



**Universitat de les
Illes Balears**

Facultat de Ciències

Memòria del Treball de Fi de Grau

Patrones en la diversidad de especies, abundancia y grado de generalismo de los polinizadores en diferentes ambientes en la isla de Mallorca

Anna Sharapova

Grau de Biologia

Any acadèmic 2016-17

DNI de l'alumne: X2934966M

Treball tutelat per Anna Traveset Vilaginés
Departament de Biologia

S'autoritza la Universitat a incloure aquest treball en el Repositori Institucional per a la seva consulta en accés obert i difusió en línia, amb finalitats exclusivament acadèmiques i d'investigació	Autor		Tutor	
	Sí	No	Sí	No
	X		X	

Paraules clau del treball:

Especies endémicas, grado de generalismo, grupo funcional, interacciones mutualistas, polinizadores.

Índice

Resumen.....	4
Introducción y objetivos.....	5
Material y métodos.....	6
Zonas de estudio.....	6
Número total de interacciones.....	7
Grado de generalismo.....	7
Grupos funcionales.....	7
Endemismos y grado de amenaza.....	7
Análisis de los datos.....	8
Resultados.....	9
Composición de especies.....	9
Diversidad.....	12
Grado de generalismo.....	12
Similitud.....	14
Correlación entre la abundancia de flores y visitas florales.....	14
Discusión.....	15
Conclusiones.....	16
Agradecimientos.....	17
Referencias.....	17

Resumen

Los polinizadores son un elemento crucial tanto para ecosistemas naturales como agrícolas en todo el mundo. La cuenca mediterránea presenta una alta diversidad de polinizadores y es uno de los centros con mayor diversidad de abejas. No obstante, todavía faltan muchos aspectos por estudiar de la polinización en esta parte del planeta. En este trabajo se ha estudiado la composición de especies, la diversidad, la similitud, el grado de generalismo y la abundancia entre polinizadores de tres zonas de la isla de Mallorca, dos costeras (Son Bosc y Cala Mesquida) y una de montaña (Puig Major). Además, se han estudiado las especies endémicas que hay en cada una de las tres zonas determinando el grado de amenaza que presentan y su grado de generalismo. Los resultados obtenidos indican que los polinizadores más abundantes y aquellos que se encuentran tanto en costa como en montaña son generalistas, es decir visitan un número alto de especies de plantas. El número de especies generalistas más elevado lo han presentado los coleópteros, dípteros y abejas y prácticamente todas las especies endémicas de las tres zonas de estudio son generalistas (6 especies de 7). Por último, Puig Major ha mostrado ser la zona con mayor diversidad de polinizadores y, como se esperaba, las dos zonas costeras presentan mayor similitud entre ellas que con la zona de montaña.

Resum

Els pol·linitzadors són un element crucial tant pels ecosistemes naturals com pels agrícoles de tot el món. La conca mediterrània presenta una alta diversitat de pol·linitzadors i és un dels centres amb major diversitat d'abelles, tot i això, encara falten molts aspectes per estudiar de la pol·linització en aquesta part del planeta. En aquest treball s'ha estudiat la composició d'espècies, la diversitat, la similitud, el grau de generalisme i l'abundància entre pol·linitzadors de tres zones de l'illa de Mallorca, dues costeres (Son Bosc i Cala Mesquida) i una de muntanya (Puig Major). A més, s'han estudiat les espècies endèmiques que hi havia a cada una de les tres zones determinant el grau d'amenaça que presenten i el seu grau de generalisme. Els resultats obtinguts indiquen que els pol·linitzadors més abundants i aquells que es troben tant a la costa com a la muntanya són generalistes, és a dir que visiten les flors d'un bon nombre de plantes. El nombre d'espècies generalistes més elevat l'han presentat els coleòpters, dípters i abelles, i pràcticament totes les espècies endèmiques de les tres zones d'estudi són generalistes (6 espècies de 7). Per últim, el Puig Major ha mostrat ser la zona amb major diversitat de pol·linitzadors y, tal com s'esperava, les dues zones costeres presenten major similitud entre elles que amb la zona de muntanya.

Abstract

Pollinators are a crucial element of both natural and agricultural ecosystems around the world. The Mediterranean basin has a high diversity of pollinators and it is one of the centres with greatest diversity of bees. However, there are still a lot of aspects that need studying regarding pollination in this part of the planet. In this work, we have studied the following aspects: the composition of species, the diversity, similarity, degree of specialization and abundance of the pollinators of three areas of the island of Mallorca, two of them coastal areas (Son Bosc and Cala Mesquida) and one mountain area (Puig Major). Moreover, we have examined the endemic species of each area and have assessed their degree of vulnerability besides their degree of specialization. The results obtained indicate that the most abundant pollinators and those that are in both the coastal and the mountain area are generalist species, i.e. they visit a high number of plant species. The highest number of generalist species were coleopterans, dipterans and bees and most endemic species of all three areas are generalists (6 out of 7 species). Lastly, Puig Major has shown to be the zone with the highest diversity of pollinators and, as expected, both coastal areas are more similar between them regarding pollinators than when compared to the mountain area.

Introducción y objetivos

Prácticamente cada especie en la Tierra presenta al menos una interacción de mutualismo (Bronstein et al. 2006). Uno de los mutualismos más importantes es el que se produce durante la polinización debido a las interacciones entre animales y plantas. A pesar de que la mayoría de plantas utilizan la reproducción asexual, el intercambio genético producido por la reproducción sexual mediante la polinización cruzada es de vital importancia para el mantenimiento de las poblaciones a corto plazo y para la evolución de las especies a largo plazo (Kessler et al. 2009). En el proceso de polinización, el polen viaja de las anteras a los estigmas diana para fertilizar los óvulos y así producir semillas. A cambio de ofrecer este beneficio a las plantas, los polinizadores obtienen alimento y otras recompensas como polen y néctar.

Se estima que el 87,5% de todas las plantas con flores (angiospermas), unas 308.000 especies, dependen en mayor o menor medida de los animales para su polinización (Ollerton et al. 2011). Por ello, los polinizadores son una parte crucial tanto para los ecosistemas naturales como los agrícolas. En los ecosistemas naturales, la polinización por animales influye sobre las dinámicas poblacionales, el mantenimiento de la biodiversidad, la diversificación, la coevolución de especies y la estructura de las comunidades (Pellmyr 2002, Waser & Ollerton 2006, Bascompte & Jordano 2007). En cuanto a los ecosistemas agrícolas, se estima que un tercio de la producción agrícola mundial se obtiene gracias a los polinizadores (Klein et al. 2007) y la producción del 80% de las especies cultivadas en Europa depende directamente de los insectos polinizadores (Williams 1994).

A pesar de su importancia, los polinizadores y los servicios que proporcionan se encuentran bajo una creciente presión por parte de diversas fuentes antrópicas (Kremen & Ricketts 2000, Kevan 2001). Entre las principales amenazas se encuentran la pérdida y fragmentación del hábitat (Donaldson et al. 2001, Ricketts 2004, Spiesman & Inouye 2013), la intensificación agrícola (Le Féon et al. 2010), la contaminación (Lado, Hengl & Reuter 2008), el cambio climático (Hegland et al. 2009, Gonzalez-Varo et al. 2013) y la introducción de plantas exóticas (Potts et al. 2010).

Los principales polinizadores a escala mundial son los insectos. Se han descrito aproximadamente 290.000 especies de insectos que visitan flores por todo el mundo (Nabhan & Buchmann 1997) y las abejas son los insectos polinizadores predominantes para la mayoría de plantas y ecosistemas (Winfree et al. 2011). En particular, la cuenca mediterránea presenta una alta diversidad de polinizadores (Potts et al. 2006) además de ser uno de los centros mundiales con mayor diversidad de abejas (Nielsen et al. 2011). Sin embargo, esta área sufre constantes alteraciones de sus hábitats y a pesar de ello, todavía se desconocen muchos aspectos de la polinización mediante animales en este lugar del planeta.

