



**Universitat**  
de les Illes Balears

## **TRABAJO DE FIN DE GRADO**

# **SERVICIO DE POLINIZACIÓN O LADRONES DE NÉCTAR. AVERIGUANDO QUE INSECTOS REALMENTE POLINIZAN Y CUALES SE APROVECHAN DE LAS FLORES**

**Alexandra Fons Bordoy**

**Grado de Biología**

**Facultad de Ciencias**

**Año académico 2022-23**



# **SERVICIO DE POLINIZACIÓN O LADRONES DE NÉCTAR. AVERIGUANDO QUE INSECTOS REALMENTE POLINIZAN Y CUALES SE APROVECHAN DE LAS FLORES**

**Alexandra Fons Bordoy**

**Trabajo de Fin de Grado**

**Facultad de Ciencias**

**Universidad de les Illes Balears**

**Año académico 2022-23**

Palabras clave del trabajo:

*Astragalus balearicus*, ladrones de néctar, endemismo, polinización, número de flores visitadas, tiempo de visita, granos de polen.

*Nombre Tutor/Tutora del Trabajo: Juan Rita Larrucea*

## RESUMEN

Las plantas interactúan de manera simultánea con una gran variedad de insectos que actúan como agentes selectivos modificando el éxito reproductivo de éstas. Las interacciones mutualistas de polinización tienen lugar cuando las plantas se reproducen gracias al transporte de polen entre las flores mientras que los insectos obtienen recursos alimenticios a modo de recompensa. Sin embargo, existen interacciones antagonistas donde los insectos “explotadores” extraen néctar floral sin prestar ningún beneficio de retorno. Estos ladrones de néctar modifican las dinámicas poblacionales ya que cambian el comportamiento de los polinizadores legítimos afectando así la fertilización de las flores y el éxito de la polinización. Aun así, pueden causar beneficios a las plantas al aumentar, de manera indirecta, la dispersión del polen. A lo largo de este estudio, se han evaluado los patrones de actividad de los visitantes a las inflorescencias de una especie endémica, *Astragalus balearicus* Chater (Fabaceae), en la zona de Cúber, Mallorca. Se llevaron a cabo observaciones de los visitantes florales para identificar que insectos polinizan esta especie vegetal y cuales actúan como ladrones de néctar. Para ello, se tuvo en cuenta el número de visitas a lo largo del día, el número de flores visitadas y el tiempo empleado por cada insecto y la cantidad de polen presente de *A. balearicus* y de otras especies sobre el cuerpo de estos visitantes florales. Los resultados indican que todos los himenópteros estudiados son potencialmente legítimos a *A. balearicus* debido a que portaron consigo polen de esta especie vegetal, por lo tanto, no se encontraron ladrones de néctar.

## ABSTRACT

Plants interact simultaneously with a wide variety of insects that act as selective agents, modifying their reproductive success. Mutualistic pollination interactions take place when plants reproduce by transporting pollen between flowers while insects obtain food resources as rewards. However, there are antagonistic interactions where “exploiting” insects extract floral nectar without providing any return benefit. These nectar thieves modify population dynamics as they change the behavior of legitimate pollinators, thus affecting flower fertilization and pollination success. Even so, they can cause benefits to plants by indirectly increasing pollen dispersal. Throughout this study, the activity patterns of visitors to the inflorescences of an endemic species, *Astragalus balearicus* Chater (Fabaceae), in the Cúber area, Mallorca, have been evaluated. Observations of floral visitors were carried out to identify which insects pollinate this plant species and which act as nectar thieves. To do this, the number of visits throughout the day, the number of flowers visited and the time spent by each insect and the amount of pollen present from *A. balearicus* and other species on the body of these floral visitors were taken into account. Results indicate that all the hymenoptera studied are potentially legitimate to *A. balearicus* because they carried pollen from this plant species, therefore, no nectar thieves were found.

## ÍNDICE

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>                              | <b>5</b>  |
| <b>2. OBJETIVOS.....</b>                                  | <b>8</b>  |
| 2.1. Objetivo principal .....                             | 8         |
| 2.2. Objetivos específicos.....                           | 8         |
| <b>3. MATERIALES I MÉTODOS .....</b>                      | <b>8</b>  |
| 3.1. Zona de estudio .....                                | 9         |
| 3.2. Sujeto experimental .....                            | 11        |
| 3.3. Diseño experimental .....                            | 13        |
| 3.4. Flores visitadas a lo largo del día.....             | 14        |
| 3.5. Tiempo y número de flores visitadas .....            | 14        |
| 3.6. Captura de los polinizadores .....                   | 14        |
| 3.7. Identificación de los ejemplares.....                | 15        |
| 3.8. Cuantificación del polen .....                       | 15        |
| 3.9. Análisis estadístico .....                           | 16        |
| <b>4. RESULTADOS.....</b>                                 | <b>16</b> |
| 4.1. Insectos observados sobre las flores.....            | 16        |
| 4.2. Flores visitadas a lo largo del día.....             | 17        |
| 4.3. Tiempo y número de flores visitadas .....            | 20        |
| 4.4. Granos de polen sobre el cuerpo de los insectos..... | 21        |
| <b>5. DISCUSIÓN.....</b>                                  | <b>22</b> |
| <b>6. CONCLUSIONES.....</b>                               | <b>25</b> |
| <b>7. AGRADECIMIENTOS .....</b>                           | <b>25</b> |
| <b>8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                | <b>26</b> |

## 1. INTRODUCCIÓN

El interés en la polinización como un servicio ecosistémico está creciendo a medida que surge información sobre la disminución de muchas poblaciones de polinizadores (Goulson et al. 2008). Los insectos comprenden el grupo de organismos vivos con mayor biodiversidad de la Tierra, representando el 55% de todas las especies descritas (Erwin 1982). Ocupan una gran variedad de nichos y participan en muchos procesos ecológicos (Samways 2005). Su actividad es crucial para crear y mantener la biodiversidad vegetal debido a que más del 75% de las angiospermas dependen de la acción de estos vectores para que se produzca la polinización (Goulson 1999; Fontaine et al. 2005). De acuerdo con los criterios establecidos por Frankel y Galun (1977), los insectos polinizadores se encuentran principalmente en los órdenes Coleoptera, Hymenoptera, Diptera y Lepidoptera. Gran parte de los estudios realizados hasta la actualidad se han enfocado en especies únicas de plantas y de sus polinizadores, pero cada vez se tiene más conocimiento que las plantas y sus polinizadores forman a menudo una red compleja de interacciones (Campbell et al. 2011). Generalmente, la relación entre la planta y el polinizador se ha considerado mutualista debido a que los visitantes florales reciben normalmente un recurso, habitualmente alimento, como puede ser polen, néctar o aceites, y, por otro lado, las plantas garantizan su fecundación (Proctor et al. 1996). Estas plantas que ofrecen recompensas a sus visitantes han desarrollado frecuentemente adaptaciones especiales para asegurar que solo sus polinizadores reciban el alimento, mediante el desarrollo de estructuras florales que limitan el acceso a aquellos visitantes que transportan el polen de manera eficiente (Galen et al. 1996; Waer et al. 1996). Sin embargo, las plantas con flores pueden involucrar también relaciones antagónicas como por ejemplo depredadores de semillas, herbívoros o ladrones de néctar que recogen las recompensas sin entrar en contacto con los órganos reproductivos de la flor y, por tanto, no proveen el servicio de polinización (Bronstein 2001).

El papel de los visitantes florales (primarios, legítimos y eficientes o ladrones de polen o néctar) dependerá tanto de la naturaleza del animal como de su comportamiento y de las características de la flor que están visitando (Fenster et al. 2004). El robo de néctar es un comportamiento observado en diferentes grupos de animales como abejas, hormigas, aves y ácaros, que incluso pueden actuar como polinizadores eventuales en función de cómo roben el recurso (Lara & Ornelas 2001). Los ladrones de néctar han sido descritos en diversas ocasiones como “tramposos” ya que obtienen recursos del huésped sin polinizar (Burkle et al. 2007). Una forma común de hurto floral es el robo primario, en el cual un organismo perfora, muerde o corta la corola para evitar la abertura floral utilizada por los polinizadores legítimos y así extraer el néctar de una forma más directa pudiendo causar la destrucción total de la flor (Irwin et al. 2010; Maloof & Inouye 2000). De esta manera, no entran en contacto con el polen, y como consecuencia, no actúan como polinizadores (Newman &

Thomson 2005). Los ladrones primarios más frecuentes son las avispas, las abejas y las hormigas (Irwin et al. 2010). El robo secundario, en cambio, se basa en la adquisición de néctar a través de agujeros hechos previamente por los ladrones primarios (Irwin 2009). Dichos comportamientos de hurto floral (primario y secundario) son los mejores documentados, en cierta manera porque conllevan a un daño característico y visible de los pétalos (Inouye 1980; Irwin et al. 2001). El robo de néctar es una interacción antagónica común en especies vegetales con flores tubulares o con receptáculos de néctar (Barrows 1980; Irwin & Maloof 2002; Milet-Pinheiro & Schlindwein, 2009). De este modo, las flores más especializadas que presentan corolas gamopétalas con una gruesa pared y un tubo largo podrían limitar los impactos del robo, principalmente dificultando mecánicamente que los ladrones accedan al néctar mediante la perforación de la flor (Inouye 1983; Newman & Thomson 2005). Estudios anteriores demuestran que los ladrones de néctar están ampliamente distribuidos a nivel geográfico, aparte de tener una gran diversidad taxonómica, desde insectos hasta aves (Zhang et al. 2009). Es más, el 100% de las flores en algunas poblaciones vegetales pueden verse afectadas por el robo de néctar (Stout et al. 2000; Castro et al. 2009).

