. (ed.) *Pollination Biology biodiversity conservation and agricultural production*, Nueva York: Springer, pp. 37-54.

Agencia Estatal de Meteorología (sin fecha) *AEMET*. Disponible en: <https://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos?l=2661yk=cle>. (Accedido el 15 de junio de 2023).

Aguado, L. O., Fereres, A. y Viñuela, E. (2017) “Guía de campo de los polinizadores de España”. 2.<sup>a</sup> ed. Madrid: Mundiprensa.

Alzórriz Sancha, E. (2022) *La eficiencia en el transporte de polen de los insectos polinizadores del campus de Vegazana*. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de León.

- Aronne, G., Giovanetti, M., y De Micco, V. (2012) “Morphofunctional traits and pollination mechanisms of *Coronilla emerus* L. flowers (Fabaceae)”, *The Scientific World Journal*. doi: 10.1100/2012/381575.
- Badenes-Pérez, F. R. (2022) “Benefits of insect pollination in Brassicaceae: A meta-analysis of self-compatible and self-Incompatible crop species”, *Agriculture*. doi: 10.3390/agriculture12040446.
- Baldock, K. C., Goddard, M. A., Hicks, D. M., Kunin, *et al.* (2019) “A systems approach reveals urban pollinator hotspots and conservation opportunities”, *Nature ecology y evolution*, 3(3), pp. 363-373.
- Bernauer, O. M., Tierney, S. M., y Cook, J. M. (2022) “Efficiency and effectiveness of native bees and honey bees as pollinators of apples in New South Wales orchards”, *Agriculture, Ecosystems y Environment*, 337: 108063.
- Daniels, B., Jedamski, J., Ottermanns, R., y Ross-Nickoll, M. (2020) “A “plan bee” for cities: Pollinator diversity and plant-pollinator interactions in urban green spaces”, *PLoS One*, 15(7): e0235492.
- Dormann, C.F., Fruend, J., Bluethgen, N. & Gruber B. (2009) “Indices, graphs and null models: analyzing bipartite ecological networks”, *The Open Ecology Journal*, 2, pp. 7-24.
- Dylewski, Ł., Maćkowiak, Ł., y Banaszak-Cibicka, W. (2020) “Linking pollinators and city flora: How vegetation composition and environmental features shapes pollinators composition in urban environment”, *Urban forestry y urban greening*, 56: 126795.
- Galetto, L., Morales, M. S., Mazzei, M. P., y Torres, C. (2023) “Are floral traits and their phenotypic variability related to plants with generalized or specialized pollination systems? A community perspective”, *Flora*, 298: 152204.
- Hasegawa, T. M., Makino, T. T., y Sakai, S. (2021) “Optimal pollen stickiness to pollinators for maximizing paternal fitness: Increased number of recipient flowers or increased pollen deposition on recipient flowers?”, *Journal of Theoretical Biology*, 524: 110731.
- Hennig, E. I., y Ghazoul, J. (2012) “Pollinating animals in the urban environment”, *Urban Ecosystems*, 15, pp. 149-166.
- Kevan, P. G., y Viana, B. F. (2003) “The global decline of pollination services”, *Biodiversity*, 4(4), pp. 3-8.
- Keys, R. N., Buchmann, S. L., y Smith, S. E. (1995) “Pollination effectiveness and pollination efficiency of insects foraging *Prosopis velutina* in south-eastern Arizona”, *Journal of Applied Ecology*, 32(3), pp. 519-527.
- Krenn, H. W., Karolyi, F., Lampert, P., Melin, A., y Colville, J. F. (2021) “Nectar Uptake of a Long-Proboscis Prosoeca Fly (Nemestrinidae)—Proboscis Morphology and Flower Shape”, *Insects*, 12(4), pp. 371.
- Layek, U., Das, U., y Karmakar, P. (2022) “The pollination efficiency of a pollinator depends on its foraging strategy, flowering phenology, and the flower characteristics of a plant species”, *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 25(2): 101882.
- LeBuhn, G., y Luna, J. V. (2021) “Pollinator decline: what do we know about the drivers of solitary bee declines?”, *Current opinion in insect science*, 46, pp. 106-111.
- Li, H. Y., Luo, A. C., Hao, Y. J., Dou, F. Y., *et al.* (2021) “Comparison of the pollination efficiency of *Apis cerana* with wild bees in oil-seed camellia fields”, *Basic and Applied Ecology*, 56, pp. 250-258.
- Liu, R., Chen, D., Luo, S., Xu, S., Xu, H., Shi, X., y Zou, Y. (2020) “Quantifying pollination efficiency of flower-visiting insects and its application in estimating pollination services for common buckwheat”, *Agriculture, Ecosystems y Environment*, 301: 107011.
- Masierowska, M. L. (2003) “Floral nectaries and nectar production in brown mustard (*Brassica juncea*) and white mustard (*Sinapis alba*) (Brassicaceae)”, *Plant Systematics and Evolution*, 238, pp. 97-107.
- Pi Vallina, J. (2022) *Caracterización de la red planta-polinizador en el Campus de Vegazana*. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de León.

- Rhodes, C. J. (2018) “Pollinator decline—an ecological calamity in the making?”, *Science progress*, 101(2), pp. 121-160.
- Rodríguez-Rodríguez, M. C., Jordano, P., y Valido, A. (2013) “Quantity and quality components of effectiveness in insular pollinator assemblages”, *Oecologia*. doi: 10.1007/s00442-013-2606-y.
- Roguz, K., Chiliński, M., Roguz, A., y Zych, M. (2023) “Pollination of urban meadows—Plant reproductive success and urban-related factors influencing frequency of pollinators visits”, *Urban Forestry y Urban Greening*, 84: 127944.
- Santamaría, L., y Rodríguez-Gironés, M. A. (2015) “Are flowers red in teeth and claw? Exploitation barriers and the antagonist nature of mutualisms”, *Evolutionary Ecology*, 29, pp. 311-322.
- Smith, E. G. (2000) *Sampling and identifying allergenic pollens and molds*. San Antonio, Texas: Blewston Press.
- Stavert, J. R., Liñán-Cembrano, G., Beggs, J. R., Howlett, B. G. et al. (2016) “Hairiness: The missing link between pollinators and pollination”, *PeerJ*, 4: e2779.
- Whitney, H. M., y Glover, B. J. (2007) “Morphology and development of floral features recognised by pollinators”, *Arthropod-Plant Interactions*, 1, pp. 147-158.
- Wickham H. (2016) *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York.
- Wickham H., François R., Henry L., Müller K. y Vaughan D. (2023) *\_dplyr: A Grammar of Data Manipulation\_*. R bpackage version 1.1.0, <<https://CRAN.R-project.org/package=dplyr>>.
- Zych, M., Goldstein, J., Roguz, K., y Stpiczyńska, M. (2013) “The most effective pollinator revisited: pollen dynamics in a spring-flowering herb”, *Arthropod-Plant Interactions*, 7, pp. 315-322.