



**Universitat de les
Illes Balears**

Facultat de Ciències

Memòria del Treball de Fi de Grau

**Caracterització de la biologia reproductiva
d'*Hypericum balearicum* L. (Guttiferae) en
poblacions de baixa altitud.**

Neus Seguí Fortin

Grau de Biologia

Any acadèmic 2018-19

Treball tutelat per Joana Cursach Seguí
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: *Hypericum balearicum*, biologia reproductiva, ambofflia, xenogàmia, autogàmia.

ÍNDEX

Resum	4
Abstract.....	4
Introducció.....	5
Biodiversitat vegetal a la conca mediterrània i a les Illes Balears	5
Descripció d'<i>Hypericum balearicum</i>	5
Síndromes de pol·linització	7
Hàbitat i distribució	7
Importància de la biologia reproductiva	8
Estudis previs d'<i>H. balearicum</i>	8
Objectius de l'estudi	9
Material i mètodes	9
Zona de estudi	9
Mecanismes de pol·linització	10
Censos de pol·linitzadors	12
Característiques florals	12
Característiques biomètriques	13
Anàlisi estadístic	13
Resultats	14
Mecanismes de pol·linització	14
Característiques dels fruits	17
Censos de pol·linitzadors	18
Característiques florals	20
Característiques biomètriques	21
DISCUSSIÓ	22
CONCLUSIONS	26
AGRAÏMENTS	26
BIBLIOGRAFIA	27

Resum

Hypericum balearicum L. (Guttiferae) és un arbust llenyós endèmic de les Illes Balears, el qual es pot trobar des del nivell de la mar fins elevades altituds. S'ha realitzat un estudi de biologia reproductiva sobre aquesta espècie a dues localitats de Pollença a prop del nivell de la mar: Cala Bóquer i Cala Figuera. S'han estudiat diferents aspectes de l'espècie com ara el sistema de creuament, els mecanismes de pol·linització, censos de pol·linitzadors, característiques biomètriques dels individus i algunes característiques florals. Els resultats indiquen que l'espècie té un sistema reproductiu amb autogàmia passiva parcial i amb una incompatibilitat parcial de creuament. De forma natural, per tant, l'espècie es comporta a la vegada com autògama i xenògama. A més, és una espècie ambòfila, és a dir, es pol·linitza tant per l'acció del vent com pels insectes. A nivell de producció de fruits, l'espècie no presenta depressió per endogàmia i el quallat del fruit en condicions naturals és al voltant del 100%. Amb aquests resultats es pot concloure que aquesta espècie actualment no sofreix unes limitacions quant a la seva reproducció i, a més, la seva variabilitat quant als mecanismes de pol·linització fan que estigui més adaptada a possibles canvis ambientals.

Abstract

Hypericum balearicum L. (Guttiferae) is an endemic woody shrub from the Balearic Islands, which can be found from the sea level to the highest mountains. A study of reproductive biology on this species has been carried out at two locations in Pollença near the sea level: Cala Bóquer and Cala Figuera. The breeding system, censuses of pollinators, measurements of biometric characteristics of individuals and floral characteristics have been studied. The results indicate that the species has a reproductive system with partial passive self-fertility and partial cross-incompatibility. Consequently, the species behaves at the same time as autogamous and xenogamous. In addition, it is an ambophilous species, pollinated by the action of the wind and insects. Regarding fruit production, the species does not present depression due to endogamy and natural natural fruit set is around 100%. With these results it can be concluded that this species currently does not suffer from any limitations in terms of its reproduction. In addition, its variability in the pollination mechanisms makes it more adapted to possible environmental changes.

Introducció

Biodiversitat vegetal a la conca mediterrània i a les Illes Balears

La conca mediterrània és un punt calent de biodiversitat. El sistema d'illes mediterrànies es compon d'un complex molt fragmentat d'illes, principalment continentals, que s'han anat desconnectant entre sí i del continent, en temps geològics relativament recents (<5.2 Ma). En el moment en que es va convertir en insular, ja tenien una gran quantitat de flora i fauna que probablement ja estava adaptada i diversificada (Traveset & Navarro, 2018). Actualment, la flora de la conca mediterrània és d'unes 25 000 espècies, amb un 50% d'endemismes, els quals suposen un 4.3% de la flora global (Myers *et al.*, 2000; Heywood, 1995).

Les Illes Balears formen un arxipèlag situat en el centre de la conca del Mediterrani occidental que està format per quatre illes habitades i al voltant d'un centenar d'illots amb vegetació. L'arxipèlag balear, tot i la seva mida reduïda, presenta una gran varietat vegetal degut a la presència d'una gran diversitat d'hàbitats (aiguamolls, esquerdes de roca, barrancs de muntanya, estanys temporals, illots, etc.). A més, hi ha una diferència significativa entre illes el que fa que hi hagi una composició florística diferent (Sáez, Fraga Arguimbau & López-Alvarado, 2011). Existeix una relació lineal entre la superfície de les diferents illes que formen les Balears i la seva riquesa d'espècies, éssent l'illa amb més superfície la que presenta més riquesa. A més, les majors similituds florístiques entre illes segons l'índex de Sorensen es troben entre Mallorca i Menorca i entre Eivissa i Formentera. Aquesta similitud és deguda a la història geològica de les Illes Balears, éssent les illes Gimnèsies més semblants florísticament a les altres illes tirrèniques degut al seu antic lligam, mentre que Eivissa i Formentera són més semblants florísticament al territori continental oriental. La flora autòctona de les Balears suposa 1729 taxons. Al voltant del 50% d'aquests taxons s'agrupen en només 8 famílies (compostes, lleguminoses, gramínies, crucíferes, umbel·líferes, labiades, cariofil·làcies i liliàcies). Les compostes, lleguminoses i gramínies sumen cada una d'elles més del 10% dels taxons. Per altra banda, la flora endèmica presenta el 10% de la flora autòctona (173 taxons) (Rita & Payeras, 2006).

Descripció d'*Hypericum balearicum*

Hypericum forma part de la família Guttiferae i està format per unes 450 espècies d'arbres, arbusts i herbàcies distribuïdes en totes les zones temperades del món. El gènere no es troba present a hàbitats que són extremadament àrids, calents i freds (Ramos, 1993).