Los efectos del robo de néctar pueden clasificarse como positivos, negativos y neutrales, tanto en las especies vegetales visitadas como en la interacción entre las plantas y sus polinizadores legítimos (Maloof & Inouye, 2000). Sin embargo, los efectos del robo en cuanto a la reproducción de la planta se clasifican como negativos ya que afectan, directa o indirectamente, al éxito reproductivo de ésta (Roubik et al. 1985; Irwin & Brody 1998; Milet-Pinheiro & Schlindwein, 2009). Algunos de los impactos directos son el daño funcional de las flores ya que afectan tanto las estructuras reproductivas masculinas (menor disponibilidad de polen) (Irwin et al. 2010) como las femeninas (estilo y ovarios) (Roubik 1982). También, los ladrones de néctar pueden disuadir a los polinizadores legítimos, de forma directa, mediante el contacto físico (Roubik 1982). Los impactos indirectos incluyen: una disminución en los recursos disponibles para los polinizadores llegando al punto en que la planta pueda ser evitada o abandonada después de una corta visita (Irwin & Brody 2000; Lara & Ornelas 2001; Irwin 2009), una disminución significativa en la producción de semillas o frutos por el daño en las estructuras reproductivas de las flores (McDade & Kinsman 1980; Irwin & Brody 1999), y cambios en la cantidad y calidad del néctar afectando la conducta de los polinizadores legítimos (Miller & Travis 1996) lo que puede resultar en una disminución del número de flores visitadas por planta (Free 1973; Hodges 1985). Si bien, los ladrones de néctar reducen la cantidad de néctar disponible para los recolectores legítimos, la capacidad que tiene una flor para reponerlo depende del grado de daño floral, de si repone completamente el néctar y del tiempo que transcurre entre el robo y la alimentación de los polinizadores legítimos (Zimmerman 1988). No obstante, algunas plantas podrían verse beneficiadas por los ladrones de néctar haciendo que los polinizadores

legítimos visitaran menos flores por planta, reduciendo por tanto la geitonogamia (de Jong et al. 1992). Además, podrían aumentar la variabilidad genética por medio del cruzamiento ya que los polinizadores legítimos se verían obligados a efectuar más vuelos de larga distancia (Zimmerman & Cook 1985).

*Astragalus balearicus* Chater es una especie endémica de las Islas Baleares que habita en zonas montañosas y litorales expuestas al viento y sitios secos y soleados en rellanos horizontales (Herbari Virtual). Los endemismos, aunque presentan una gran vulnerabilidad debido a su limitada distribución geográfica y a su menor tamaño poblacional, son cruciales para sus ecosistemas ya que reflejan el estado de salud del territorio y pueden actuar por lo tanto como indicadores ecológicos (Crisp et al. 2001). Conocer su biología reproductiva también es de vital importancia debido a su efecto directo sobre las poblaciones silvestres ya que el sistema de reproducción y el éxito reproductivo influyen en la distribución genética y diversidad en las poblaciones y en el crecimiento poblacional, respectivamente (Hamrick & Godt 1996). Conocer qué insectos son los más eficientes polinizando es fundamental para asegurar el éxito reproductivo, así pues, generalmente, la progenie cruzada presenta niveles más elevados de diversidad genética que los producidos por autofecundación (Lloyd 1992). Sin embargo, la autofecundación proporciona seguridad reproductiva frente a una escasez de polinizadores y, por tanto, de transferencia del polen (Knight et al. 2005). Examinar las características de polinización y los sistemas de reproducción permite diseñar estrategias de manejo para conservar taxones amenazados (Andreou et al. 2011). Por esta razón, hay un creciente interés, por parte de los ecólogos, de estudiar a dichas especies a causa de su importancia en el ámbito de la conservación ya que los endemismos por definición son raros y como consecuencia están altamente amenazados (Myers et al. 2000). Así pues, la identificación tanto de los polinizadores legítimos como de los ladrones de néctar en la amplia comunidad de visitantes florales y la identificación de los comportamientos asociados al proceso de visita, representan un elemento primordial para incrementar el conocimiento y comprender la ecología y evolución del proceso de polinización para asegurar la conservación futura de las especies endémicas. El objetivo de este estudio es analizar con detalle la comunidad de visitantes florales de *A. balearicus* para identificar que insectos son más eficientes polinizando esta especie vegetal.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo principal**

El objetivo de este estudio es analizar la comunidad de visitantes florales de *A. balearicus* para determinar que insectos actúan como polinizadores y cuáles son los más eficientes y si alguno de ellos es, en realidad, un ladrón de néctar.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Identificar los insectos que pueden ser potenciales polinizadores de *A. balearicus*.
- Conocer qué insectos visitan con mayor frecuencia las flores de *A. balearicus*.
- Averiguar la carga polínica que portan los insectos que con mayor frecuencia visitan *A. balearicus*.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Zona de estudio

El estudio se llevó a cabo en el área de Cúber (39°47'03"N 2°47'20"E), en la isla de Mallorca (Islas Baleares, España) (Figura 1). Se trata de un embalse de agua artificial localizado entre el Morro de Cúber y el Puig Major, concretamente en el valle de Almallutx. Juntamente con el embalse del Gorg Blau, constituye una gran fuente de abastecimiento de agua para la ciudad de Palma y sus alrededores (Servicio Hidráulico de Baleares 1972).



**Figura 1.** Localización de la población de estudio de *Astragalus balearicus*. Fuente: Google Earth.

Cúber, debido a su situación a la unidad de Tramuntana, se ve afectado por tres parámetros claros: las precipitaciones, las temperaturas y los vientos. Las diferencias de relieve (con alturas que superan los 1000 metros), varían las características climáticas de la zona condicionando, por tanto, la vegetación presente en ésta. La variabilidad de hábitats presentes en Cúber hace que la diversidad vegetal sea notable, lo que la convierte en una zona interesante de estudio. Además, en general, es una zona importante por su riqueza de endemismos.

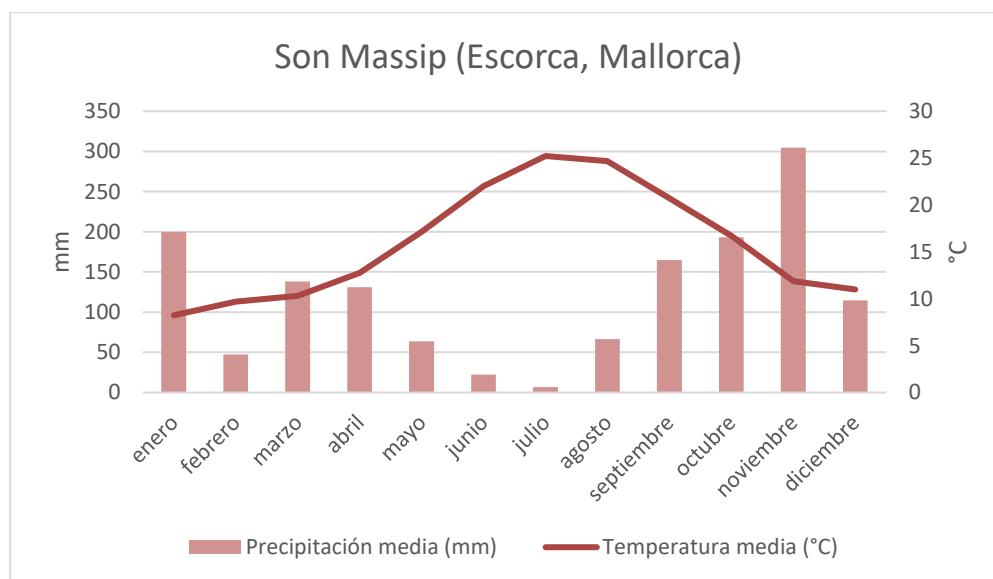
Las comunidades vegetales (Figura 2) más predominantes son el carrizo *Ampelodesmos mauritanicus* (Poiret) T. Durand et Schinz y el encinar *Quercus ilex* L. La estructura de este último viene determinada por la presencia de cabras, mulas y ovejas que influyen el crecimiento de individuos juveniles y la presencia del sotobosque de esta comunidad. También se hallan pinares, resultado de las repoblaciones hechas con el objetivo de proteger el embalse de la erosión. Las zonas más lejanas al embalse presentan un sotobosque denso, con *Smilax aspera* L., *Phlomis italica* L., *Pistacia lentiscus* L. Una comunidad que destacar es *Buxus balearica* Lam ya que se trata de una especie incluida en el

Catálogo Balear de Especies Vegetales Amenazadas. Ésta se sitúa desde los 700 hasta los 900 metros de altitud. Matorrales xerocánticos como *Teucrium subspinosum* Pourr. Ex Willd. se encuentran en las zonas más altas mientras que los juncales son más comunes en las zonas cercanas al paso de agua y su embalse.



**Figura 2.** Comunidades vegetales presentes en la zona de estudio. Fuente: A. F. Bordoy.

Para conocer la climatología característica de Cúber se analizaron los datos de la estación meteorológica de Son Massip, en Escorca (Figura 3). Se escogió dicha estación debido a que presenta datos de los últimos cinco años (2018-2022), en cuanto a temperatura y precipitación media mensual, lo que permite hacer un mejor análisis sobre el clima de la zona de estudio. La estación meteorológica de Cúber (ubicada también en Escorca), en cambio, es la más cercana pero sus datos son insuficientes para realizar un diagrama ombrotérmico fiable. El área presenta un clima mediterráneo ya que se caracteriza por tener veranos cálidos y secos e inviernos templados y húmedos. La temperatura promedio anual es de 16°C, aunque con variación estacional con meses más cálidos (por encima de los 22°C) y otros más fríos (por debajo de los 18°C) y con una amplitud térmica de 17°C. La precipitación media pluvial es de 121 mm anual y el régimen de precipitaciones presenta dos máximos, uno en otoño y otro en primavera (más acusado), siendo el invierno más seco, aunque con más lluvias que el verano. El viento medio anual es de unos 5,75 km/h aproximadamente, por esta razón, la vegetación característica de esta zona presenta especies espinosas y redondeadas como forma de protección al viento y a la pérdida de humedad.



**Figura 3.** Diagrama ombrotérmico de Son Massip (Escorca, Mallorca). Años 2018-2022. Fuente: Balearsmeteo.

### 3.2. Sujeto experimental

*Astragalus balearicus* ("coixinet de monja") es una especie endémica de las Islas Baleares (concretamente de Mallorca, Menorca y Cabrera) perteneciente a la familia de las fabáceas o leguminosas (Figura 4).