Debido a su relativamente baja riqueza en especies, alto nivel de endemidad y limitada área respecto a las regiones continentales, las islas son ecosistemas ideales para el estudio de determinados procesos ecológicos. Sin embargo, son particularmente susceptibles a las perturbaciones antrópicas debido al pequeño tamaño de sus poblaciones y a la alta endemidad que presentan. La biodiversidad endémica de muchos ecosistemas isleños se ve amenazada por la creciente presión antrópica, principalmente por la introducción de especies exóticas invasoras y la alteración y destrucción de su hábitat (Kaiser-Bunbury et al. 2010). Por ello, es necesario realizar más estudios sobre las comunidades de polinizadores en islas.

En la isla de Mallorca, se han estudiado las comunidades de polinizadores siempre desde la perspectiva de redes de interacción. Por eso, ahora es necesario comparar las diferentes zonas de estudio a un nivel más básico, para averiguar qué grupos son los más importantes cuantitativamente, qué especies comparten las zonas y qué grado de amenaza presentan algunas especies. El presente trabajo pretende comparar la composición de especies, la diversidad, el grado de generalismo y la abundancia entre polinizadores de tres zonas de la isla de Mallorca. Se trata de dos zonas costeras, Cala Mesquida, una comunidad dunar y Son Bosc, una comunidad de plantas oportunistas en general establecida sobre unas dunas fósiles, mientras que Puig Major es una comunidad de matorral de montaña con una buena fracción de plantas endémicas. Además, otro objetivo es identificar qué especies endémicas hay en cada una de las tres zonas determinando el grado de amenaza que presentan, además de comprobar si las interacciones de estas especies endémicas son más

especializadas. Por último, se pretende determinar el grado de similitud de los polinizadores de las tres zonas.

Material y métodos

Los datos obtenidos de los polinizadores y plantas que se han utilizado en este trabajo provienen de las tesis doctorales de Cristina Tur y de Rocío Castro Urgal realizadas dentro del equipo de la Dra. Anna Traveset (mencionadas en Referencias).

Zonas de estudio

Las zonas de estudio de las tesis fueron dos zonas de costa (Son Bosc y Cala Mesquida) y una zona de montaña (Puig Major), figura 1. A continuación, se describen las tres zonas.



Figura 1. Mapa de las tres zonas de estudio: Son Bosc (amarillo), Cala Mesquida (naranja), Puig Major (verde). Fuente de la imagen: <http://ideib.caib.es>.

La zona de Son Bosc (SB), ubicada en el norte de la isla de Mallorca (39° 46' 28.1" N, 3° 07' 45.3" E), está compuesta por marismas y dunas. Presenta una gran diversidad de plantas, pero sobretodo la vegetación predominante está formada por *Daucus carota* L. (Apiaceae), *Helichrysum stoechas* DC. (Asteraceae), *Lotus corniculatus* L. (Fabaceae), *Lotus cytisoides* L. (Fabaceae), *Scabiosa atropurpurea* L. (Dipsacaceae) y *Teucrium dunense* Sennen (Lamiaceae).

La zona de Cala Mesquida (CM) se encuentra en el noreste de la isla (39° 44' 37.63" N, 3° 26' 02.12" E). Presenta uno de los sistemas dunares mejor conservados de Mallorca y está dominada por la vegetación típica de las dunas: *Euphorbia paralias* L. (Euphorbiaceae), *Helichrysum stoechas*, *Scrophularia canina* L. (Scrophulariaceae), *Teucrium capitatum* L. (Lamiaceae) y *Lotus cytisoides*.

La zona de Puig Major (PM) corresponde a dos localizaciones en la montaña más alta de la isla (Puig Major, 1445 m): Sa Coma de n'Arbona (39° 48' 5" N, 2° 47' 9" E) y Passadís de Ses Clotades (39° 48'

34° N, 2° 47' 50" E). La vegetación de esta zona está adaptada al clima de montaña, a menudo adaptando formas redondeadas y espinosas con la presencia de numerosas plantas endémicas. La vegetación está dominada por *Teucrium marum* (Lamiaceae), *Hypericum balearicum* (Hypericaceae), *Rosmarinus officinalis* (Lamiaceae) y *Euphorbia characias* (Euphorbiaceae).

Las dos zonas de costa se encuentran a nivel del mar mientras que la zona de montaña está ubicada entre los 1100 m (Sa Coma de n'Arbona) y los 1400 m (Passadís de Ses Clotades) por encima del nivel del mar.

Número total de interacciones

Las interacciones se calcularon a partir de las matrices de visitas obtenidas para cada año y zona (los años 2008, 2009 y 2010 para CM; 2008, 2009, 2010 y 2011 para SB y 2009, 2010 y 2011 para PM). Para cada zona, se ordenaron tanto los polinizadores (eje horizontal) como las plantas (eje vertical) en una matriz y se sumaron las interacciones observadas de cada año para cada uno de los polinizadores y sus respectivas plantas. A continuación, en la matriz suma de cada zona se sumaron las interacciones de cada polinizador para así determinar el número de interacciones totales. A los valores que daban 1 (indicando que el polinizador sólo visitaba una especie de planta) como resultado se procedió a comprobar el número de visitas florales observadas. Para distinguir una especie verdaderamente especialista (visitando pocas especies de plantas) de las especies que son muy raras y se observan muy pocas veces (y, por tanto, no puede determinarse con seguridad si son o no generalistas), se consideró que, si el número de flores visitadas por la especie de polinizador era menor que 3 se clasificaría como 'singleton' y, por tanto, se eliminaría del análisis para no sesgar los resultados.

El tiempo total dedicado a observar las interacciones entre plantas y polinizadores fue de 91 h 57 min en Son Bosc, 84 h 45 min en Cala Mesquida y 51 h 35 min en Puig Major. El número total de censos fue distinto entre especies, zonas y años de forma proporcional a la duración del período de floración.

Grado de generalismo

Una vez obtenidos los valores de las interacciones se procedió a calcular el grado de generalismo de los polinizadores, basado en el número total de interacciones observadas con las plantas. En este trabajo se ha considerado especialistas a aquellos polinizadores que presentaban 1 o 2 interacciones dentro de cada matriz suma; a partir de 3 interacciones se ha considerado que los polinizadores eran generalistas. Aquellos polinizadores que variaban de categoría según la zona se les clasificó como variables, ya que en función de la zona pasaban de ser generalistas a especialistas o viceversa.

Grupos funcionales

Los polinizadores se han clasificado en 10 grupos funcionales dependiendo de su tamaño y del comportamiento de recolección que presentan (Castro-Urgal & Traveset, 2016): abejas grandes (> 1 cm), abejas pequeñas (< 1 cm), dípteros, sírfidos, coleópteros, avispas, lepidópteros, hemípteros, hormigas y otros (normalmente mucho menos frecuentes y entre los que encontramos ácaros, ortópteros, cucarachas y tisanópteros).

Endemismos y grado de amenaza

Los polinizadores se clasificaron en función de si eran especies endémicas de las Islas Baleares o no lo eran. También, se ha buscado información sobre el grado de amenaza que presentan los polinizadores del estudio según los criterios de la IUCN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). La IUCN es la organización internacional dedicada a la conservación de la biodiversidad más importante a nivel mundial. Destaca por la elaboración de las listas de especies más amenazadas de la Tierra (listas rojas), las cuales divide en las siguientes categorías:

- Extinto (EX) → ya no existen individuos
- Extinto en estado salvaje (EW) → sólo sobrevive en cautividad o en poblaciones reintroducidas

- En peligro crítico (CR) → riesgo extremadamente alto de extinción en estado salvaje
- En peligro (EN) → alto riesgo de extinción en estado salvaje
- Vulnerable (VU) → alto riesgo de peligro en estado salvaje
- Casi amenazada (NT) → es probable que pase a estar en peligro en un futuro cercano
- Preocupación menor (LC) → no reúne las características necesarias para estar en una categoría superior
- Datos insuficientes (DD) → no existe información adecuada para hacer una evaluación de su riesgo de extinción
- No evaluado (NE) → especie no evaluada

Cuando no se ha encontrado información acerca de la categoría a la que pertenece una especie, en este trabajo se la ha clasificado como “sin categoría”.