Hypericum balearicum L. és un arbust llenyós de fulla perenne de fins a un metre d'altura, endèmic de les Illes Balears (Rodríguez-Pérez & Traveset, 2016). Les característiques morfològiques principals de l'espècie són fulles petites, coriàcies, sèssils, ovals, flexuoses en el marge i amb el limbe cobert de vesícules transparents. Està formada per flors hermafrodites, actinomorfes, solitàries i terminals amb cinc pètals lliures de color

groc i sèpals desiguals (Figura 1a). L'androceu està format per un nombre variable d'estams organitzats en cinc feixos i amb els filaments de longitud desigual. El gineceu està format per cinc carpels i cinc estils erectes. Les flors són homògames i a partir de les 6 hores revelen els estils i els estams. Des d'aquest moment, les anteres s'obren asincrònicament fins que a les 17 hores la majoria de les anteres de les flors deixen de ser funcionals. L'estigma pot durar en estat funcional fins al dia següent. Per altra banda, els fruits són secs, amb càpsula dehiscent, glandulosa i viscosa. Els cinc carpels i cinc estils persisteixen en el fruit madur. A més, el fruit no es desprèn de la planta sinó que roman damunt ella fins que es romp (Figura 1b). Quant a les llavors, són negres i brillants amb presència de solcs longitudinals. Aquestes són alliberades quan la planta és moguda pel vent, encara que degut a la viscositat del fruit, la majoria de llavors no s'alliberen immediatament a l'obertura del carpel, sinó que queden adherides entre sí i a les parets del fruit. En conseqüència, la seva alliberació requereix un procés d'assecat del fruit, el qual retarda la seva dispersió (Tébar, 1992). Segons Reynaud (1986), el port arbustiu, els cinc feixos d'estams i els cinc estils d'*H. balearicum* li confereixen un caràcter primitiu.



Figura 1. (a) Flor i (b) fruit d'*Hypericum balearicum*. El diàmetre de la flor oberta és de 4 cm i la longitud de la càpsula és de 9,5 mm aproximadament.

La fenologia floral és el període de temps en què les plantes floreixen. La fenologia determina l'estació en què les estructures reproductives interactuen amb l'ambient per formar fruits i llavors. Per a les plantes la fenologia pot ésser crítica per la seva supervivència i reproducció (Rathcke & Lacey, 1985; Primack, 1985). La fenologia floral està controlada genèticament, però els factors ambientals intervenen en l'expressió dels gens relacionats amb aquest procés (Nicotra *et al.*, 2010). *H. balearicum* floreix durant tot l'any, encara que els pics de floració es donen durant l'estació seca de la conca mediterrània (primavera i estiu) que és quan hi ha més visites florals. Durant la temporada de pluges de les Illes Balears (tardor i hivern) l'espècie també sofreix un pic de floració però en menor grau que a l'estació seca (Rodríguez-Pérez & Traveset, 2016; Tébar, Gil, & Llorens, 2004).

Síndromes de pol·linització

Els síndromes de pol·linització són un conjunt de característiques florals, incloses les recompenses, que estan associades amb l'atracció i utilització d'un grup específic d'animals com a pol·linitzadors (Fenster *et al.*, 2004).

La pol·linització per coleòpters rep el nom de cantarofília i les flors pol·linitzades per aquests insectes s'anomenen flors cantaròfiles. Aquestes flors generalment són grans i robustes, o bé petites i reunides en inflorescències denses. Tenen les anteres i els estils exposats que permeten un fàcil accés al pol·len. A més, tenen nombrosos estams que produeixen un excés de pol·len com a principal recompensa pels insectes pol·linitzadors (Martín *et al.*, 2015).

H. balearicum presenta un síndrome floral que correspon a la pol·linització cantaròfila. Segons les característiques determinades per Tébar (1992), *H. balearicum* proporciona pol·len com a recompensa als pol·linitzadors. Els insectes aterren sobre la flor i recol·lecten sense cap dificultat el pol·len. A més, el reclam dels pol·linitzadors està assegurat degut a la coloració vistosa i a la gran mida de la flor.

Hàbitat i distribució

H. balearicum és una de les espècies diagnòstiques que conformen l'associació *Hypericion balearici*. Es caracteritzen per ser comunitats de pulvínuls espinosos i subespinosos que són típiques dels paisatges dels cims però no en són exclusives, ja que apareixen també a altres estacions muntanyenques o litorals. Tant els cims muntanyosos com la zona litoral tenen en comú l'acció constant del vent, el que suposa una dificultat mecànica per a la planta, a més d'afectar a l'erosió, temperatura i humitat ambiental. Les espècies que conformen aquesta comunitat vegetal han desenvolupat diverses adaptacions com ara la mida reduïda i la reducció de la superfície foliar. També es troben adaptacions contra la depredació per herbívors, com és la producció d'espines o la producció de substàncies químiques dissuasòries. En resum, degut a diverses influències biòtiques i abiòtiques ens trobam davant d'un matollar baix, poc dens i aerodinàmic (Llorens *et al.*, 2007).

L'hàbitat de l'espècie, per tant, és molt variat. A més, hi ha poblacions que es troben prop del nivell del mar i altres poblacions que es poden trobar per damunt els 600 metres. Actualment l'espècie no presenta amenaces destacables ni gaudeix de protecció legal. L'espècie es troba a Mallorca, Menorca, Cabrera i Eivissa (Figura 2), encara que és a l'illa de Mallorca on es troba amb més abundància (Alomar *et al.*, 1997).

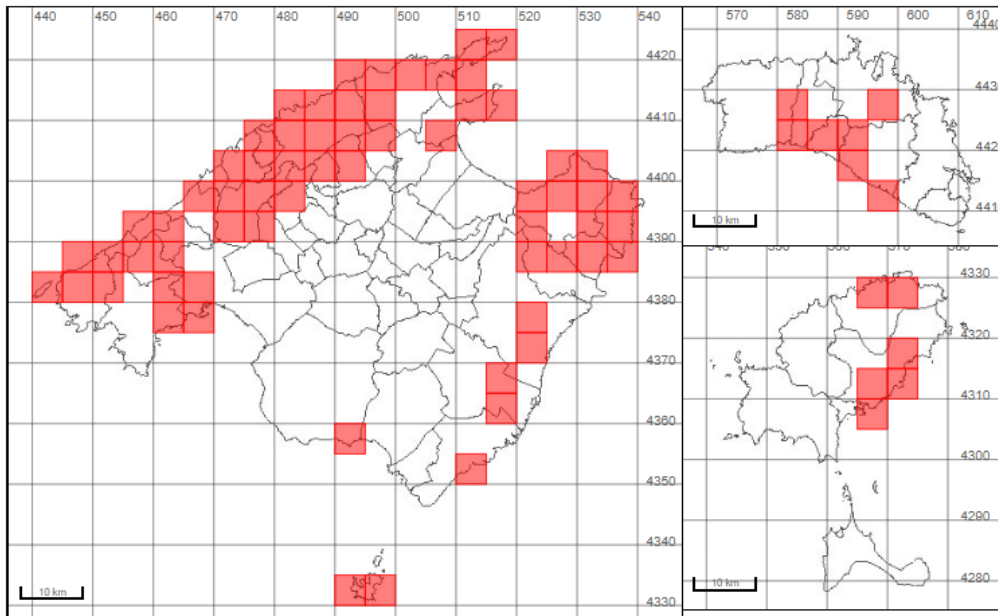


Figura 2. Distribució d'*Hypericum balearicum* a les Illes Balears (Font: Bioatles).