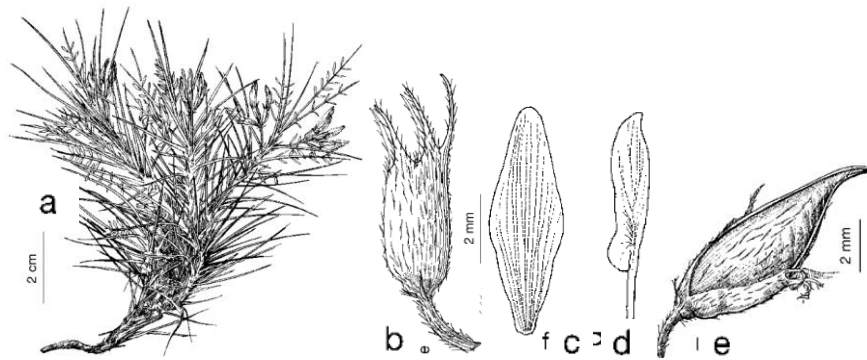


**Figura 4.** Mapa de distribución de *Astragalus balearicus*. Fuente: Bioatles.

Dicha planta tiene forma de mata densa espinosa y redondeada (Figura 5) ya que habita en áreas expuestas a vientos considerables. Presenta una altura de aproximadamente 30 cm y un diámetro de 40 cm y sus tallos están altamente ramificados con entrenudos cortos. Las hojas, de 1-3 cm, son compuestas paripinnadas, con un raquis rígido terminado en espina y con 6-10 folíolos subglabros o glabros en el haz y con pelos en el envés (Figura 6). Las flores tienen dos bractéolas pequeñas que surgen de la base del cáliz. El cáliz, con pelos blancos o negros, mide 4-6 mm y presenta dientes de 1-2 mm (más cortos que el tubo). La corola es blanquinosa con un estandarte (en forma de elipse/rombo y redondeado en el ápice) de 11-12 mm y alas de 10-11 mm (un poco más cortas que el estandarte). El fruto de 5-9 mm es incompletamente bilocular con 2-5 semillas por lóculo (Podlech 1999). La época de floración de *A. balearicus* comprende los meses de enero y julio, aunque en la zona de Cúber al tratarse de una zona de alta montaña, ésta se inicia más tarde, por abril o mayo (Bolòs 2005).



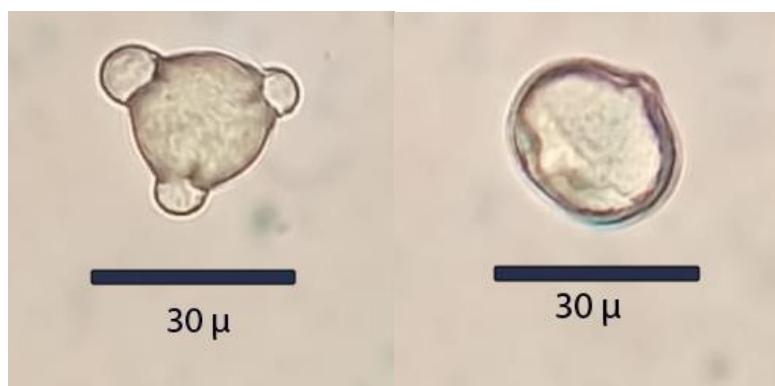
**Figura 5.** *Astragalus balearicus* ("coixinet de monja"). Fuente: A.F. Bordoy.



**Figura 6.** *Astragalus balearicus*. a) rama; b) cáliz con bractéolas; c) estandarte; d) ala; e) fruto. Fuente: Flora Ibérica.

### **Características del polen de *Astragalus balearicus***

El polen de *A. balearicus* presenta una simetría isopolar y una forma radial. Es elíptico en visión ecuatorial y de ánguloaperturado a casi circular en visión polar (Figura 7). Con relación a su apertura son trizonocolporados, las ectoaperturas son de tipo colpo y terminales y las endoaperturas de tipo poro y alargadas. En cuanto a las paredes, la exina es uniforme con un tamaño de 2  $\mu\text{m}$  con la sexina y la nexina del mismo tamaño. El tectum es completo y el infratectum columelado. Por lo que hace a la ornamentación, es perforada, psilada y algo rugulada (Boi 2007).



**Figura 7.** Polen de *A. balearicus*. Fuente: A.F. Bordoy.

### **3.3. Diseño experimental**

Se llevaron a cabo tres visitas en el área de Cúber entre finales de abril y principios de junio, época en la que florece *A. balearicus* (Herbari virtual). Como criterio para que los días de muestreo fueran comparables se aseguró que las condiciones climáticas fueran óptimas, es decir, que fuera un día soleado y sin fuertes vientos ni presencia de nubosidad. Para ello, el periodo de tiempo en cada visita fue de siete horas, empezando a las diez de la mañana, hasta las cinco de la tarde (disminución de la actividad de los visitantes florales), momento de mayor exposición solar y temperatura (Zhang

et al, 2014). El horario fue horario oficial (solar + 2h). La temperatura es el factor más relevante en la actividad de los polinizadores, al igual que en la fenología vegetal (Free 1993). Bajas temperaturas pueden afectar tanto la alimentación como el vuelo de los polinizadores (Choa & Park 1983). Otro factor importante es el viento ya que influye, generalmente de manera directa, en la actividad de los insectos. Cuando éste aumenta, el número de vuelos disminuye, llegando a interrumpirse cuando el viento alcanza una velocidad de entre 24 y 34 km/h (Kevan & Baker 1983). El área de muestreo en cada visita se seleccionó de forma aleatoria, siempre y cuando *A. balearicus* estuviera presente.

#### **3.4. Flores visitadas a lo largo del día**

Para evaluar el número de visitas de los posibles polinizadores al receptáculo floral se seleccionaron cinco individuos de *A. balearicus* que tuvieran como mínimo 70 flores activas, de manera que la población fuese atractiva para los insectos y así asegurar las visitas (Thompson 2001). Se llevaron a cabo 4 censos, de 10 minutos cada uno, por individuo y con intervalos de tiempo de 1 hora para disponer de diversos conteos a lo largo del día (10-11h, 12-13h, 14-15h y 16-17h) y obtener así datos más fiables. Durante el proceso, se anotaron los insectos observados en las flores, como mínimo a nivel de orden y en el caso que fuera posible a nivel de género y especie. En el caso de los insectos desconocidos, se fotografiaron y capturaron para su posterior clasificación en el laboratorio.

#### **3.5. Tiempo y número de flores visitadas**

De todos los polinizadores presentes en la zona se escogieron aquellos observados con mayor frecuencia como visitantes de *A. balearicus*. Para cada especie de insecto se tomaron 10 tiempos en individuos aleatorios de *A. balearicus*. Para cada polinizador se anotó la duración de la visita en la planta, con la ayuda de un cronómetro, y el número de flores visitadas durante ese periodo de tiempo, mediante un contador manual (Flaspohler et al. 1998).

#### **3.6. Captura de los polinizadores**

Para la determinación del polen de *A. balearicus* se capturaron únicamente aquellos individuos que tuvieron algún contacto previo con la planta. El proceso de captura se llevó a cabo durante diez minutos y en intervalos de tiempo de una hora, con ayuda de frascos de 60 ml de volumen. Se capturaron un mínimo de cinco ejemplares por especie y para cada muestra se indicó el número de individuo y el día de muestreo. Los insectos capturados se resguardaron en un lugar seco y sombrío hasta terminar el muestreo. Una vez finalizado, las muestras se guardaron en un congelador, proporcionado por el Área de Botánica de la Universidad de las Islas Baleares, para preservar los especímenes y el polen.

### 3.7. Identificación de los ejemplares

Para la identificación de la fauna capturada se usaron guías de identificación taxonómicas, concretamente el libro “The Natural History and Diversity of Diptera” (Marshall, 2012) para identificar los dípteros o imágenes descriptivas de las mismas. Para dicha identificación se usó un estereomicroscopio Leica Zoom 2000. A parte, se contó con la ayuda de Miguel Ángel González Estévez, taxónomo y trabajador del IMEDEA (Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados) para la clasificación de los insectos.

### 3.8. Cuantificación del polen

Para saber que insectos fueron más eficaces, se tuvo en cuenta su carga polínica, su frecuencia y el número promedio de flores visitadas. Para estimar la cantidad de polen presente en el cuerpo de los insectos capturados se siguió la metodología propuesta por Kendall & Solomon (1973) con algunas modificaciones. Cada individuo se introdujo en un tubo eppendorf de 1,5 ml con una cantidad fija de 200  $\mu$ l de etanol al 70%. Para homogeneizar las muestras, éstas se agitaron mediante un mezclador vórtex durante tres minutos. Para el recuento de polen se usó un microscopio óptico Olympus CH30 y portaobjetos dobles Fuchs Resenthal Counting Chamber. Se trata de una cámara que contiene 16 áreas de 1 mm<sup>2</sup> separadas por líneas triples con un espacio de 0,01 mm y cada área subdividida en 16 cuadrados de 0,25 mm de longitud lateral (Figuras 8 y 9). De cada muestra se cogieron 6 alícuotas de 15  $\mu$ l y se contaron los granos de polen de *A. balearicus* presentes, así como el de otras especies, aunque estos últimos no se identificaron. Por último, se extrapoló el número de granos de polen por alícuota al número total de granos de polen de la solución original para conocer la carga polínica de cada individuo.