La información acerca de los endemismos se ha obtenido de las siguientes fuentes:

- Baldock, D. (2014). A provisional list of the wasps and bees of Mallorca, Balearic Islands, Spain (Hymenoptera aculeata: Chrysidoidea, Scolioidea, Vespoidea, Apoidea). *Entomofauna*, 35(16), 333-404.
- Conselleria de Medi Ambient, (2007). Llibre Blanc de protecció d'espècies, Illes Balears. Govern de les Illes Balears. Llistes vermelles. Llista patró de la Fauna Endèmica de les Illes Balears de la Conselleria d'Agricultura, Medi Ambient i Territori.
- Pons, G. X. (2015). Els invertebrats endèmics de les illes Balears: actualització del seu catàleg i apunts per a la seva conservació. A: Llibre Verd de Protecció d'Espècies a les Balears. 181-206.

La información acerca del grado de amenaza se ha obtenido de las siguientes fuentes:

- IUCN Red List of Threatened Species (2013): <http://eunis.eea.europa.eu/references/2408>
- Nieto, A., Roberts, S. P., Kemp, J., Rasmont, P., Kuhlmann, M., García Criado, M., ... & De Meulemeester, T. (2014). European red list of bees. *Luxembourg: Publication Office of the European Union*, 98.
- Nieto, A. & Alexander, K.N.A. (2010). European Red List of Saproxyllic Beetles. *Luxembourg: Publications Office of the European Union*, 98.
- Van Swaay, C., Cuttelod, A., Collins, S., Maes, D., López Munguira, M., Šašić, M., Settele, J., Verovnik, R., Verstrael, T., Warren, M., Wiemers, M. and Wynhof, I. (2010). European Red List of Butterflies. *Luxembourg: Publications Office of the European Union*, 98.

Análisis de los datos

Para crear las matrices y tablas se ha utilizado Excel mientras que para el análisis estadístico de los anteriores se ha utilizado el programa R. Para calcular el índice de disimilitud de Bray-Curtis y el índice de diversidad de Shannon-Weaver se ha utilizado el paquete Vegan de R (Oksanen et. al 2007). También se ha calculado el número efectivo de especies utilizando los índices de diversidad de Shannon-Weaver previamente calculados (Jost 2006).

Resultados

Composición de especies

Durante todo el estudio, en las 3 zonas se observó un total de 270 especies pertenecientes a 10 grupos funcionales. Las dos zonas en las que se pudo observar una mayor cantidad de especies son Puig Major y Son Bosc (figura 2).

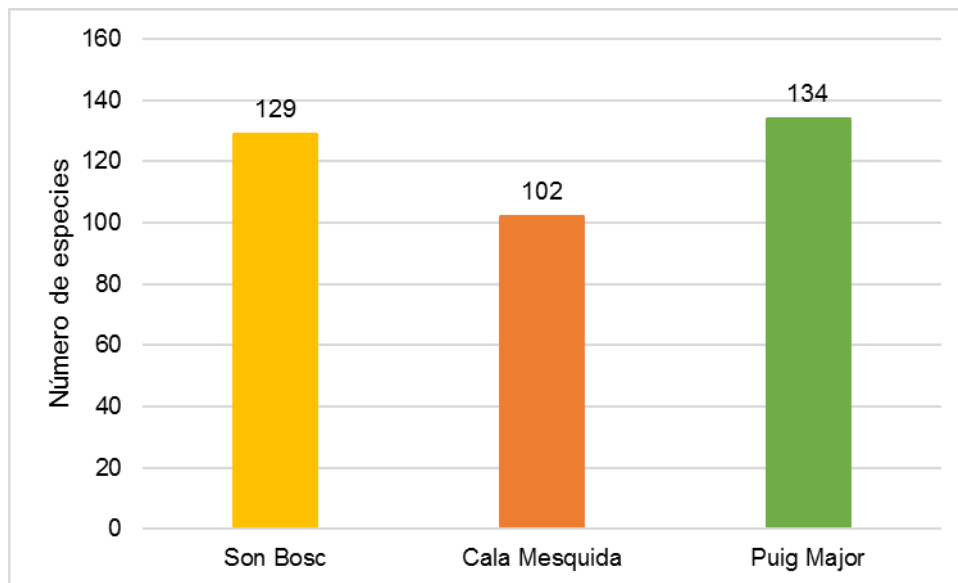


Figura 2. Número de especies en cada zona de estudio.

Para conocer la riqueza de especies de cada zona en función del grupo funcional se representó esta información en la figura 3. Se pudo observar que el grupo funcional con más especies en Son Bosc es el CO (26 especies), seguido por LB (23 especies), DI (20 especies), SB (17 especies) y WA (15 especies). Los demás grupos presentan una menor cantidad de especies. En Cala Mesquida, el grupo funcional con más especies es el DI (27), seguido por CO (17), SB (14), LB y WA, con el mismo número de especies (11). Al igual que en Cala Mesquida, la zona de Puig Major presenta una mayor cantidad de especies del grupo DI (35), seguido por CO y LB, ambos con la misma cantidad de especies (18) y los grupos HO y SB (ambos con 16 especies). En esta zona no se observó ninguna especie del grupo OT.

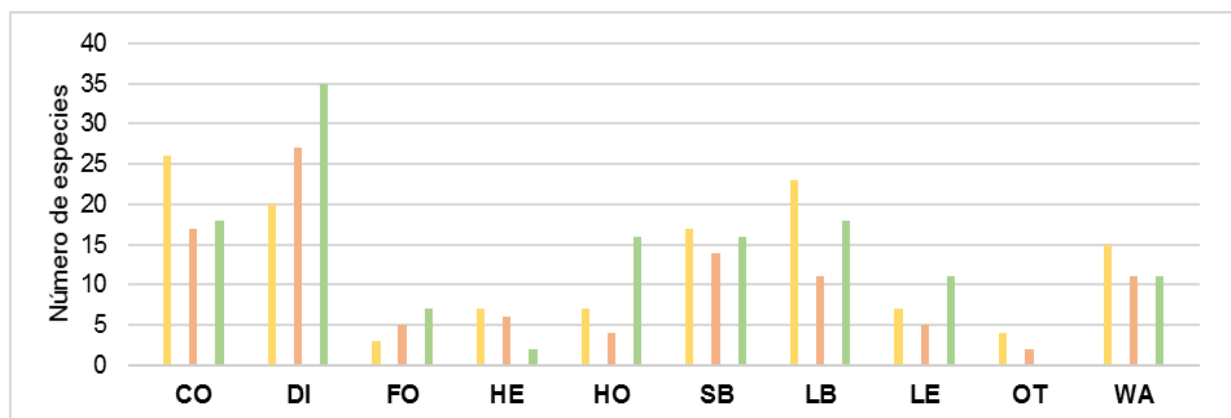


Figura 3. Número de especies para cada zona en función del grupo funcional: coleópteros (CO), dípteros (DI), hormigas (FO), hemípteros (HE), sírfidos (HO), abejas pequeñas (SB), abejas grandes (LB), lepidópteros (LE), avispas (WA) y otros (OT). Cada color representa una zona: Son Bosc – amarillo, Cala Mesquida – naranja, Puig Major – verde.

Para cada zona se estudió además el número total de interacciones y visitas florales en función del grupo funcional (figura 4). El número de visitas en la figura 4.A y en adelante corresponde al

sumatorio de las visitas florales realizadas por cada especie durante los años 2009 y 2010. En este trabajo se ha medido la abundancia en función del número de visitas realizado por cada polinizador o grupo funcional. Se ha comprobado mediante el test χ^2 de Pearson que tanto el número de interacciones como de visitas florales de cada zona varían en función del grupo funcional (ambos con $p = < 2.2e-16$).