Importància de la biologia reproductiva

El sistema reproductor de les plantes engloba les estructures reproductives i els processos que afecten la seva fecunditat i composició genètica de la descendència (Bacchetta *et al.*, 2008). Les característiques reproductives vegetals, com és la pol·linització i els sistemes de reproducció sexuals, s'han utilitzat per comprendre les respostes de les plantes als canvis ambientals (Almeida *et al.*, 2011).

En les poblacions naturals vegetals el coneixement de la biologia reproductiva de les espècies que hi habiten esdevé vital per a la seva utilització sostenible, gestió i conservació. Sense el coneixement de la biologia reproductiva d'una espècie, la seva conservació esdevé ineficaç (Shivanna *et al.*, 2014).

Estudis previs d'*H. balearicum*

La biologia reproductiva d'*H. balearicum* va ser estudiada a la tesi "Biologia reproductiva del matorral de la muntanya mallorquina" (Tébar, 1992). S'estudià la biologia reproductiva d'aquesta espècie en les poblacions del Puig Major (1443 m). Els paràmetres estudiats a part dels caràcters descriptius de la planta foren l'estudi de la biologia de les flors (nombre de flors per individu, nombre de primordis seminals, nombre d'anteres i nombre de grans de pol·len mitjà per flor); estudis sobre la biologia dels fruits (nombre de llavors per fruit, dispersió de les llavors); la fenologia de la planta (a nivell individual i a nivell poblacional); estudis de pol·linització (mecanismes de pol·linització, recompensa floral i insectes pol·linitzadors) i finalment, la germinació de les llavors (percentatge de germinació en diferents condicions de temperatura). Aquest estudi va permetre conèixer la biologia reproductiva de l'espècie en poblacions d'alta altitud però no s'han realitzat altres estudis de les possibles diferències en les estratègies de biologia reproductiva entre poblacions d'alta altitud i poblacions de baixa altitud.

A més, a l'estudi de Rodríguez-Pérez & Traveset (2016) es va analitzar la fenologia de floració i la seva sincronia, l'èxit reproductiu i els pol·linitzadors durant els pics de floració d'*H. balearicum* a dues localitats de Mallorca (Randa i Lluc).

Objectius de l'estudi

L'objectiu principal de l'estudi és caracteritzar per primera vegada la biologia reproductiva de *H. balearicum* en poblacions litorals. Per caracteritzar la biologia reproductiva l'objectiu principal és analitzar els sistemes de creuament i els agents pol·linitzadors que presenta l'espècie.

Objectius específics :

- Comparar la biologia reproductiva d'*H. balearicum* de poblacions litorals amb els estudis previs de Tébar (1992) de la biologia reproductiva de la mateixa espècie a la muntanya mallorquina. A més, s'analitzaran nous aspectes que no s'han avaluat en la tesi anterior com són els tractaments d'autogàmia induïda, els tractaments de xenogàmia induïda i les característiques biomètriques de l'espècie.
- Adquirir els coneixements necessaris per a possibles plans de gestió i conservació de l'espècie a les Illes Balears.

Material i mètodes

Zona de estudi

La biologia reproductiva d'*H. balearicum* ha estat estudiada a dues localitats del municipi de Pollença: Cala Figuera (Figura 3a) i Cala Bóquer (Figura 3b). Les dues localitats es troben a la Serra de Tramuntana prop del nivell del mar (Taula 1).

Localitat	Municipi	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Cala Figuera	Pollença	39° 56' 59.3" N	3° 10' 30.6" E	105
Cala Bóquer	Pollença	39° 55' 30.536" N	3° 5' 32.982" E	79

Taula 1. Característiques principals de les dues localitats d'estudi: Cala Figuera i Cala Bóquer.

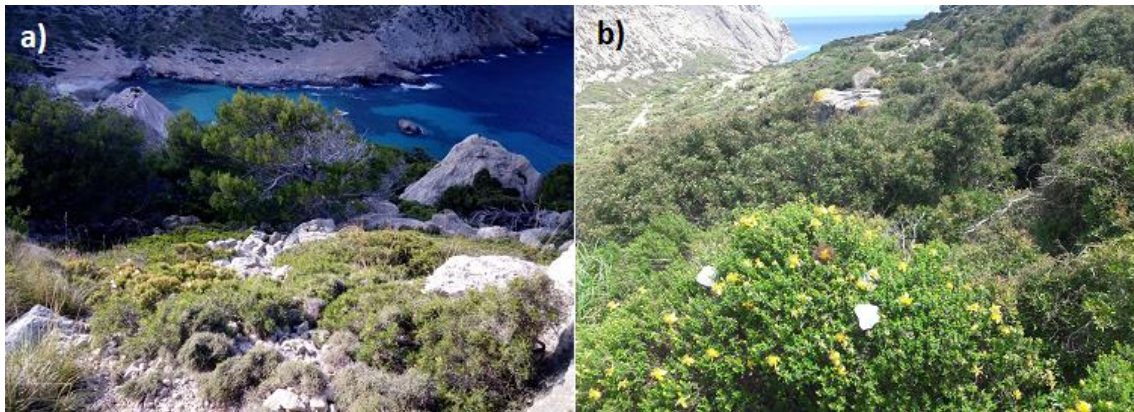


Figura 3. Localitat de (a) Cala Figuera i (b) Cala Bóquer.