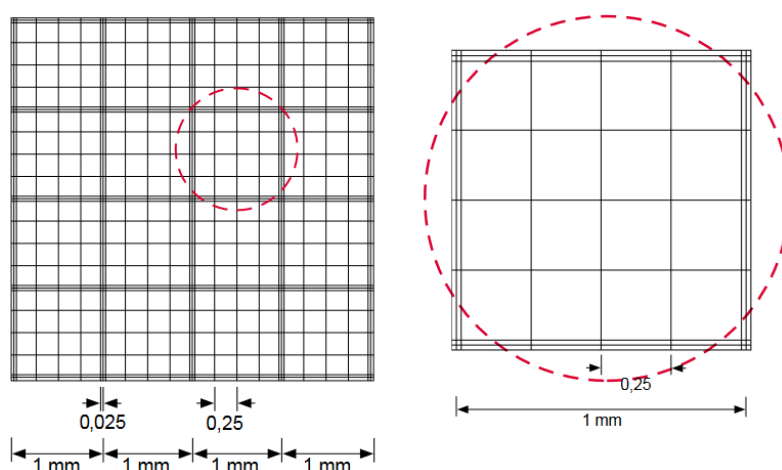
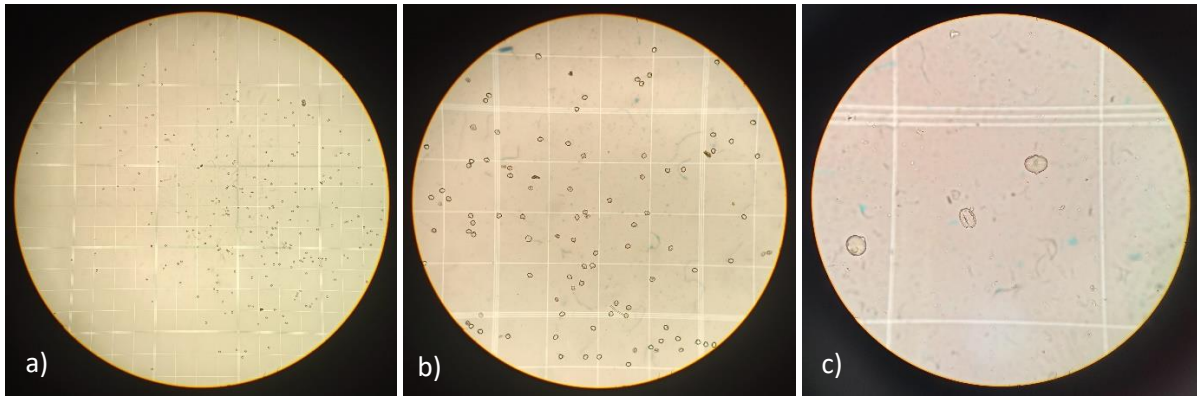


Figura 8. Cámara de recuento Fuchs-Rosenthal. Fuente: Marienfeld-Superior.





**Figura 9.** Rejilla de recuento Fuchs-Rosenthal observada a: a) 4x; b) 10x; c) 40x. El lado de cada uno de los 16 cuadrados anidados mide 0,25 mm. Fuente: A. F. Bordoy.

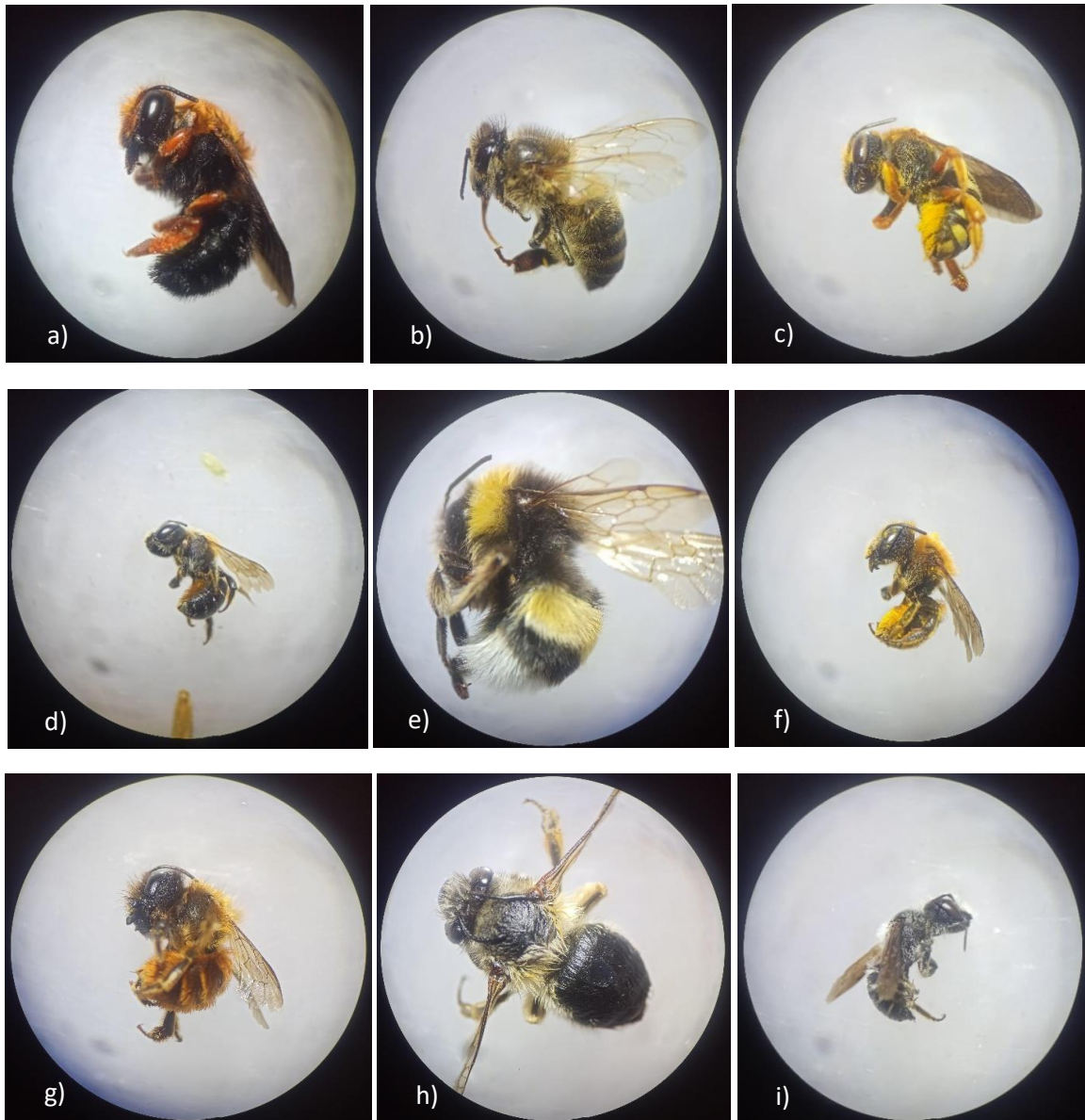
### **3.9. Análisis estadístico**

Para evaluar si existen diferencias estadísticamente significativas en el número de flores visitadas por cada especie de polinizador entre las diferentes horas del día se realizó un ANOVA de un factor (Test paramétrico) o Kruskal-Wallis (Test no paramétrico). Para cumplir con los requisitos de ANOVA, se verificó la normalidad de la varianza de todos los datos antes del análisis y el nivel de significación se fijó en 0,05. Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo mediante el programa RStudio versión 4.3.1.

## **4. RESULTADOS**

### **4.1. Insectos observados sobre las flores**

En la Figura 10 aparecen las imágenes de los distintos insectos capturados en la zona de estudio. Partiendo del análisis de composición de los visitantes florales de las diferentes especies encontradas, se estableció un orden principal de insectos que visitan las inflorescencias de *A. balearicus*: los himenópteros. Dentro de este grupo se identificaron 8 especies: *Andrena thoracica* (Fabricius, 1775), *Apis mellifera* (Linnaeus, 1758), *Rhodanthidium septemdentatum* (Latreille, 1809), *Osmia versicolor* (Latreille, 1811), *Bombus terrestris* (Linnaeus, 1758), *Osmia aurulenta* (Panzer, 1799), *Megachile sicula* (Rossi, 1792) y *Hoplitis acuticornis* (Dufour & Perris, 1840). También se observaron individuos pertenecientes al género *Anthopora* sp. (Latreille, 1803), aunque de este último no se pudo llegar a nivel de especie. De todos los himenópteros mencionados, sólo *Andrena thoracica*, *Apis mellifera*, *Rhodanthidium septemdentatum* y *Osmia versicolor* aparecieron en los censos realizados, por su gran abundancia en las inflorescencias de *A. balearicus*. En cambio, *Bombus terrestris*, *Osmia aurulenta*, *Megachile sicula*, *Anthopora* sp. y *Hoplitis acuticornis* sólo se observaron de manera esporádica por lo que se capturaron exclusivamente para cuantificar el polen presente sobre sus cuerpos.



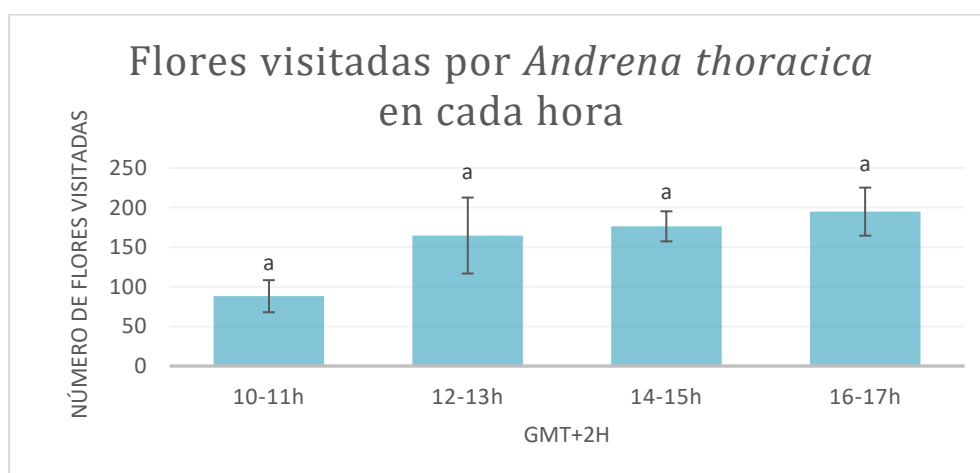
**Figura 10.** Identificación de los insectos capturados mediante una lupa a 12x. a) *Andrena thoracica*; b) *Apis mellifera*; c) *Rhodanthidium septemdentatum*; d) *Osmia versicolor*; e) *Bombus terrestris*; f) *Osmia aurulenta*; g) *Megachile sicula*; h) *Anthopora* sp.; i) *Hoplitis acuticornis*.