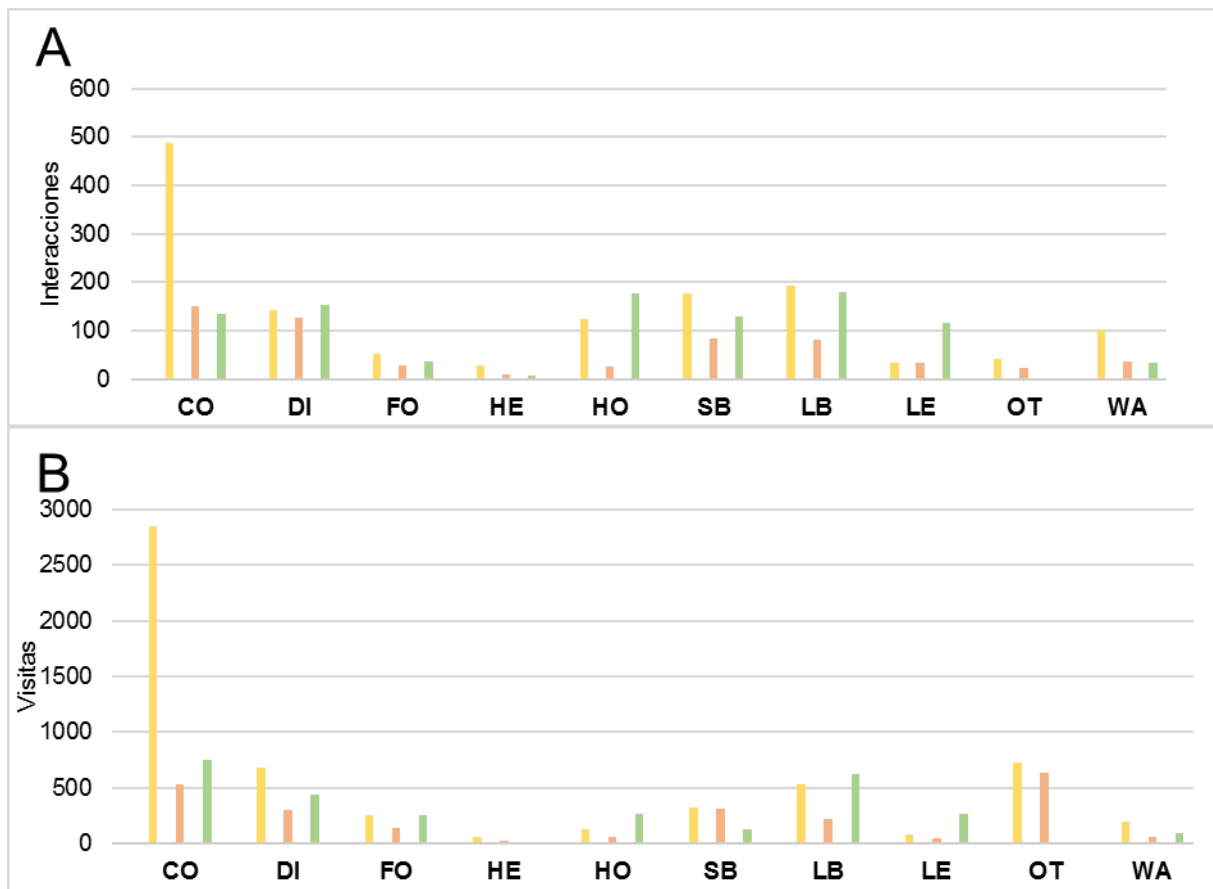


Figura 4. Número de interacciones (A) y visitas florales (B) para cada zona en función del grupo funcional: coleópteros (CO), dípteros (DI), hormigas (FO), hemípteros (HE), sírfidos (HO), abejas pequeñas (SB), abejas grandes (LB), lepidópteros (LE), avispas (WA) y otros (OT). Cada color representa una zona: Son Bosc – amarillo, Cala Mesquida – naranja, Puig Major – verde.

Según los resultados obtenidos, el grupo CO es el que más interacciones ha establecido (488) y también el que más visitas ha realizado (2847) sumando los datos de las tres zonas. También es el grupo más abundante para Son Bosc y Puig Major pero no para Cala Mesquida, donde el grupo más abundante es OT. Dentro de éstos se encuentran los ácaros, los cuales son normalmente muy abundantes en las flores en las que se encuentran. El grupo DI es ligeramente más abundante en Son Bosc que en las otras zonas a pesar de que el número de interacciones no varíe entre las tres zonas. El grupo HO varía mucho en el número de interacciones en función de la zona presentando más en Puig Major y menos en Cala Mesquida, presentando Son Bosc un número intermedio. Del mismo modo, este grupo es más abundante en Puig Major y menos en Cala Mesquida.

Los grupos SB y LB (abejas pequeñas y grandes) presentan el mismo número de interacciones para cada zona excepto para Puig Major, donde el número de interacciones de LB es ligeramente superior al que establece SB. Tanto en número de interacciones como en abundancia, el grupo LE es superior en Puig Major respecto a las otras zonas. El grupo OT, presente únicamente en Son Bosc y Cala Mesquida, es el grupo más abundante de Son Bosc después de CO a pesar de ser uno de los que menos interacciones establecen.

Posición	Son Bosc	Cala Mesquida	Puig Major
1	Ácaros	Ácaros	<i>Apis mellifera</i>
2	<i>Meligethes sp.</i>	<i>Meligethes sp.</i>	<i>Dilophus antipedalis</i>
3	<i>Spermophagus sp.</i>	<i>Apis mellifera</i>	<i>Mordellistena sp.</i>
4	<i>Apis mellifera</i>	<i>Mordellistena sp.</i>	<i>Psilothrix sp.</i>
5	<i>Dilophus antipedalis</i>	<i>Psilothrix sp.</i>	<i>Oedemera flavipes</i>
6	<i>Mordellistena sp.</i>	<i>Oedemera flavipes</i>	<i>Plagiolepis pygmaea</i>
7	<i>Psilothrix sp.</i>	<i>Linepithema humile</i>	<i>Attalus sp.</i>
8	<i>Oedemera flavipes</i>	<i>Plagiolepis pygmaea</i>	<i>Halictus scabiosae</i>
9	<i>Linepithema humile</i>	<i>Ceylalictus variegatus</i>	<i>Vanessa cardui</i>
10	<i>Ceylalictus variegatus</i>	<i>Vanessa cardui</i>	<i>Paragus tibialis</i>

Tabla 1. Lista de los 10 polinizadores más abundantes en cada zona.

También se ha elaborado una lista con los 10 polinizadores más abundantes en cada zona (siendo 1 la posición con mayor abundancia), tabla 1. A pesar de que el grupo funcional más abundante es el CO, el polinizador más abundante para cada una de las zonas no pertenece a este grupo. En Son Bosc y Cala Mesquida la primera posición en abundancia la ocupan los ácaros (pertenecientes al grupo OT), mientras que en Puig Major la especie más abundante es *Apis mellifera* (LB). La segunda posición la ocupa el género de coleópteros *Meligethes sp.* tanto en Son Bosc como en Cala Mesquida. En cambio, en Puig Major la segunda especie más abundante es un díptero: *Dilophus antipedalis*. Además, Puig Major es la única zona que tiene entre sus 10 polinizadores más abundantes a un sírfido, *Paragus tibialis*, ocupando la décima posición.

	Especies no endémicas	Especies endémicas
CO	45	-
DI	65	1
FO	11	1
HE	13	-
HO	20	-
SB	31	3
LB	32	1
LE	14	1
OT	4	-
WA	28	-
Total	263	7

Tabla 2. Número de especies endémicas y no endémicas en función del grupo funcional: coleópteros (CO), dípteros (DI), hormigas (FO), hemípteros (HE), sírfidos (HO), abejas pequeñas (SB), abejas grandes (LB), lepidópteros (LE), avispas (WA) y otros (OT).