Mecanismes de pol·linització

Per tal d'avaluar el sistema de creuament i els agents pol·linitzadors, es van realitzar diversos tractaments de pol·linització (Dafni, 1992). Els tractaments de pol·linització realitzats són els següents:

- **Agamospèrmia:** reproducció asexual on es produeix una fertilització sense pol·linització. Les poncelles s'emascularen i es cobriren amb una malla d'exclusió de pol·linitzadors (teixit de malla de 2 mm²). **Objectiu:** avaluar la taxa de reproducció asexual de les flors.
- **Autogàmia passiva:** pol·linització espontània amb pol·len de la mateixa flor. S'embossaren les poncelles sense emascarar i sense pol·linització manual. **Objectiu:** mesurar l'autocompatibilitat per a la pol·linització sense la necessitat d'agents pol·linitzadors.
- **Autogàmia induïda:** pol·linització manual amb pol·len de la mateixa flor. Les poncelles s'embossaren amb la malla d'exclusió de pol·linitzadors. Als 2-3 dies, quan la flor ja estava madura, després de tallar alguns estams i autopol·linitzar-la manualment, es tornà a embossar. **Objectiu:** mesurar si existeix autocompatibilitat de pol·linització induïda per algun agent. Els pol·linitzadors poden induir una autopol·linització encara que aquesta no es doni de manera passiva.
- **Xenogàmia induïda:** les poncelles s'emascularen i s'embossaren. Als 2-3 dies, els estigmes es pol·linitzaren amb pol·len d'una flor d'un altre individu que es trobava com a mínim a 5 metres de distància de la flor manipulada. Una vegada realitzada la pol·linització manual s'embossaren les flors. **Objectiu:** avaluar la compatibilitat genètica amb altres individus de la mateixa espècie.
- **Pol·linització anemògama + agamospèrmia + autogàmia:** pol·linització de les flors degudes al transport de pol·len pel vent, a més d'incloure l'agamospèrmia i l'autogàmia. Les poncelles s'embossaren amb una malla d'exclusió de pol·linitzadors de tul sense cap tipus de tractament previ. L'estratègia és que el tul no deixa passar els insectes i altres possibles pol·linitzadors, però sí deixa passar

el pol·len transportat pel vent. **Objectiu:** avaluar la taxa de fertilització degut a la pol·linització per vent tenint en compte que també s'ha pogut donar agamospèrmia i/o autogàmia.

A tots els individus manipulats es va marcar amb fil una flor control (sense cap tractament), a fi d'avaluar la taxa de pol·linització sota condicions naturals. Cada un dels tractaments es dugueren a terme a una flor de 25 individus de cada població (n=25). Els tractaments es van dur a terme durant el mes de maig i de juny de 2018 a Cala Bóquer i a Cala Figuera, respectivament.

Una vegada els fruits resultants de cada tractament són madurs es recolliren per avaluar la taxa de fructificació (quallat del fruit = fruits desenvolupats / flors tractades) i el nombre de llavors de cada fruit, a més de la llargària i amplària dels fruits. Per tal d'avaluar l'efecte en conjunt de la variable quallat del fruit i nombre de llavors produïdes es calculà el producte de les dues variables (quallat del fruit*nombre de llavors) per a cada tractament. La recollida de fruits a ambdues poblacions es dugué a terme entre els mesos de juliol i agost de 2018. Degut a problemes metodològics, del tractament de xenogàmia induïda no es varen aconseguir dades al 2018. Per aquesta raó, juntament amb el control corresponent, es repetí el tractament de xenogàmia induïda a les dues localitats el maig de 2019. Del tractament de xenogàmia induïda que es va tornar a repetir al 2019 el recompte de llavors i les dimensions dels fruits no s'han pogut aconseguir degut a les limitacions que suposa la fenologia de la planta. Llavors, del tractament de xenogàmia induïda només hi ha les dades de la taxa de fructificació.

Es calcularen els següents índexs: (a) índex de d'autocompatibilitat (ISI= quallat del fruit del tractament d'autogàmia induïda / quallat del fruit del tractament de xenogàmia) (b) índex d'autopol·linització passiva (IAS= quallat del fruit de l'autogàmia passiva / quallat del fruit de l'autogàmia induïda (Zapata & Arroyo, 1978). Els rangs dels valors de cada índex es mostra a la Taula 2. Com que els valors del quallat del fruit dels diferents tractaments són unes mitjanes s'ha calculat la propagació de l'error estàndard per a cada índex.

Taula 2. Categories qualitatives assignades per dos índexs del sistema de reproducció (BSI) segons els valors de l'índex determinat en cada rang. IAS (índex d'autopol·linització passiva) i ISI (índex d'autocompatibilitat) (Ramírez & Nassar, 2017).

BSI	IAS	ISI
BSI=0	No autogàmia passiva	Autoincompatible
0 <BSI <1	Autogàmia passiva parcial	Autoincompatible parcial
BSI= 1	Autogàmia passiva	Autocompatible
>1 o 0 < (1/BSI) <1	Autogàmia induïda parcialment restringida	Creuament incompatible parcial
BSI ~ ∞ o (1/BSI) ~ 0	Autogàmia passiva obligada	Creuament incompatible

Censos de pol·linitzadors

L'objectiu dels censos era, per una banda, analitzar els tipus de pol·linitzadors d'*H. balearicum* i, per altra banda, estudiar la possible variació durant el dia de la freqüència de visites d'insectes.

Per estudiar els pol·linitzadors d'*H. balearicum* es va seguir el protocol de Cursach & Rita (2012). Durant el període de floració, es van dur a terme observacions de pol·linitzadors d'almenys 7 flors obertes durant 15 minuts. A cada cens, s'anotaren el nombre de visites de cada tipus de pol·linitzador. En el cas de Cala Bóquer les hores dels censos van ser cada 2 h de les 9:30 fins les 17:30 h dia 3 de juliol de 2018 (2 observadors). A Cala Figuera, es feren els censos cada 2 h des de les 9:00 fins les 17 h dia 30 de juny de 2018 (3 observadors). Pel tractament de les dades, primer de tot s'agruparen el nombre de visites segons l'ordre dels insectes pol·linitzadors. Després es sumaren les visites de tots els observadors de cada hora de cens. Donat que a les dues localitats els censos es varen fer sobre un total de flors diferents, les dades de les dues localitats es ponderaren a nombre de visites per 50 flors. A més, es calculà la representació en percentatge dels ordres d'insectes en els dos censos.

La determinació dels insectes pol·linitzadors es va realitzar amb l'ajuda del llibre de Chinery (2006) i la pàgina web "Descobreix els pol·linitzadors de les Illes Balears" (Traveset, 2018).

Característiques florals

Es determinaren el nombre d'anteres, primordis seminals, grans de pol·len per individu i es calculà la ràtio pol·len/òvul (P/O) per flor.

La ràtio P/O és un paràmetre per estimar el tipus de mecanisme de pol·linització d'un taxó (Cruden 1977). Es calculà a partir de la relació entre la producció del nombre de grans de pol·len per flor i el seu nombre de primordis seminals. Aquesta relació reflexa l'eficiència per part de la flor en la transferència de pol·len, quan més baixa sigui la relació menor és l'eficiència.