#### **4.2. Flores visitadas a lo largo del día**

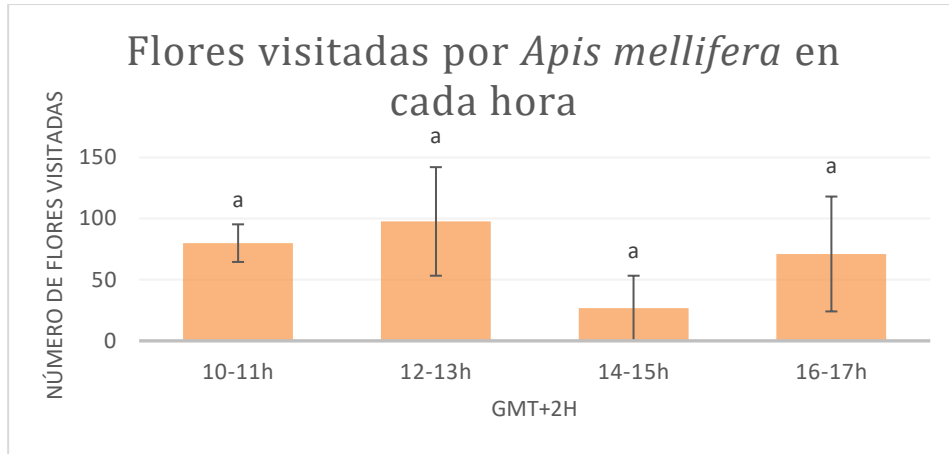
Para cada insecto individual se examinó el número de flores visitadas de *A. balearicus* a lo largo del día. Las abejas que se analizaron fueron aquellas observadas con mayor frecuencia en la zona de estudio, como se ha mencionado en el apartado anterior. Las observaciones revelaron que la actividad de *Andrena thoracica* aumentó a medida que avanzó el día, visitando menos flores durante las primeras horas de la mañana y más flores al final del día. Por tanto, el horario pico de visita, para esta especie, fue de 16h a 17h (Figura 11). En el caso de *Apis mellifera*, se observó una actividad más

regular en el transcurso del día, excepto entre las 14h y 15h donde se vio un claro descenso de su actividad, es decir, fue el momento del día en el que visitó menos flores de *A. balearicus*. La hora punta de visita para esta especie de abeja fue entre las 12h y las 13h (Figura 12). En la Figura 13 se puede observar como el patrón de actividad de *Osmia versicolor* es inverso al de *Andrena thoracica*. A diferencia de ésta última, *Osmia versicolor* visitó más flores al iniciar el día, con un horario pico de actividad entre las 10h y las 11h, y menos flores al finalizar el día. Por último, *Rhodanthidium septemdentatum* presentó un patrón de actividad similar al de *Apis mellifera* ya que su hora punta de visita también se dio entre las 12h y la 13h. Así, su mayor actividad se concentró al medio día y fue menor a primera y a última hora del día (Figura 14). Pese a estas tendencias observadas, en ningún caso se encontró evidencia estadísticamente significativa de que hubiera diferencias en el número de flores visitadas entre las diferentes horas del día.

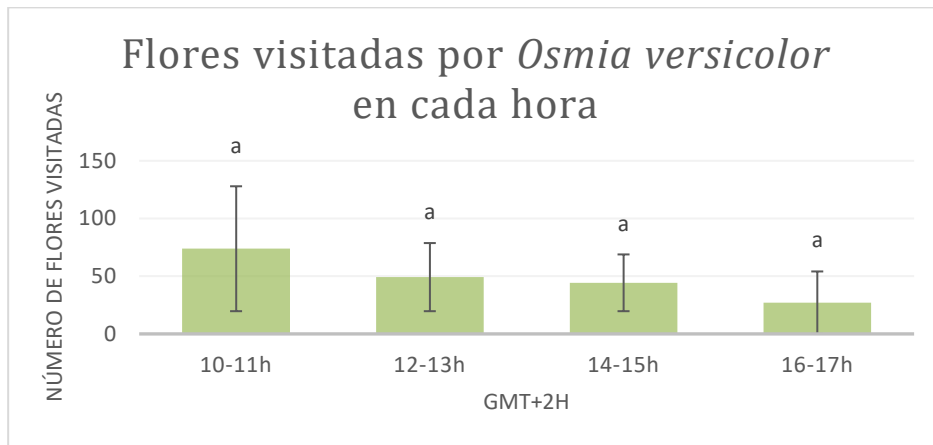
La Figura 15 muestra en conjunto la actividad realizada por los principales visitantes florales de *A. balearicus* a lo largo del día. En ella, se observa una clara diferencia entre *Andrena thoracica* y los demás polinizadores. Dicha especie es la que visitó más flores en cada hora y lo hizo de manera progresiva a medida que avanzó el día mientras que las otras tres especies lo hicieron de forma regresiva. A ésta, le sigue *Apis mellifera* ya que fue la segunda especie con mayor número de visitas a las flores de *A. balearicus*. Y, por último, *Osmia versicolor* y *Rhodanthidium septemdentatum* fueron las abejas que menos flores visitaron en un día. Así, el número total de flores visitadas de *A. balearicus*, en un día, fue de 624,0 para *Andrena thoracica*, 275,3 para *Apis mellifera*, 194,3 para *Osmia versicolor* y 119,8 para *Rhodanthidium septemdentatum*.



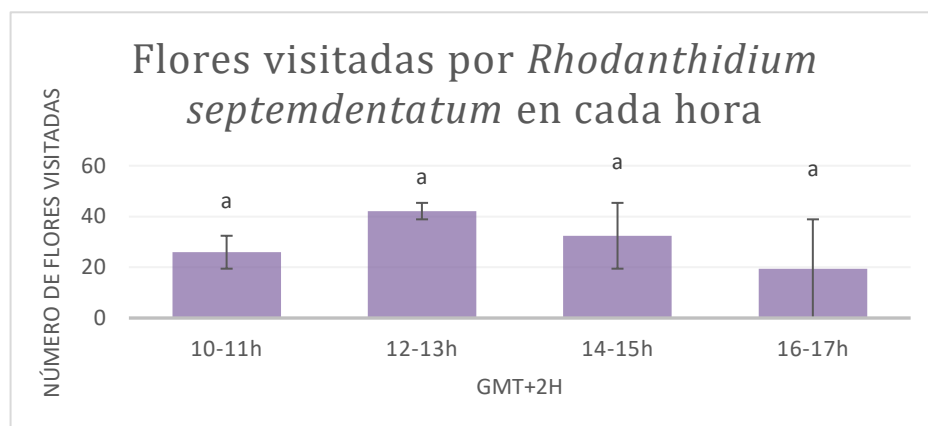
**Figura 11.** Promedio y error estándar del número de flores visitadas por *Andrena thoracica* extrapolando los censos realizados cada hora de observación. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).



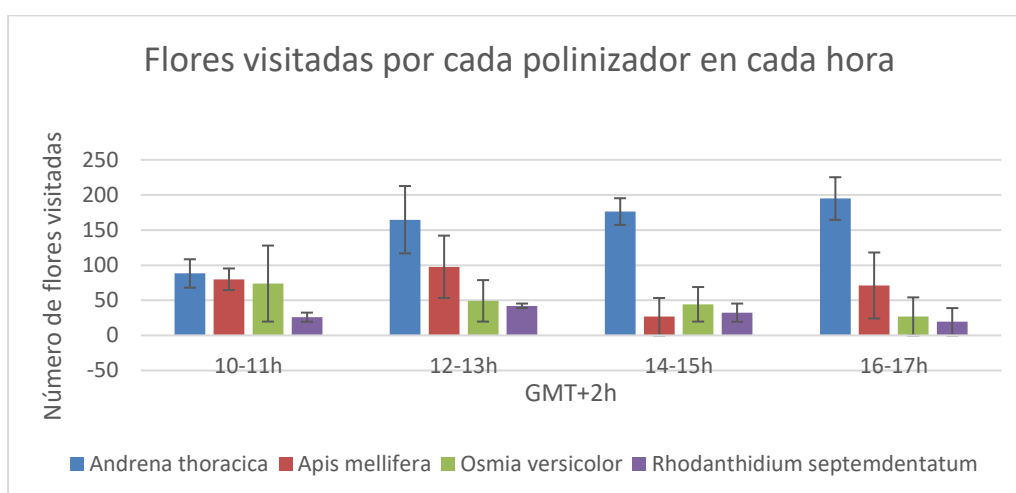
**Figura 12.** Promedio y error estándar del número de flores visitadas por *Apis mellifera* extrapolando los censos realizados cada hora de observación. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).



**Figura 13.** Promedio y error estándar del número de flores visitadas por *Osmia versicolor* extrapolando los censos realizados cada hora de observación. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).



**Figura 14.** Promedio y error estándar del número de flores visitadas por *Rhodanthidium septemdentatum* extrapolando los censos realizados cada hora de observación. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).



**Figura 15.** Gráfica sintética de las flores visitadas por cada insecto donde se aprecia la importancia de *Andrena thoracica* en cuanto al número de visitas.