En cuanto a los endemismos, se ha cuantificado el número de especies que presenta cada grupo funcional según si eran o no especies endémicas de las Islas Baleares, tabla 2. De los 7 endemismos presentes en este estudio, 3 pertenecen al grupo SB (*Dufourea balearica*, *Halictus microcardia* y *Lasioglossum nitidulum hammi*), 1 al grupo DI (*Exoprosopa bowdeni*), 1 al grupo FO (*Lasius balearicus*), 1 al LB (*Anthophora balearica*) y 1 al LE (*Polyommatus icarus*).

Anthophora balearica, al igual que *Exoprosopa bowdeni* y *Lasius balearicus* se han observado sólo en Puig Major mientras que *Dufourea balearica* y *Halictus microcardia* sólo se han detectado en Cala Mesquida. La especie *Lasioglossum nitidulum hammi* aparece sólo en Cala Mesquida y en Puig Major mientras que la especie *Polyommatus icarus* está en las tres zonas.

	Especies no endémicas	Especies endémicas
EN	1	2 *
NT	2	-
LC	48	2
DD	9	1
sin categoría	203	2
Total	263	7

Tabla 3. Número de especies endémicas y no endémicas en función del grado de amenaza según la IUCN: en peligro (EN), casi amenazada (NT), preocupación menor (LC) y datos insuficientes (DD). Las especies para las cuales no se ha establecido una categoría figuran en el apartado “sin categoría”. (*) La especie *Lasius balearicus* todavía no ha sido evaluada por la IUCN pero cumple los requisitos para estar dentro de la categoría EN (Talavera et. al 2015).

Aproximadamente un 25% de los endemismos observados en este estudio se encuentran en peligro (tabla 3), mientras que la mayoría de especies no endémicas están fuera de peligro ocupando la categoría de LC.

Solamente una especie no endémica, *Lasioglossum soror*, está en peligro (EN) y dos especies no endémicas, *Lasioglossum littorale occitanicum* y *Lasioglossum prasicum*, están en la categoría de casi amenazada (NT), todas ellas pertenecientes al grupo SB. De las especies endémicas, se encuentran en peligro *Halictus microcardia* y *Lasius balearicus* mientras que *Lasioglossum nitidulum hammi* y *Polyommatus icarus* ocupan la categoría de LC.

Diversidad

A partir de los datos de abundancia (visitas florales) y el número de especies se ha calculado el índice de diversidad de Shannon-Weaver para cada una de las tres zonas y a partir del mismo se ha calculado además el número efectivo de especies.

	N	S	H	NEE
Puig Major	2824	126	3.831	46.108
Cala Mesquida	2305	110	3.379	29.327
Son Bosc	5821	125	3.038	20.860

Tabla 4. Número de visitas (N), número de especies (S), índice de diversidad de Shannon-Weaver (H) y número efectivo de especies (NEE).

El índice de Shannon-Weaver se utiliza para cuantificar la biodiversidad específica (Pla 2006). Las tres zonas presentan índices de Shannon similares indicando que su diversidad es normal (tabla 4), aunque el índice de Puig Major podría indicar un valor de diversidad más alto de lo normal. Además, calculando el número efectivo de especies observamos que la comunidad de polinizadores de Puig Major es aproximadamente 2 veces más diversa que la de Cala Mesquida y que la de Son Bosc. Las comunidades de Cala Mesquida y Son Bosc presentan prácticamente la misma diversidad.

Grado de generalismo

El grado de generalismo indica la preferencia de una especie a visitar un grupo reducido de plantas (especialista) o, al contrario, interaccionar con muchas especies de plantas (generalista). De las 270 especies, 93 polinizadores fueron considerados especialistas (visitando menos de tres especies de plantas), 155 generalistas y 22 especies variables (pasaban de ser generalistas a especialistas y al revés en función de la zona de estudio). Mediante el test χ^2 de Pearson se ha comprobado que el número de especialistas y generalistas varía significativamente en función del grupo funcional ($p=0.002$). Se observa una mayor proporción de generalistas en los grupos CO, DI, FO, HO, SB, LB y LE (figura 5) mientras que en los grupos OT y WA no se aprecian diferencias entre el número de especies generalistas y especialistas (OT: 2 especialistas y 2 generalistas, WA: 14 especialistas y 12 generalistas). El único grupo que presenta claramente una mayor proporción de especialistas es HE (10 especialistas y 1 generalista, el 90% son especialistas).

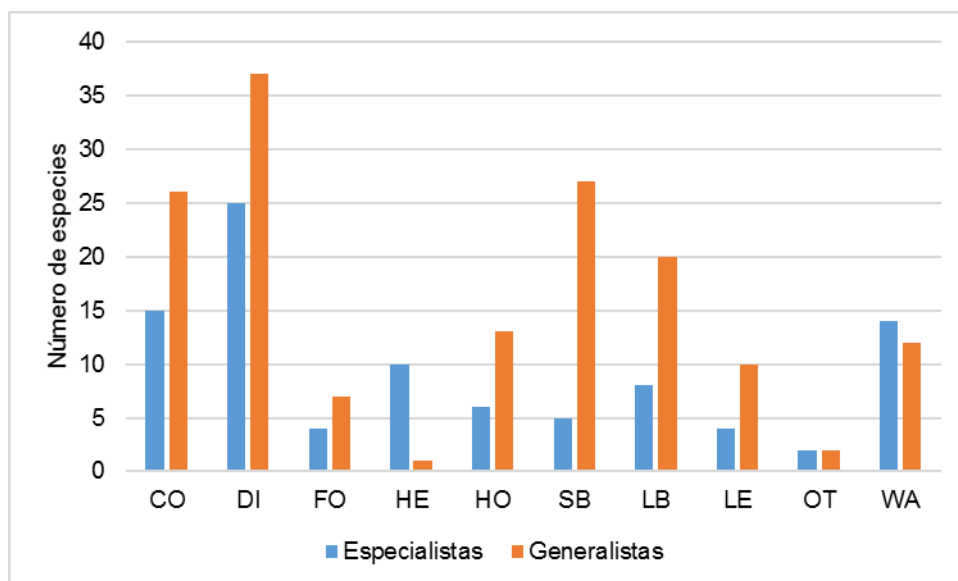


Figura 5. Número de especies en función del grado de generalismo y grupo funcional: coleópteros (CO), dípteros (DI), hormigas (FO), hemípteros (HE), sírfidos (HO), abejas pequeñas (SB), abejas grandes (LB), lepidópteros (LE), avispas (WA) y otros (OT).

En cuanto a los endemismos, sólo 1 especie endémica (*Anthophora balearica*) es especialista mientras que todas las demás son generalistas.

Por otro lado, también se ha estudiado la distribución de especialistas y generalistas en función del hábitat que ocupaban: costa, montaña o ambos (si una especie se encontró tanto en costa como en montaña), figura 6. Se ha realizado el test χ^2 de Pearson comprobándose que el número de especies en función del grado de generalismo varía significativamente entre los hábitats ($p= 0.011$).