Pel càlcul de la ràtio P/O es va seleccionar una poncella de cada un dels 25 individus de cada localitat. De cada poncella, es separaren el pistil i les anteres, i es conservaren per separat en etanol al 70%. Es contaren el nombre de primordis seminals que hi havia en cada pistil i el nombre d'anteres totals de cada poncella (n=25). Per comptar el nombre de grans de pol·len per flor es seguí el protocol de Cursach & Rita (2012) i Dafni (2005). Es separaren 25 anteres de cada poncella i es guardaren en un tub de microcentrífuga amb 500 µl d'etanol al 70%. Les anteres es van trencar amb una agulla i s'agitaren amb vòrtex fins tenir homogeneïtzada la mostra. Es va fer una dilució 2:5 (200 µl de mescla + 300 µl etanol 70%). Sota un microscopi òptic, es va comptar el nombre de grans de pol·len en una alíquota de la dilució, utilitzant la càmera de recompte Fuchs – Rosenthal que té dues graelles de 4 x 4 x 0,2 mm dividides en 256 cèl·lules de 0,0625 mm. El volum d'alíquota

d'una graella correspon a 3,2 µl. Per a cada mostra es van fer 3 pseudorèpliques. A partir de les mitjanes de les tres pseudorèpliques i aplicant els factors de dilució i factors de conversió corresponents s'obtingué el nombre de grans de pol·len mitjà per flor. Finalment, es dividí el nombre de grans de pol·len de cada flor pel nombre de primordis seminals de la mateixa flor i s'obtingué la ràtio P/O mitjana de les dues poblacions.

Característiques biomètriques

Per a determinar les característiques biomètriques es mesuraren els següents paràmetres als 25 individus de les dues poblacions: alçària de la branca més alta, amplària i la seva perpendicular, i la gruixa del tronc més gruixat. Les mides lineals es mesuraren amb un metre i la gruixa del tronc amb un peu de rei digital. A més, s'analitzà la forma de la planta. Aquesta s'estimà dividint l'amplària de cada un dels individus entre la seva perpendicular.

Anàlisi estadístic

Per tal d'avaluar estadísticament l'efecte del tractament de pol·linització sobre l'èxit reproductiu (quallat del fruit, nombre de llavors per fruit i quallat del fruit*nombre de llavors) es transformaren les dades del quallat del fruit a una distribució normal mitjançant un GLM (model lineal generalitzat) amb distribució binomial. El nombre de llavors per fruit i el producte de quallat del fruit i nombre de llavors es transformaren en una distribució normal mitjançant un GLM de distribució de Poisson. Amb les dades de l'amplària i longitud dels fruits de cada tractament i localitat s'analitzà la seva normalitat i homogeneïtat de variàncies amb el test de Shapiro i el test de Barlette, respectivament. Posteriorment, per a cada variable es va fer un ANOVA de dos factors (tractament i localitat) amb un test post-hoc de Tukey (emmeans).

Els recomptes de nombre de primordis seminals, nombre d'anteres i ràtio P/O es varen transformar a una distribució normal mitjançant un GLM amb distribució de Poisson. Posteriorment, s'analitzaren si hi havia diferències significatives entre les dues localitats per cada un dels paràmetres mitjançant una ANOVA d'un factor.

Finalment, per tal d'avaluar estadísticament les característiques biomètriques dels individus s'analitzà la normalitat i homogeneïtat de variàncies de les dades amb el test de Shapiro i el test de Barlette, respectivament. Posteriorment, es realitzà una T de Student (paramètric) o test de Kruskal-Wallis (no paramètric).

L'anàlisi estadística es dugué a terme amb R Studio (versió 3.5.1).

Resultats

Mecanismes de pol·linització

Degut a què no hi havia diferències significatives entre el tractament control de l'any 2018 i el tractament control del 2019, el tractament de xenogàmia que s'ha fet al 2019 s'ha analitzat conjuntament amb els altres tractaments realitzats al 2018.

El quallat del fruit ha donat diferències significatives entre tractaments ($\chi^2= 475,47$, p-valor= $<2 \times 10^{-16}$), mentre que no hi ha diferències significatives entre les dues localitats ($\chi^2=0,35$, p-valor= 0,55). A més, no hi ha interacció entre la localitat i els tractaments ($\chi^2= 3,66$, p-valor=0,6). El tractament control és el que té una major taxa de fructificació respecte als altres tractaments, amb un valor al voltant del 100%. Després segueixen els tractaments d'autogàmia induïda, el tractament d'exclusió de pol·linitzadors i el tractament de xenogàmia, els quals no presenten diferències significatives entre ells. El tractament d'autogàmia passiva es diferencia de tots els altres tractaments excepte del tractament de xenogàmia induïda i és el que té una taxa de fructificació més baixa després del tractament d'agamospèrmia. El tractament d'agamospèrmia no presenta fructificació en cap de les dues localitats (Figura 4).

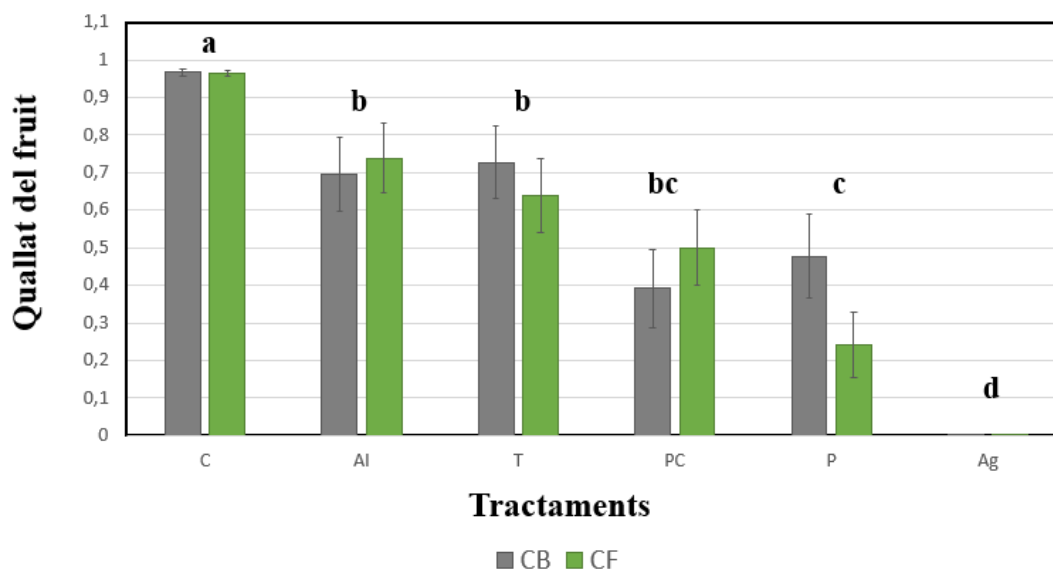


Figura 4. Mitjana del quallat del fruit de cada tractament i de cada localitat. C: control, AI: autogàmia induïda, T: tul (pol·linització per vent + autogàmia passiva + agamospèrmia), PC: xenogàmia, P: autogàmia passiva, Ag: agamospèrmia. S'indica l'error estàndard de cada mitjana. Les lletres mostren diferències significatives entre tractaments i l'asterisc mostra diferències significatives entre localitats segons el test post-hoc de Tukey. Per a Cala Figuera: C (n=25), AI (n=23), T (n=25), PC (n=26), P (n=25), Ag(n=24). Per a Cala Bóquer: C (n=25), AI (n=23), T (n=22), PC (n=23), P (n=21), Ag (n=21).