#### 4.3. Tiempo y número de flores visitadas

El número de flores visitadas por inflorescencia de *A. balearicus* y el tiempo empleado se anotó únicamente de aquellas cuatro especies de himenópteros observadas con más regularidad: *Osmia versicolor*, *Andrena thoracica*, *Rhodanthidium septemdentatum* y *Apis mellifera* (Tabla 1) (Figura 16). En una visita, de las cuatro especies mencionadas, *Osmia versicolor* es la que visitó menos flores (4,1), no obstante, es la que lo hizo con el menor tiempo (18,3 s). En la zona de estudio se observó como el patrón de movimiento de dicha especie era bastante rápido y que su permanencia en una misma inflorescencia era baja, es decir, tardaba poco tiempo en cambiar de una a otra. En cuanto a *Andrena thoracica* y *Rhodanthidium septemdentatum* se puede ver como los datos son muy similares entre sí, con tiempos de 26,6 s y 38,4 s y 5,8 y 5,4 flores visitadas, respectivamente. El patrón de movimiento de estas dos especies era más lento que en el caso anterior. Por último, *Apis mellifera* es la que visitó más flores (22,2) pero lo hizo en un transcurso de tiempo más largo, de 285,9 s (casi 5 minutos). De esta especie cabe destacar que se posaba varios segundos en cada flor antes de pasar a la siguiente, de aquí a que sea la especie que presenta un mayor tiempo de permanencia en las inflorescencias de *A. balearicus*.

**Tabla 1.** Promedio de las flores y del tiempo en cada flor en cada visita a la planta.

|                                     | Flores visitadas | Tiempo (s)   |
|-------------------------------------|------------------|--------------|
| <i>Osmia versicolor</i>             | 4,1 ± 0,5        | 18,3 ± 2,6   |
| <i>Andrena thoracica</i>            | 5,8 ± 1          | 26,6 ± 5,8   |
| <i>Rhodanthidium septemdentatum</i> | 5,4 ± 1,3        | 38,4 ± 9,4   |
| <i>Apis mellifera</i>               | 22,2 ± 4,7       | 285,9 ± 59,5 |



**Figura 16.** Visitas de los polinizadores a las flores de *A. balearicus*. a) *Andrena thoracica*; b) *Rhodanthidium septemdentatum*; c) *Apis mellifera*. Fuente: A.F. Bordoy.

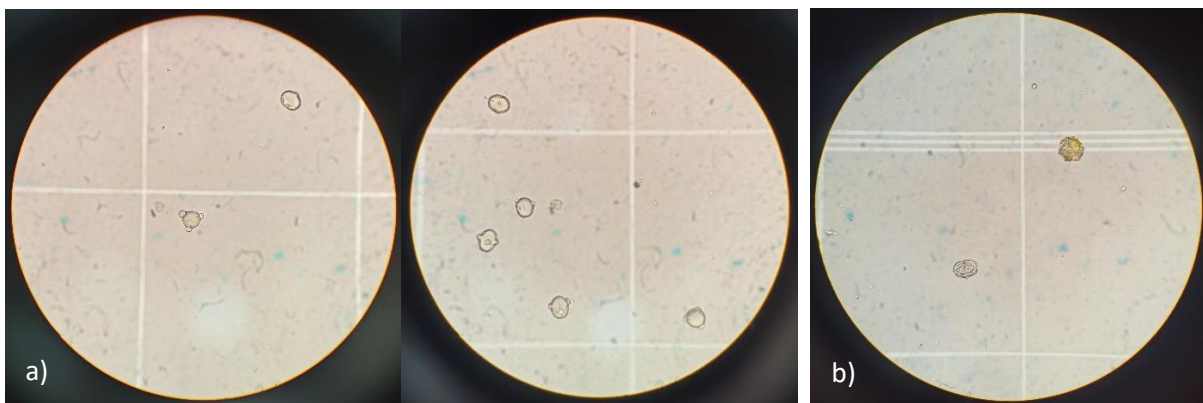
#### **4.4. Granos de polen sobre el cuerpo de los polinizadores**

La cuantificación del polen sobre el cuerpo de los insectos tanto de *A. balearicus* como de otras especies (Figura 17) se llevó a cabo en todos los ejemplares capturados durante los tres días de muestreo como se ve reflejado en la Tabla 2. Las especies se han ordenado en función de la cantidad de polen de *A. balearicus* encontrado sobre sus cuerpos. En primer lugar, situamos a las dos especies pertenecientes al género *Osmia* como las que portaron mayor cantidad relativa de polen de dicha especie vegetal puesto que *Osmia aurulenta* y *Osmia versicolor* llevaban consigo un 78% y un 77,7% de polen de *A. balearicus* y sólo un 22% y un 22,4% de otras especies, respectivamente. El porcentaje de polen cuantificado de *A. balearicus* en *Apis mellifera* fue muy similar al del género anterior siendo este valor el 76,7%. *Andrena thoracica*, *Rhodanthidium septemdentatum* y *Megachile sicula* presentan porcentajes similares entre sí e inferiores al de los tres casos anteriores, quedando *Andrena thoracica* por encima de las otras dos especies con un 56,6%, en segundo lugar, *Rhodanthidium septemdentatum* con un 45,2% y por último *Megachile sicula* con un 41,6%. Los valores, si comparamos la cantidad de polen encontrado de *A. balearicus* y de otras especies, son muy equitativos. En último lugar, situamos a *Anthophora sp.*, *Bombus terrestris* y *Hoplitis acuticornis* debido a que en sus cuerpos sólo se encontró un 29,66%, un 19,6% y un 16,8% de polen de *A. balearicus*, respectivamente. De las nueve especies capturadas, *Hoplitis acuticornis* es la que presentó menos cantidad de polen de *A. balearicus* sobre su cuerpo ya que el 83,2% del polen cuantificado perteneció a otras especies.

En valor absoluto, *Megachile sicula* y *Anthophora sp.* fueron las especies que portaron más granos de polen de *A. balearicus*, 1335,6 y 1291,1, respectivamente, seguido de *Apis mellifera* (780,9) y *Andrena thoracica* (660). Las dos especies del género *Osmia* portaron menos granos de polen en valor absoluto. En *Osmia versicolor* se encontraron 378,3 granos de polen y en *Osmia aurulenta* 204,4.

**Tabla 2.** Promedio y error estándar del número de granos de polen de *A. balearicus* y de otras especies de plantas sobre el cuerpo de los insectos capturados. Las especies se han ordenado según el % de polen de *A. balearicus* encontrado sobre sus cuerpos.

|                                     | <i>Astragalus balearicus</i> | Otras especies        |
|-------------------------------------|------------------------------|-----------------------|
| <i>Osmia aurulenta</i>              | 204,4 ± 6 (78%)              | 57,8 ± 1,2 (22%)      |
| <i>Osmia versicolor</i>             | 378,3 ± 6,7 (77,7%)          | 108,9 ± 1,8 (22,4%)   |
| <i>Apis mellifera</i>               | 780,9 ± 21,2 (76,7%)         | 237,8 ± 3,5 (23,3%)   |
| <i>Andrena thoracica</i>            | 660 ± 11,4 (56,6%)           | 505,8 ± 6,3 (43,3%)   |
| <i>Rhodanthidium septemdentatum</i> | 161,3 ± 2,8 (45,2%)          | 195,1 ± 3,5 (54,7%)   |
| <i>Megachile sicula</i>             | 1335,6 ± 23,2 (41,6%)        | 1877,8 ± 37,9 (58,4%) |
| <i>Anthophora sp.</i>               | 1291,1 ± 21,6 (29,6%)        | 3071,1 ± 65,2 (70,4%) |
| <i>Bombus terrestris</i>            | 46,7 ± 0,8 (19,6%)           | 191,1 ± 2,4 (80,4%)   |
| <i>Hoplitis acuticornis</i>         | 37,8 ± 1 (16,8%)             | 186,7 ± 2,3 (83,2%)   |



**Figura 17.** Granos de polen observados a 40x: a) *Astragalus balearicus*; b) Otras especies. El lado de los cuadrados mide 0,25 mm. Fuente: A.F. Bordoy.

## 5. DISCUSIÓN

Los principales visitantes florales de *A. balearicus* observados a lo largo de este estudio pertenecieron al orden Hymenoptera. En la zona de estudio, también se presenciaron visitas de lepidópteros, aunque de manera esporádica, motivo por el cual no aparecieron en los censos realizados ni hubo insectos capturados pertenecientes a este orden. Un estudio reciente demostró que en *A. balearicus*, de 855 interacciones (planta-visitante) observadas, el 88% perteneció al orden Hymenoptera y solo un 7% al orden Lepidoptera (Cursach et al. 2023). En otro trabajo también se observaron visitantes de ambos órdenes, a las flores de *A. balearicus*, no obstante, predominaron los himenópteros frente a los lepidópteros (Amorós et al. 2022).

Para evaluar el éxito de la polinización y de deposición de polen de un polinizador específico, un grupo de polinizadores o el conjunto completo de polinizadores se usan métodos directos e indirectos. Los métodos indirectos permiten examinar tanto la “calidad” de los visitantes florales (duración de la visita, carga de polen en el cuerpo del polinizador...) como la “cantidad” de visitas (frecuencia de visitantes, abundancia de visitantes, actividad de visitantes...) (Ne’eman et al. 2009). Así, en este estudio, para analizar la población de visitantes florales de la especie endémica *A. balearicus* y determinar que insectos realmente la polinizan y cuales no (ladrones de néctar), se han usado métodos indirectos. La deposición de polen o el éxito reproductivo femenino se han relacionado con el comportamiento de un polinizador en una flor y con la frecuencia con la que la visita (Ne’eman et al. 2009). Por ello, a lo largo de este estudio, se ha analizado el comportamiento de los visitantes florales en diferentes aspectos, cada uno de ellos relacionados con el éxito de polinización. Los parámetros estudiados fueron: el número de flores visitadas a lo largo del día, el número de flores visitadas a un individuo de *A. balearicus* y el tiempo empleado en esa visita por cada polinizador y los granos de polen presentes sobre el cuerpo de estos visitantes.