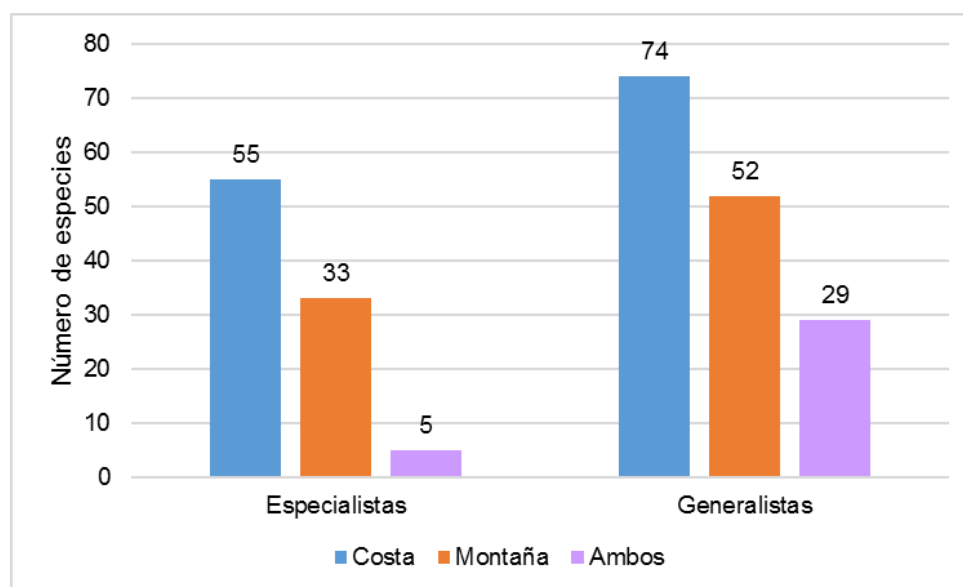


Figura 6. Número de especies en función del hábitat y grado de generalismo.

En costa se observaron 129 especies, en montaña 85 y en la categoría de ambos hábitats 34. Tanto en costa como en montaña y también en ambos hábitats se detectaron más especies generalistas que especialistas. Entre costa y montaña la proporción de especialistas y generalistas es prácticamente la misma (43% de especialistas y 57% de generalistas en costa, 39% de especialistas y 61% de generalistas en montaña) mientras que en la categoría de presencia en ambos hábitats se observa una mayor proporción de generalistas respecto a sólo costa o montaña (85%).

Por último, también se estudió la abundancia de polinizadores de cada zona en función del grado de generalismo, figura 7. Realizando el test χ^2 de Pearson se pudo comprobar que la abundancia de polinizadores especialistas, generalistas y variables varía significativamente entre las tres zonas de estudio ($p = < 2.2e-16$). En las tres zonas los polinizadores más abundantes eran los generalistas, siendo más abundantes en Son Bosc respecto a las otras zonas (48% del total de generalistas en Son Bosc frente al 23% en Cala Mesquida y 29% en Puig Major). Además, destaca la mayor proporción de especies variables en Son Bosc respecto a las otras zonas (80% del total de variables en Son Bosc frente al 11% en Cala Mesquida y 9% en Puig Major). También se observa una ligera mayor proporción de especialistas en Puig Major respecto a las otras zonas (44% del total de especialistas en Puig Major frente al 28% tanto en Cala Mesquida como en Son Bosc).

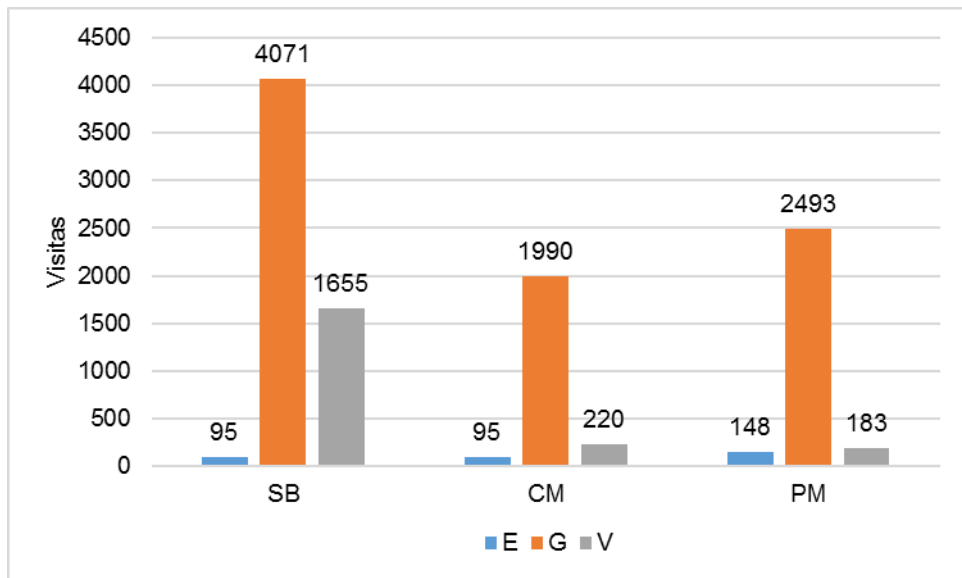


Figura 7. Número de visitas en cada zona en función del grado de generalismo: especialistas (E), generalistas (G), variables (V). Códigos de las zonas: Son Bosc (SB), Cala Mesquida (CM), Puig Major (PM).

Similitud

Para conocer la similitud de los polinizadores entre las tres zonas se elaboró una tabla con la presencia (1) o ausencia (0) de cada polinizador para cada zona y con ella se calculó el índice de disimilitud de Bray-Curtis, tabla 5. En ella se observa que Son Bosc y Cala Mesquida son las zonas más similares, presentando el índice de disimilitud más bajo (0.602). Esto significa que son las dos zonas que comparten más especies de polinizadores. Por el contrario, las dos zonas que comparten menos especies son Puig Major y Cala Mesquida, presentando un índice de disimilitud más alto (0.737).

	Son Bosc	Cala Mesquida
Cala Mesquida	0.602	-
Puig Major	0.703	0.737

Tabla 5. Índices de disimilitud de Bray-Curtis entre las zonas.

Correlación entre la abundancia de flores y visitas florales

La abundancia de flores total (flores/m²) en los años 2009 y 2010 fue de 2067.27 en Son Bosc, 4694.99 en Cala Mesquida y 234.74 en Puig Major. Se ha estudiado la relación entre la abundancia de flores y el número de visitas florales para cada una de las tres zonas mediante la correlación de Pearson, figura 8. Los resultados obtenidos muestran una correlación significativa para las tres zonas (Son Bosc: $r = 0.275$, $p = 0.018$; Cala Mesquida: $r = 0.487$, $p = 0.001$; Puig Major: $r = 0.402$, $p = 0.021$), por tanto, sí hay relación entre las dos variables y además es positiva en las tres zonas. Son Bosc presenta una correlación baja entre la abundancia de flores y las visitas florales mientras que Cala Mesquida y Puig Major presentan una correlación moderada entre las dos variables.