Els valors de l'índex d'autopol·linització passiva (IAS) es troba en les dues localitats entre 0 i 1. Aquests valors segons els criteris esmentats a la metodologia situen al sistema reproductor de l'espècie com a autogàmia passiva parcial. El valor de l'índex d'autocompatibilitat (ISI) és superior a 1 a les dues localitats, per la qual cosa es classifica l'espècie amb una incompatibilitat parcial de creuament (Taula 3).

Taula 3. Valors dels índexs del sistema de reproducció per a cada localitat. IAS (índex d'autopol·linització passiva) i ISI (índex d'autocompatibilitat). S'indica la propagació de l'error estàndard de cada índex.

Localitat	IAS	ISI
Cala Bóquer	0,68±0,27	1,78±0,3
Cala Figuera	0,32±0,38	1,48±0,24

El nombre de llavors per fruit ha donat diferències significatives entre tractaments ($\chi^2=969,29$, p-valor= $<2 \times 10^{-16}$) i entre localitats ($\chi^2=3,98$, p-valor=0,046), a més s'observa interacció entre ambdós factors ($\chi^2=127,62$, p-valor= $<2 \times 10^{-16}$).

Per una banda, comparant els mateixos tractaments en les dues localitats només s'observen diferències significatives entre el tractament amb tul de Cala Bóquer i el de Cala Figuera. El de Cala Figuera és el que presenta una producció de llavors més elevada.

Per altra banda, tots els tractaments presenten diferències significatives entre ells. El tractament d'autogàmia induïda és el que presenta més producció de llavors per fruit, seguit del tractament control. El tractament amb tul presenta menys producció de llavors que el tractament control. Finalment, el tractament d'autogàmia passiva és el que presenta una producció de llavors per fruit més baixa (Figura 5).

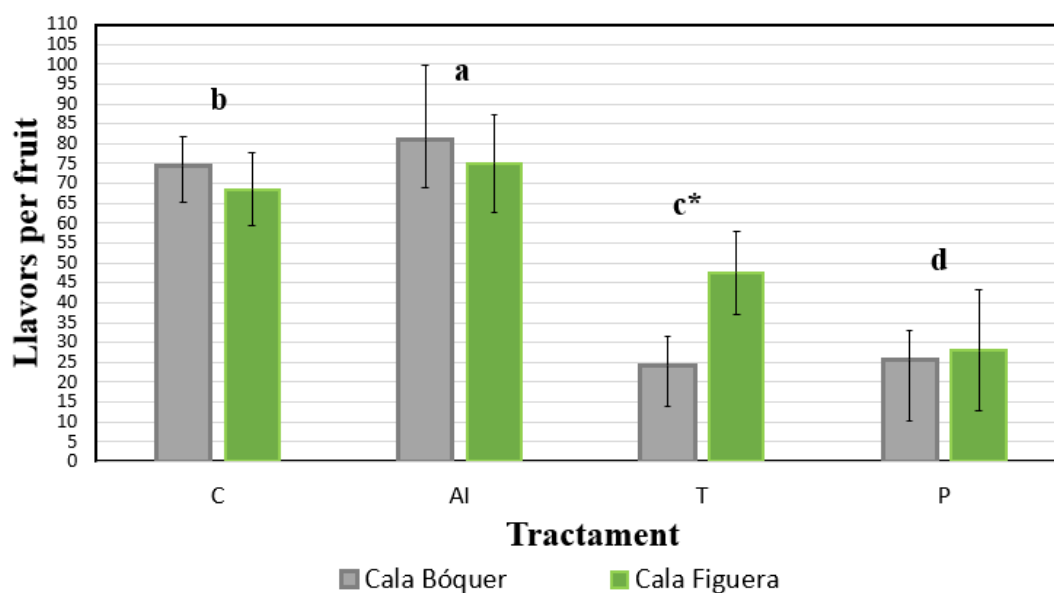


Figura 5. Mitjana de llavors per fruit de cada tractament i de cada localitat. C: control, AI: autogàmia induïda, T: tul (pol·linització per vent + autogàmia passiva + agamospèrmia) i P: autogàmia passiva. S'indica l'error estàndard de cada mitjana. Les lletres mostren diferències significatives entre tractaments i l'asterisc mostra diferències significatives entre localitats segons el test post-hoc de Tukey. Per a Cala Figuera: C (n=25), AI (n=18), P (n=6), T (n=16). Per a Cala Bóquer: C (n=25), AI (n=16), P (n=9), T (n=16).

L'èxit reproductiu (quallat del fruit * nombre de llavors) presenta diferències significatives entre tractaments ($\chi^2=2985,33$, p-valor= $<2 \times 10^{-16}$), mentre que no presenta diferències significatives entre localitats ($\chi^2=3,25$, p-valor=0,07). S'observa interacció entre ambdós factors ($\chi^2=94,77$, p-valor= $<2 \times 10^{-16}$).

L'èxit reproductiu de les dues localitats presenta diferències significatives entre tots els tractaments. El control és el tractament que presenta un èxit reproductiu més alt seguit de l'autogàmia induïda. El tractament de tul presenta un èxit reproductiu significativament inferior que l'autogàmia induïda, i finalment el tractament d'autogàmia passiva és el que presenta un valor més baix (Figura 6).