Partiendo de la base de que se encontró polen de *A. balearicus* en todos los insectos capturados (*Andrena thoracica*, *Apis mellifera*, *Rhodanthidium septemdentatum*, *Osmia versicolor*, *Bombus terrestris*, *Osmia aurulenta*, *Megachile sicula*, *Hoplitis acuticornis* y *Anthopora* sp.) no se puede constatar de la existencia de ladrones de néctar, aunque, no se puede descartar que los haya dentro de otros grupos de insectos. Pese a eso, a partir de los parámetros estudiados, se ha podido hacer una aproximación para conocer qué himenópteros son más fieles a la hora de polinizar a *A. balearicus* y determinar quién puede ser el candidato a mejor polinizador. Aun que se encontró una alta diversidad de himenópteros asociados a las flores de *A. balearicus*, se detectó una mayor riqueza y frecuencia de visitas de *Andrena thoracica*, al igual que se documentó en el trabajo de Amorós et al. (2022). Dicha especie es la que más flores de *A. balearicus* visitó, a lo largo del día, seguida de *Apis mellifera*, *Osmia versicolor* y *Rhodanthidium septemdentatum*.

En cuanto al tiempo de visita, la especie que permaneció más tiempo sobre la planta, en una visita, fue *Apis mellifera* con un tiempo de estancia de 285,9 s, a diferencia de *Osmia versicolor* que solo estuvo 18,3 s. En este caso, es difícil determinar cuál de las dos especies puede ser la más fiel ya que un mayor tiempo de estancia no significa una mayor carga eficiencia polinizadora por parte del insecto, ni que el número de flores visitadas sea mayor. Un dato importante que destacar es que ambas especies presentan patrones de movimiento muy diferentes, siendo *Osmia versicolor* mucho más rápida que *Apis mellifera*, hecho que pudo influir en el tiempo de visita. *Andrena thoracica* y *Rhodanthidium septemdentatum* permanecieron 26,6 s y 38,4 s, respectivamente. Ambos tiempos son muy similares a los obtenidos por Jaume et al. (2022) en su trabajo.



Respecto a los granos de polen presentes sobre el cuerpo de los himenópteros capturados, en valor relativo, el género *Osmia* ocupa el primer lugar como el posible polinizador más fiel ya que, tanto *Osmia aurulenta* como *Osmia versicolor* portaron un 78% y 77,7% de polen de *A. balearicus*, respectivamente. Por tanto, dichas especies tienen un comportamiento más fiel a la planta ya que portan menos polen de otras especies que puede distorsionar la polinización. La segunda especie con mayor carga polínica de *A. balearicus* fue *Apis mellifera* con un 76,7%. Dichas especies presentan porcentajes muy similares y como se ha mencionado anteriormente, un menor tiempo de visita no tiene por qué equivaler a una menor carga polínica dado que *Osmia versicolor* presentó el menor tiempo de estancia en las inflorescencias de *A. balearicus* y, a la vez, la mayor carga polínica. En este caso, *Andrena thoracica* no presentó un alto grado de fidelidad en lo que a los granos de polen se refiere, ya que solo el 56,6% del polen cuantificado perteneció a *A. balearicus*, al igual que *Rhodanthidium septemdentatum*, con solo un 45,2%. El resto de las especies (*Megachile sicula*, *Anthophora* sp., *Bombus terrestris* y *Hoplitis acuticornis*) no aparecieron en los censos realizados a lo largo del estudio y el porcentaje de polen de *A. balearicus* encontrado sobre sus cuerpos fue menor (<45%) que en el caso de otras especies por lo tanto se podría decir que contribuyen poco en el proceso de polinización de la planta estudiada. En valor absoluto, *Apis mellifera* fue la que portó más granos de polen de *A. balearicus* en comparación con las cuatro especies más importantes (*Andrena thoracica*, *Osmia aurulenta*, *Osmia versicolor* y *Rhodanthidium septemdentatum*) por lo que su capacidad de dejar polen sobre los estigmas es mucho mayor en *A. balearicus* que en otras especies vegetales. Así, teniendo en cuenta ambos valores (relativo y absoluto) *Apis mellifera* podría resultar ser la más eficiente. Sin embargo, *Megachile sicula* y *Anthophora* sp. fueron los insectos con mayor carga polínica, pero al ser visitantes menos frecuentes seguramente son polinizadores menos eficientes.

Algunos autores distinguen entre “eficacia” como la contribución del polinizador al éxito reproductivo medio en tasas de producción de frutos y semillas (Ne’eman et al. 2009) y “eficiencia” como la contribución del polinizador a la deposición de granos de polen compatibles y viables en el estigma de la flor (Liu et al. 2020). En el presente estudio se ha hecho una aproximación a la eficiencia. Las especies estudiadas han parecido ser polinizadores potencialmente legítimos, pues todas ellas llevaron consigo polen de *A. balearicus*. Considerando, en conjunto, todos los parámetros estudiados, es difícil establecer que visitante floral es más eficiente en la polinización de *A. balearicus*. El mejor candidato podría ser *Osmia versicolor* al ser la especie que presentó un mayor porcentaje de polen de *A. balearicus* en su cuerpo. Por otro lado, *Apis mellifera* podría ser también un candidato al mejor polinizador puesto que, también se encontró un porcentaje elevado de polen de *A. balearicus* y fue la que permaneció más tiempo en las inflorescencias de *A. balearicus*

pudiendo visitar así más número de flores. *Andrena thoracica*, aunque fue la especie que más flores de *A. balearicus* visitó a lo largo del día, tuvo un porcentaje de polen de *A. balearicus* mucho menor y a la vez similar al porcentaje de polen encontrado de otras especies, lo que la convertiría en una especie polinizadora menos eficiente que las anteriores. En último lugar se podría situar a *Rhodanthidium septemdentatum* debido a que fue el insecto que visitó menos flores de *A. balearicus* y el que presentó menor carga polínica en comparación con los polinizadores mencionados anteriormente. El resto de los visitantes florales, aún ser polinizadores de *A. balearicus*, no parecieron ser tan fieles por su poca abundancia en la zona de estudio y la baja carga polínica de *A. balearicus*.

Identificar tanto los polinizadores legítimos como los ladrones de néctar en poblaciones endémicas es de especial interés para entender la ecología y evolución del proceso de polinización y favorecer así la reproducción. El fenómeno del robo de néctar no sólo puede influir en el crecimiento de la población de las plantas y las interacciones comunitarias, sino que también pueden tener un impacto en la estabilidad de las redes de interacciones plantas-polinizadores (Arizmendi et al. 1996). Se requiere más investigación para estudiar los efectos del hurto floral en las plantas endémicas para su conservación.

## 6. CONCLUSIONES

Todas las especies capturadas en la zona de estudio portaron consigo polen de *A. balearicus*. Sin embargo, hay diferencias en el porcentaje de polen encontrado sobre el cuerpo de los diferentes insectos. El porcentaje de polen de *A. balearicus* en *Osmia aurulenta*, *Osmia versicolor* y *Apis mellifera* superó el 75%. *Andrena thoracica* tuvo menos polen de *A. balearicus* (56,6%), aun así, fue la especie que más flores visitó en un día. *Rhodanthidium septemdentatum* fue el himenóptero que visitó menos flores y, además, apenas portó polen *A. balearicus* en su cuerpo (45,2%). Cada uno de los visitantes florales estudiados parecen ser polinizadores potencialmente legítimos de la especie endémica *A. balearicus* debido a que todos participan y contribuyen en el proceso de polinización. Por ende, no se ha evidenciado de la presencia de ladrones de néctar.

## 7. AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quería agradecerle a mi tutor, el Dr. Juan Rita Larrucea, su compromiso y ayuda constante durante la realización de este trabajo de fin de grado, así como sus indicaciones a lo largo de la elaboración de éste. Darle las gracias por su paciencia y dedicación en resolver todas las dudas que me han surgido a lo largo de la redacción de la memoria. Agradecer también a mis padres, gracias a los cuales he podido llegar tan lejos a día de hoy y que tanto me han motivado a seguir

adelante con la carrera. Agradezco enormemente a mi madre, Ana María Bordoy Coll, a Ketti Palacio y a mi amigo y compañero Jaume Andreu Amorós Llodrá por acompañarme en las salidas de campo para recoger todos los datos y muestras que han sido cruciales para poder llevar a cabo este trabajo. Agradezco también a Miguel Ángel González Estévez, taxónomo del IMEDEA (Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados) por su ayuda en la identificación de los ejemplares capturados durante el estudio. Finalmente quería hacer una mención a todos mis amigos y compañeros que me han apoyado durante toda esta etapa y los cuales han revisado esta memoria.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amorós, J.A., Ventura, A., & Fuster, M. (2022). *Estudi de pol·linitzadors a Astragalus balearicus*. Manuscrito inédito.

Andreou, M., Delipetrou, P., Kadis, C., Tsiamis, G., Bourtzis, K., & Georghiou, K. (2011). *An integrated approach for the conservation of threatened plants: the case of Arabis kennedyae (Brassicaceae)*. *Acta Oecol.* 37, 239-248.

Arizmendi, M. C., Dominguez, C. A. & Dirzo, R. (1996). *The role of an avian nectar robber and of hummingbird pollinators in the reproduction of two plant species*. *Functional Ecology*, 10, 119-127.

Barrows, E. M. (1980). *Robbing of exotic plants by introduced carpenter and honey bees in Hawaii with comparative notes*. *Biotropica*, 12, 23-29.

Boi, M., & Llorens, L. (2007). *Atlas polínico de las Baleares flora endémica*. *Associació Jardí Botànic de Palma*.

Bolòs, O. (2005). *Flora manual dels Països Catalans (3a ed.)*. *Pòrtic*.

Bronstein, J. L. (2001). *The exploitation of mutualisms*. *Ecology Letters*, 4, 277-287.

Bosch, M., & Nickolas, M. W. (2001). *Experimental manipulation of plant density and its effect on pollination and reproduction of two confamilial montane herbs*. *Oecologia* 126.1, 76-83.

Burkle, L. A., Irwin, R. E., & Newman, D. A. (2007). *Predicting the effects of nectar robbing on plant reproduction: implications of pollen limitation and plant mating system*. *American Journal of Botany*, 94, 1935-1943.

Campbell, C., Yang, S., Albert, R., & Shea, K. (2011). *A network model for plant-pollinator community assembly*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108, 197-202.

Castro, S., Silveira, P., & Navarro, L. (2009). *Floral traits variation, legitimate pollination, and nectar robbing in Polygala vayredae (Polygalaceae)*. *Ecological Research*, 24, 47-55.