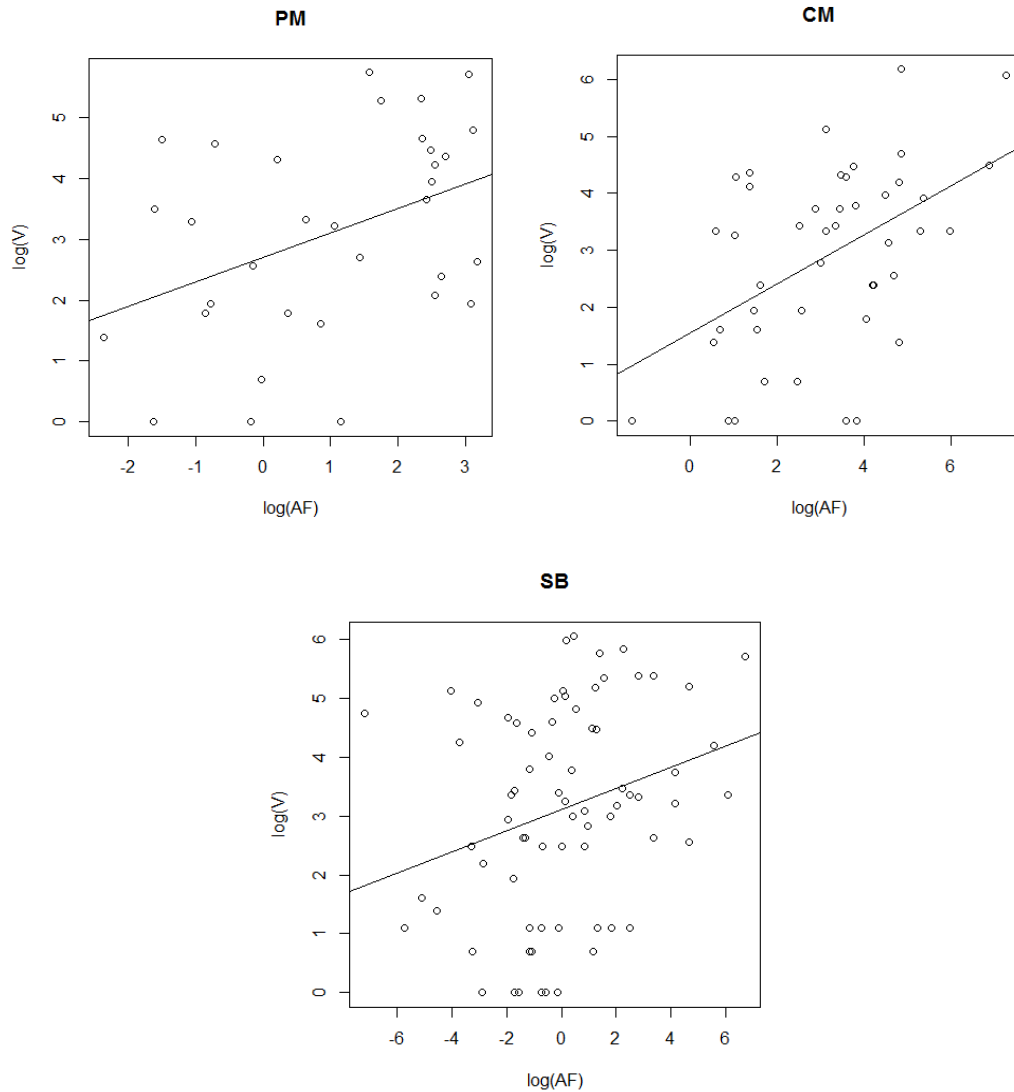


Figura 8. Correlación de Pearson entre la abundancia de flores (AF) y visitas florales (V) para cada una de las zonas con transformación logarítmica de los datos. Códigos de las zonas: Son Bosc (SB), Cala Mesquida (CM), Puig Major (PM).

Discusión

Los grupos funcionales con mayor riqueza de especies de todas las zonas fueron los coleópteros, dípteros y abejas grandes los cuales también presentaron más especies generalistas que especialistas. Como se esperaba, las especies más abundantes de las tres zonas son también generalistas ya que les es más fácil encontrar alimento que a las especialistas al tener acceso a una mayor cantidad de hábitats y por tanto tener mayor probabilidad de interactuar con más especies.

El alto número de generalistas en Son Bosc podría explicarse por su grupo funcional más abundante, los coleópteros. A pesar de ser uno de los primeros grupos en realizar visitas a las primeras flores (Thien 1980), los coleópteros son polinizadores mucho menos eficientes que las abejas o los lepidópteros (Galen et. al 2017) ya que tienden a visitar muchas plantas diferentes y de este modo desperdician mucho polen. Además, debido a que presentan mandíbulas para alimentarse a diferencia de otros polinizadores que presentan probóscides especializadas, su alimentación es más tosca y por ello dañan a menudo la flor. La gran cantidad de polinizadoras variables encontrada en Son Bosc respecto a las otras zonas seguramente se deba a que la mayoría de especies variables eran generalistas en Son Bosc y la mitad de ellas pertenecían a grupos funcionales abundantes como coleópteros, dípteros y abejas. En otras palabras, estos grupos en las otras zonas tienen especies que tienden a ser más especialistas en otras zonas.

La mayor abundancia de dípteros en Son Bosc puede ser debida a que este grupo funcional, en general, poliniza flores pequeñas que crecen en la sombra y en ambientes húmedos (Galen et. al 2017). Son Bosc está al lado de S'Albufera, una zona de humedales que alberga seguramente una gran cantidad de moscas y mosquitos. Por otro lado, la mayor abundancia y número de interacciones de lepidópteros en Puig Major puede ser debida a una mayor cantidad de néctar presente en las flores de esta zona (Ezzeddine & Matter 2008). La presencia de plantas con una superficie grande y plana que permite posarse fácilmente y alimentarse del néctar, como *Hypericum balearicum*, podría explicar por qué los sírfidos presentan más interacciones en Puig Major respecto a las otras zonas (Galen et. al 2017). En general, los sírfidos muestran preferencias por flores de colores blancos y/o amarillos (Sajjad et. al 2010) y debido a que la mayoría presentan aparatos bucales cortos y no especializados, tienden a visitar flores amplias y de néctar accesible (Campbell et. al 2012).

El hecho de que el grupo funcional de las abejas grandes presente más interacciones que las abejas pequeñas sólo en Puig Major puede deberse a que en esta zona los recursos florales están más separados, por lo cual el polinizador debe recorrer distancias mayores para alimentarse. Las abejas de mayor tamaño recorren una mayor distancia que las abejas pequeñas (Greenleaf et. al 2007) y, por ello, interactúan con más plantas. Esto puede también explicar que la especie más abundante en Puig Major sea *Apis mellifera* (perteneciente al grupo de abejas grandes).

La mayor proporción de generalistas en el grupo de polinizadores que se encuentran tanto en costa como en montaña respecto a sólo un hábitat (costa o montaña) se explica por la adaptabilidad de los mismos. Si fueran especialistas les sería mucho más difícil encontrar alimento en otro hábitat, por ello, ser generalistas les beneficia.

En cuanto a los endemismos, se han observado más especies endémicas en las zonas de Cala Mesquida y Puig Major que en Son Bosc. Esto puede deberse a que la zona de Son Bosc está próxima al parque natural de s'Albufera, el cual ha sufrido perturbaciones antrópicas recientemente (Slater 2016) y muchas de las especies en Son Bosc son ruderales oportunistas. Con lo cual observamos más especies endémicas en zonas menos alteradas. Esto podría explicar la correlación moderada entre abundancia de flores y visitas en Puig Major y Cala Mesquida frente a la baja correlación en Son Bosc. Respecto al grado de generalismo, prácticamente todas las especies endémicas observadas son generalistas a excepción de una. Esto probablemente se deba a que, durante su larga evolución, estas especies han tenido que adaptarse a la escasez de alimento en épocas desfavorables para sobrevivir llegando a aprovechar un abanico más amplio de plantas.

Como se esperaba, Son Bosc y Cala Mesquida son las dos zonas más similares en cuanto a polinizadores ya que las dos son hábitats de costa mientras que Puig Major y Cala Mesquida son las más diferentes. Probablemente se deba a que Son Bosc y Puig Major comparten más plantas (por ejemplo, *Hypochaeris achyrophorus* y *Trifolium scabrum*), de las cuales se alimentan los polinizadores, que Cala Mesquida y Puig Major. Además, se ha visto que Cala Mesquida y Son Bosc presentan mucha más abundancia de flores que Puig Major, factor que podría influir en las especies de polinizadores encontrado. Por otro lado, la razón por la cual Puig Major es la zona más diversa de las tres puede ser el número elevado de plantas endémicas y especializadas presentes en esta zona, algunas de ellas poco abundantes, que viven a mayor altura (Armbruster & Muchhala 2009).

Conclusiones

- 1- Los polinizadores más abundantes de una zona o hábitat y aquellos que se encuentran tanto en costa como en montaña son especies generalistas, que visitan (según nuestra definición en este estudio) un mínimo de tres especies de plantas.
- 2- Los coleópteros, dípteros y abejas son los grupos con mayor número de especies generalistas.
- 3- Prácticamente todas las especies endémicas de las tres zonas de estudio son generalistas, probablemente debido a que han evolucionado en un ambiente pobre en recursos florales y han tenido que ampliar su nicho trófico.