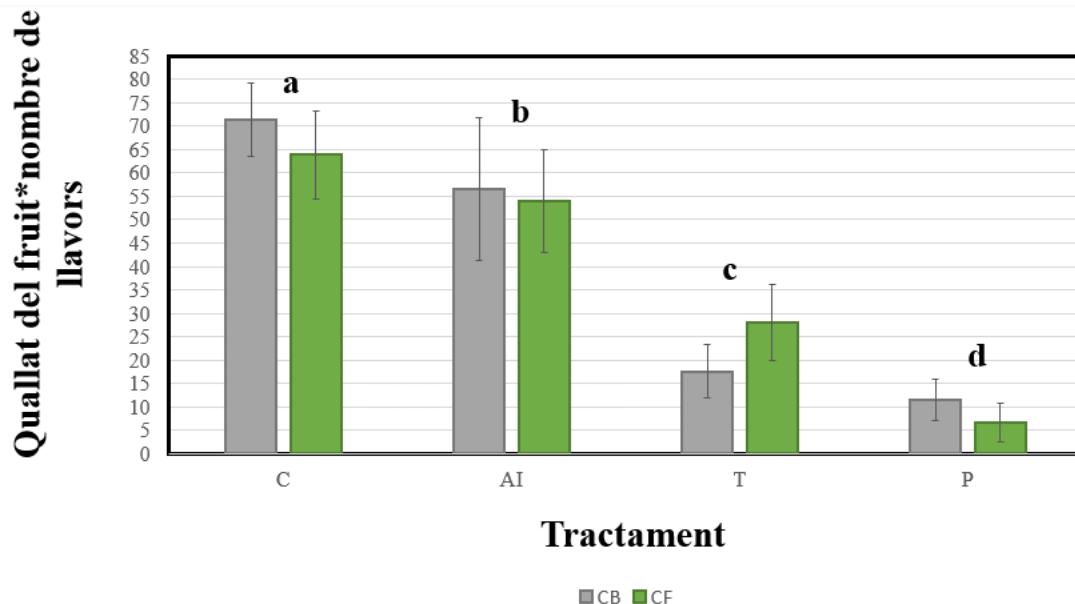


Figura 6. Mitjana de quallat del fruit*nombre de llavors de cada tractament i localitat. C: control, AI: autogàmia induïda, T: tul (pol·linització per vent + autogàmia passiva + agamospèrmia) i P: autogàmia passiva. S'indica l'error estàndard de cada mitjana. Les lletres mostren diferències significatives entre tractaments i l'asterisc mostra diferències significatives entre localitats segons el test post-hoc de Tukey. Per a Cala Figuera: C (n=25), AI (n=23), P (n=25), T (n=24). Per a Cala Bóquer: C (n=25), AI (n=23), P (n=21), T (n=22).

Característiques dels fruits

La longitud dels fruits presenten diferències significatives entre tractaments ($F= 5,34$, $p\text{-valor}= 0,002$) i entre localitats ($F= 5,03$, $p\text{-valor}= 0,03$). A més hi ha interacció entre ambdós factors ($F=4,65$, $p\text{-valor}=0,0041$). Quant a l'amplària dels fruits, hi ha diferències entre tractaments ($F= 3,02$, $p\text{-valor}=0,03$) però no hi ha diferències significatives entre les dues localitats ($F= 0,03$, $p\text{-valor}= 0,86$). Hi ha interacció entre els dos factors ($F= 4,23$, $p\text{-valor}=0,007$).

Els fruits del tractament d'autogàmia induïda de Cala Bóquer són estadísticament més llargs que els fruits dels tractaments control i d'autogàmia passiva. La resta de tractaments no presenten diferències significatives quant a la llargària dels fruits. Els fruits del tractaments d'autogàmia induïda de Cala Bóquer són estadísticament més llargs que els del mateix tractament de Cala Figuera. L'amplària dels fruits del tractament AI són estadísticament més amples que els fruits del control. La resta de tractaments no presenten diferències quant a l'amplària del fruit (Taula 4).

Taula 4. Mitjanes de la llargària i amplària (mm) dels fruits de cada tractament i localitat. CB: Cala Bóquer i CF: Cala Figuera. C: control, AI: autogàmia induïda, T: tul (pol·linització per vent+ autogàmia passiva + agamospèrmia) i P: autogàmia passiva. Les lletres mostren diferències significatives entre tractaments i l'asterisc mostra diferències significatives entre localitats segons el test post-hoc de Tukey.

Tractament	Localitat	Llargària		Amplària	
C	CB (n=25)	924,05±27,02	b	457,81±14,93	b
	CF (n=25)	929,5±32,24		496±12,27	
AI	CB (n=15)	1178,82±59,26	a*	574,53±19,46	a
	CF (n=18)	943,78±31,68		489,8±17,94	
P	CB (n=10)	952,32±30,51	b	487,32±25,68	ab
	CF (n=6)	847,3±59,18		481,53±36	
T	CB (n=16)	967,2±43,84	ab	491,04±23,18	ab
	CF (n=16)	968,75±29,51		502,2±23,23	

Censos de pol·linitzadors

A Cala Bóquer els pol·linitzadors observats pertanyen als ordres Coleoptera i Hymenoptera. A Cala Figuera, també hi ha pol·linitzadors d'aquests dos ordres però també s'han observat pol·linitzadors de l'ordre Diptera. A les dues localitats, l'ordre que representa un percentatge major de visites florals és el Coleoptera (Taula 5). A Cala Bóquer, al llarg de les 8 hores el nombre de visites tant pels coleòpters com pels himenòpters és relativament estable (Figura 7). En el cas de Cala Figuera, els coleòpters van disminuint progressivament amb el temps encara que durant les 8 hores mantenen una presència alta en aquesta localitat. Els dípters i himenòpters també van disminuint fins que al darrer cens ja no s'observaren (Figura 8). El nombre de visites florals és més elevat a Cala Figuera que a Cala Bóquer (Figures 7 i 8).

A Cala Bóquer es trobaren 8 morfoespècies diferents com a pol·linitzador i a Cala Figuera se'n trobaren 13. No tots els pol·linitzadors observats han estat identificats. A la Taula 6 s'enumeren els insectes pol·linitzadors que han pogut ésser determinats. A la figura 9 s'observen dues espècies pol·linitzadores d'*H. balearicum*, les quals, es troben entre les morfoespècies observades i identificades en els censos.

Taula 5. Percentatge de visites florals totals de cada ordre. El percentatge s'ha calculat com la suma de totes les visites florals al llarg del dia (Cala Figuera: 9:00-18:00h; Cala Bóquer: 9:30-18:30h) calculades a 50 flors.