Choe, Kwang-Ryul, & Joong-Soo Park. (1983). *Effects of low temperature on the development of greenhouse white fly, Trialeurodes vaporariorum (Westwood) (Homoptera: Aleyrodidae)*. *Korean journal of applied entomology*, 22.4, 233-236.

Crisp, M. D., Laffan, S., Linder, H. P., & Monro, A. (2001). *Endemism in the Australian flora*. *Journal of*

*Biogeography*, 28(2), 183–198.

Cursach, J., Borràs, J., Capó, M., Rita, J., González-Estévez, M.A., & Lázaro, A. (2023). Mecanismos de polinización y éxito reproductivo de dos especies endémicas de las Islas Baleares. Libro de resúmenes del XI Congreso de Biología de Conservación de Plantas. Las Palmas (17-21 julio 2023). pp 17. Ed. SEBICOP.

de Jong, T. J., Waser, N. M., Price, M. V., & Ring, R. M. (1992). Plant size, geitonogamy and seed set in *Ipomopsis aggregate*. *Oecologia* 89, 310-315.

Fenster, C. B., Armbruster, W. S., Wilson, P., Dudash, M. R., & Thomson, J. D. (2004). Pollination syndromes and floral specialization. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35, 375-403.

Flaspohler, D. J. (1998). A Technique for Sampling Flying Insects (Técnica Para Muestrear Insectos Voladores). *Journal of Field Ornithology*, 69(2), 201–08.

Flora ibérica. <http://www.floraiberica.org/> [02/04/2023]

Fontaine, C., Dajoz, I., Meriguet, J., & Loreau, M. (2005). Functional Diversity of Plant–Pollinator Interaction Webs Enhances the Persistence of Plant Communities. *PLoS Biology*, 4(1), e1.

Frankel, R., & Galun, E. (1977). *Allogamy. Pollination mechanisms, reproduction and plant breeding*. Springer, Berlin, Heidelberg, 79-234.

Free, J. B. (1993). *Insect Pollination of Crops (2a ed.)*. Academic Press.

Free J. B., & Williams I. H. (1973). The foraging behaviour of honeybees (*Apis mellifera*) on Brussels spouts (*Brassica oleracea* L.). *J. Appl. Ecol*, 10, 489-499.

Galen, C. (1996). Rates of floral evolution - adaptation to bumblebee pollination in an alpine wildflower, *Polemonium viscosum*. *Evolution* 50, 120–125.

Goulson, D. (1999). Foraging strategies of insects for gathering nectar and pollen, and implications for plant ecology and evolution. *Perspectives in plant ecology, evolution and systematics*, 2.2, 185-209.

Goulson, D., Lye, G. C., & Darvill, B. (2008). Decline and conservation of bumble bees. *Annual Review of Entomology*, 53, 191– 208.

Hamrick, J. L., & Godt, M. J. W. (1996). Effects of life history traits on genetic diversity in plant species. *Proc. R. Soc. Lond. B: Biol. Sci.* 351, 1291-1298.

Herbari virtual UIB. <http://herbarivirtual.uib.es/> [20/03/2023]

Hodges, C. M. (1985). Bumble bee foraging: The threshold departure rule. *Ecology*, 66, 179–187.

Inouye, D. W. (1980). The terminology of floral larceny. *Ecology*, 61, 1251-53.

Irwin, R. E. (2009). Realized tolerance to nectar robbing: compensation to floral enemies in *Ipomopsis aggregata*. *Annals of Botany*, 103, 1425-1433.

Irwin, R. E., & Brody, A. K. (1998). Nectar-robbing in *Ipomopsis aggregata*: effects on pollinator

- behavior and plant fitness. *Oecologia*, 116, 519-527.
- Irwin, R. E., & Brody, A. K. (1999). Nectar-robbing bumble bees reduce the fitness of *Ipomopsis aggregata* (Polemoniaceae). *Ecology*, 80, 1703-1712.
- Irwin, R. E. & Brody, A. K. (2000). Consequences of nectar robbing for realized male function in a hummingbird-pollinated plant. *Ecology*, 81, 2637-2643.
- Irwin, R. E., Brody, A. K., & Waser N. M. (2001). The impact of floral larceny on individuals, populations, and communities. *Oecologia*, 129, 161-68.
- Irwin, R. E., Bronstein, J. L., Manson, J. S., & Richardson, L. (2010)- Nectar robbing: ecological and evolutionary perspectives. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 41, 271-292.
- Irwin, R. E., & Maloof, J.E. (2002). Variation in nectar robbing over time, space, and species. *Oecologia*, 133, 525-533.
- Jansà, A. (2014). *El clima de les Illes Balears (1ª ed.)*. Lleonard Muntaner Editor, S.L.
- Kendall D. A., & Solomon, M. E. (1973). Quantities of Pollen on the Bodies of Insects Visiting Apple Blossom. *Journal of Applied Ecology*, 10(2), 627–634.
- Kevan, P. G., & Baker, H. G. (1983). Insects as flower visitors and pollinators. *Annual review of entomology*, 28.1, 407-453.
- Knight, T. M., Steets, J. A., Vamosi, J. C., Mazer, S. J., Burd, M., Campbell, D. R., Dudash, M. R., Johnston, M. O., Mitchell, R. J., & Ashman, T. L. (2005). Pollen limitation of plant reproduction: pattern and process. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 36, 467–497.
- Lara, C., & Ornelas, J. F. (2001). Effects of nectar theft by flower mites on hummingbird behavior and the reproductive success of their host plant, *Moussonia deppeana* (Gesneriaceae). *Oikos*, 96, 470-480.
- Liu, R., Chen, D., Luo, S., Xu, S., Xu, H., Shi, X., & Zou, Y. (2020). Quantifying pollination efficiency of flower-visiting insects and its application in estimating pollination services for common buckwheat. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 301, 107011.
- Lloyd, D. G. (1992). Self- and cross-fertilization in plants II. The selection of self-fertilization. *Int. J. Plant Sci.* 153, 370–380.
- Maloof, J. E., & Inouye, D. W. (2000). Are nectar robbers cheaters or mutualists? *Ecology*, 81, 2651-2661.
- McDade, L. A., & Kinsman, S. (1980). The impact of floral parasitism in two neotropical hummingbird-pollinated plant species. *Evolution*, 34, 944-958.
- Milet-Pinheiro, P., & Schlindwein, C. (2009). Pollination in *Jacaranda rugosa* (Bignoniaceae): euglossine pollinators, nectar robbers and low fruit set. *Plant Biology*, 11, 131–141.
- Miller, T. E., & Travis, J. (1996). The evolutionary role of indirect effects in communities. *Ecology*, 77, 1329-1335.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity

hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403, 853-858.

Ne'eman, G., Jürgens, A., Newstrom-Lloyd, L., Potts, S. G., & Dafni, A. (2009). A framework for comparing pollinator performance: effectiveness and efficiency. *Biological Reviews*, no–no.

Newman, D. A., & Thomson, J. D. (2005). Interactions among nectar robbing, floral herbivory, and ant protection in *Linaria vulgaris*. *Oikos*, 110, 497-506.

Podlech, D. (1999). *Astragalus* L. in Castroviejo, S., Aedo, C., Laínz, M., Muñoz Garmendia, F., Nieto Feliner, G., Paiva, J. & Benedí, C. (eds.). *Flora ibérica*, 7, 279-238. Real Jardín Botánico, CSIC, Madrid.

Proctor, M., Yeo, P., & Lack, A. (1996). *The natural history of pollination*. Portland: Timber Press.

Roubik, D. W. (1982). The ecological impact of nectar-robbing bees and pollinating hummingbirds on a tropical shrub. *Ecology*, 63, 354-360.

Roubik, D. W., Holbrook, N. M., & Parra, G. V. (1985). Roles of nectar robbers in the reproduction of the tropical treelet *Quassia amara* (Simaroubaceae). *Oecologia*, 66, 161-167.

Schatz, B., Sauvion, N., Kjellberg, F., & Nel, A. (2017). *Plant-Insect Interactions. Insect-Plant. Interactions in a Crop Protection Perspective*, 1–24.

Samways, M. J. (2005). *Insect diversity conservation*. Cambridge University Press.

SERVICIO HIDRÁULICO DE BALEARES (1972). *Ampliación del abastecimiento de agua de Palma de Mallorca*. Dirección General de Obras Hidráulicas. M.O.P. Madrid.

Stout, J.C., Allen, J.A., & Goulson, D. (2000). Nectar robbing, forager efficiency and seed set: bumblebees foraging on the self incompatible plant *Linaria vulgaris* (Scrophulariaceae). *Acta Oecologica*, 21, 277-283.

Terry, E. L. (1982). Tropical forests: their richness in Coleoptera and other arthropod species. *Coleopt. Bull.* 36, 74-75.

Thompson, J. D. (2001). How do visitation patterns vary among pollinators in relation to floral display and floral design in a generalist pollination system? *Oecología*, 126, 386-394.

Waser N. M., Chittka L., Price M. V., Williams N. M., & Ollerton J. (1996). Generalization in pollination systems, and why it matters, *Ecology*. 77, 1043-1060.

Zhang, Y.-W., Yu, Q., Zhao, J.-M., & Guo, Y.-H. (2009). Differential effects of nectar robbing by the same bumble-bee species on three sympatric *Corydalis* species with varied mating systems. *Annals of Botany*, 104, 33-39.

Zhang, Y.-W., Zhao, J., Inouye, D. W., & Heard, M. (2014). Nectar thieves influence reproductive fitness by altering behaviour of nectar robbers and legitimate pollinators in *Corydalis ambigua* (Fumariaceae). *Journal of Ecology*, 102, 229-237.

Zimmerman, M. (1988). Pollination biology of montane plants: Relationship between rate of nectar production and standing crop. *Am. Midland Nat.*, 120, 50-57.

Zimmerman, M., & Cook, S. (1985). Pollinator foraging, experimental nectar-robbing and plant fitness in *Impatiens capensis*. *American Midland Naturalist*, 113, 81-84.