- 4- La comunidad de polinizadores de Puig Major es más diversa que la de Cala Mesquida o Son Bosc posiblemente debido a características intrínsecas del ambiente de montaña, como por ejemplo la mayor cantidad de plantas endémicas y raras.
- 5- Como se esperaba, las dos zonas de costa presentan mayor similitud en su composición de polinizadores y, además, una mayor abundancia de flores respecto a la zona de montaña.

Agradecimientos

Agradezco a Cristina Tur Espinosa y Rocío Castro Urgal que me hayan facilitado los datos de sus tesis doctorales así como a Anna Traveset Vilaginés y Carlos Lara-Romero por ayudarme en todo momento durante la realización del trabajo, tanto en el análisis de los datos como en la escritura de la memoria.

Referencias

- Armbruster, W. S., & Muchhala, N. (2009). Associations between floral specialization and species diversity: cause, effect, or correlation?. *Evolutionary Ecology*, 23(1), 159.
- Bascompte, J., & Jordano, P. (2007). Plant-animal mutualistic networks: the architecture of biodiversity. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 38, 567-593.
- Bronstein, J. L., Alarcón, R., & Geber, M. (2006). The evolution of plant–insect mutualisms. *New Phytologist*, 172(3), 412-428.
- Campbell, A. J., Biesmeijer, J. C., Varma, V., & Wäckers, F. L. (2012). Realising multiple ecosystem services based on the response of three beneficial insect groups to floral traits and trait diversity. *Basic and Applied Ecology*, 13(4), 363-370.
- Castro Urgal, Rocío. 2016. *Patrones emergentes en redes de polinización en comunidades costeras de Baleares y Canarias*. (Tesis doctoral). Universitat de les Illes Balears.
- Castro-Urgal, R., & Traveset, A. (2016). Contrasting Partners' Traits of Generalized and Specialized Species in Flower-Visitation Networks. *PloS one*, 11(3), e0150824.
- Donaldson, J., Nänni, I., Zachariades, C., & Kemper, J. (2002). Effects of habitat fragmentation on pollinator diversity and plant reproductive success in renosterveld shrublands of South Africa. *Conservation Biology*, 16(5), 1267-1276.
- Ezzeddine, M., & Matter, S. F. (2008). Nectar flower use and electivity by butterflies in sub-alpine meadows. *Journal of the Lepidopterists' Society*, 62(3), 138-142.
- Galen, C., Storks, L., Carpenter, E., Dearborn, J., Guyton, J., & O'Daniels, S. (2017). Pollination mechanisms and plant-pollinator relationships.
- González-Varo, J. P., Biesmeijer, J. C., Bommarco, R., Potts, S. G., Schweiger, O., Smith, H. G., ... & Vilà, M. (2013). Combined effects of global change pressures on animal-mediated pollination. *Trends in Ecology & Evolution*, 28(9), 524-530.
- Greenleaf, S. S., Williams, N. M., Winfree, R., & Kremen, C. (2007). Bee foraging ranges and their relationship to body size. *Oecologia*, 153(3), 589-596.
- Hegland, S. J., Nielsen, A., Lázaro, A., Bjerknes, A. L., & Totland, Ø. (2009). How does climate warming affect plant-pollinator interactions?. *Ecology letters*, 12(2), 184-195.

- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*, 113(2), 363-375.
- Kaiser-Bunbury, C. N., Muff, S., Memmott, J., Müller, C. B., & Caflisch, A. (2010). The robustness of pollination networks to the loss of species and interactions: a quantitative approach incorporating pollinator behaviour. *Ecology Letters*, 13(4), 442-452.
- Kessler, R., & Harley, M. M. (2004). *Pollen: the hidden sexuality of flowers* (p. 264p). London: Papadakis.
- Kevan, P. G. (2001). Pollination: a plinth, pedestal, and pillar for terrestrial productivity. The why, how, and where of pollination protection, conservation, and promotion. *Stubbs, CS, Drummond, FA Bees and Crop Pollination: Crisis, Crossroads, Conservation. Thomas Say Publications in Entomology, Entomological Society of America, Lanham, Maryland, 7-68.*
- Klein, A. M., Vaissiere, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 274(1608), 303-313.
- Kremen, C., & Ricketts, T. (2000). Global perspectives on pollination disruptions. *Conservation Biology*, 14(5), 1226-1228.
- Lado, L. R., Hengl, T., & Reuter, H. I. (2008). Heavy metals in European soils: a geostatistical analysis of the FOREGS Geochemical database. *Geoderma*, 148(2), 189-199.
- Le Féon, V., Schermann-Legionnet, A., Delettre, Y., Aviron, S., Billeter, R., Bugter, R., ... & Burel, F. (2010). Intensification of agriculture, landscape composition and wild bee communities: a large scale study in four European countries. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 137(1), 143-150.
- Nabhan, G. P., & Buchmann, S. L. (1997). Services provided by pollinators. *Nature's Services: societal dependence on natural ecosystems*, 133-150.
- Nielsen, A., Steffan-Dewenter, I., Westphal, C., Messinger, O., Potts, S. G., Roberts, S. P., ... & Woyciechowski, M. (2011). Assessing bee species richness in two Mediterranean communities: importance of habitat type and sampling techniques. *Ecological Research*, 26(5), 969-983.
- Oksanen, J., Kindt, R., Legendre, P., O'Hara, B., Stevens, M. H. H., Oksanen, M. J., & Suggests, M. A. S. S. (2007). The vegan package. *Community ecology package*, 10, 631-637.
- Ollerton, J., Winfree, R., & Tarrant, S. (2011). How many flowering plants are pollinated by animals?. *Oikos*, 120(3), 321-326.
- Pellmyr, O. (2002). Pollination by animals. *Plant-animal interactions, an evolutionary approach*, 157-184.
- Pla, L. (2006). Biodiversidad: Inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia*, 31(8).
- Potts, S. G., Biesmeijer, J. C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., & Kunin, W. E. (2010). Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in ecology & evolution*, 25(6), 345-353.
- Potts, S. G., Petanidou, T., Roberts, S., O'Toole, C., Hulbert, A., & Willmer, P. (2006). Plant-pollinator biodiversity and pollination services in a complex Mediterranean landscape. *Biological conservation*, 129(4), 519-529.
- Ricketts, T. H. (2004). Tropical forest fragments enhance pollinator activity in nearby coffee crops. *Conservation biology*, 18(5), 1262-1271.
- Sajjad, A., & Saeed, S. H. A. F. Q. A. T. (2010). Floral host plant range of syrphid flies (Syrphidae: Diptera) under natural conditions in southern Punjab, Pakistan. *Pak. J. Bot*, 42(2), 1187-1200.

Slater, F. (2016). Ecotones, ecoclines and eco-perturbations: the aquatic flora and fauna of the S'Albufera Natural Park, Majorca, a contribution and review. *Mediterranean Journal of Biosciences*, 1(3), 120-127.

Spiesman, B. J., & Inouye, B. D. (2013). Habitat loss alters the architecture of plant–pollinator interaction networks. *Ecology*, 94(12), 2688-2696.

Talavera, G., Espadaler, X., & Vila, R. (2015). Discovered just before extinction? The first endemic ant from the Balearic Islands (*Lasius balearicus* sp. nov.) is endangered by climate change. *Journal of Biogeography*, 42(3), 589-601.

Thien, L. B. (1980). Patterns of pollination in the primitive angiosperms. *Biotropica*, 1-13.

Waser, N. M. (2006). Specialization and generalization in plant-pollinator interactions: a historical perspective. *Plant-pollinator interactions: From specialization to generalization*, 3-17.

Tur Espinosa, Cristina. 2015. *Plant-pollinator networks: incorporating individual variation and functional information*. (Tesis doctoral). Universitat de les Illes Balears.

Williams, I. H. (1994). The dependence of crop production within the European Union on pollination by honey bees. *Agricultural Zoology Reviews (United Kingdom)*.

Winfree, R., Bartomeus, I., & Cariveau, D. P. (2011). Native pollinators in anthropogenic habitats. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 42.