	COLEOPTERA	HYMENOPTERA	DIPTERA
Cala Bóquer	75	25	0
Cala Figuera	77,27	10,23	12,5

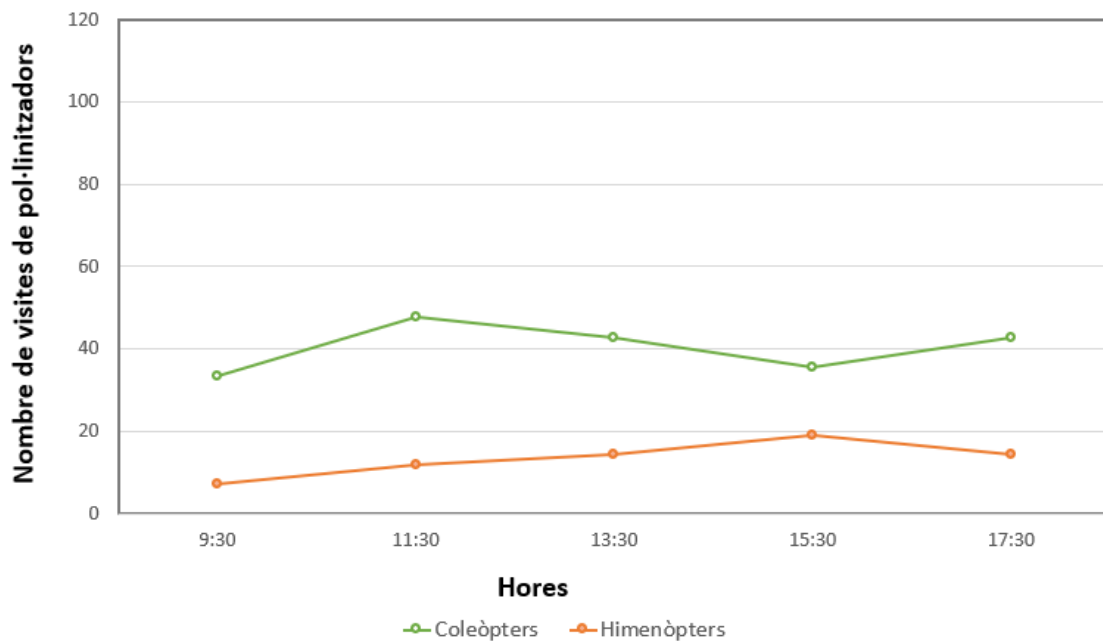


Figura 7. Nombre de visites de pol·linitzadors respecte al temps a Cala Bóquer. El recompte de pol·linitzadors que s'indica al gràfic estan calculats sobre 50 flors.

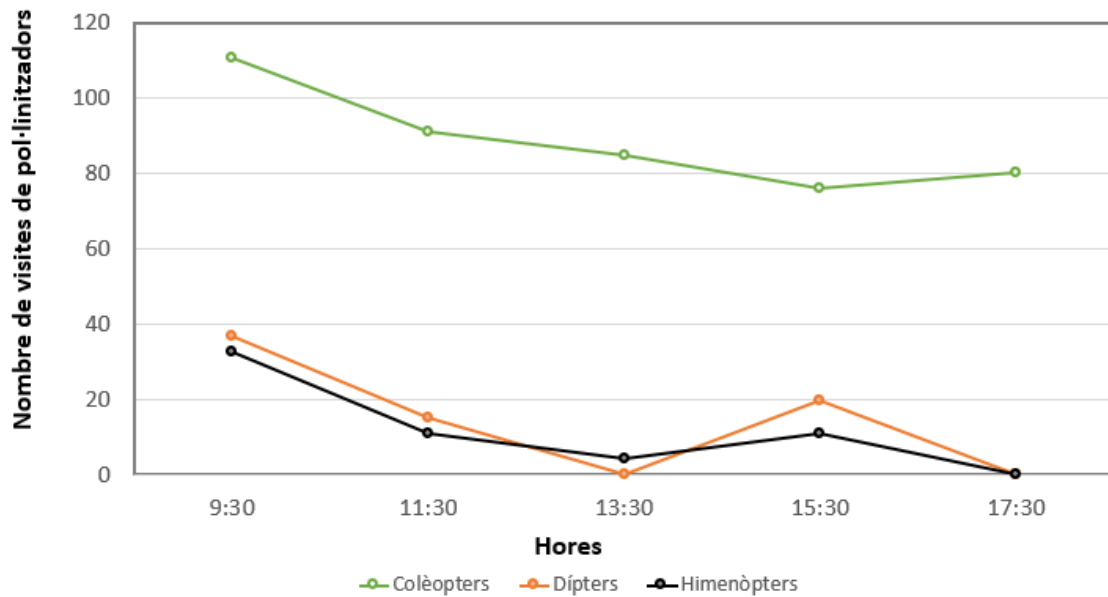


Figura 8. Nombre de visites de pol·linitzadors respecte al temps a Cala Figuera. El recompte de pol·linitzadors que s'indica al gràfic estan calculats sobre 50 flors.

Taula 6. Insectes pol·litzadors identificats d'*Hypericum balearicum*

ORDRE	FAMÍLIA	TAXON
COLEOPTERA	Melyridae	<i>Dasytes</i> sp.
	Oedemeridae	<i>Oedemera barbara</i>
	Scarabaeidae	<i>Oxythyrea funesta</i>
DIPTERA	Syrphidae	Indeterminat
HYMENOPTERA	Halictidae	<i>Lasioglossum</i> sp.



Figura 9. *Oedemera barbara* (esquerra) i *Oxythyrea funesta* (dreta).

Característiques florals

Cala Figuera presenta evidències significatives de tenir flors amb major nombre d'anthers que Cala Bóquer ($\chi^2 = 8.04$, p-valor=0.004). De la mateixa manera, el nombre de grans de pol·len per flor és significativament més gran a Cala Figuera que a Cala Bóquer ($\chi^2 = 375952$, p-valor= $<2,2 \times 10^{-16}$). No obstant, el nombre de primordis seminals per flor és significativament major a Cala Bóquer amb respecte a Cala Figuera ($\chi^2 = 25.32$, p-valor= $4,87 \times 10^{-7}$). Degut als resultats del nombre de grans de pol·len i del nombre de primordis seminals per flor la ràtio P/O és significativament més gran a Cala Figuera que a Cala Bóquer ($\chi^2 = 9440.2$, p-valor= $<2,2 \times 10^{-16}$) (Taula 7).

Taula 7. Mitjanes de nombre de grans de pol·len, nombre d'anteres i nombre de primordis seminals per flor i ràtio P/O per a cada localitat. CB: Cala Bóquer i CF: Cala Figuera Les lletres mostren diferències significatives entre localitats segons el test post-hoc de Tukey.

	Localitat	Mitjana	Interval de confiança	
			Baix	Alt
Nombre grans de pol·len/flor	CB (n=24)	1684037± 264,89 b	1683445	1684630
	CF (n=22)	1927008± 295,96 a	1926346	1927670
Nombre d'anteres/flor	CB (n=25)	88,8± 1,88 b	84,6	93,1
	CF (n=25)	96,5± 1,96 a	92,2	101
Nombre de primordis seminals/flor	CB (n=25)	172± 2,62 a	166	178
	CF (n=25)	154± 2,48 b	148	159
Ràtio P/O	CB (n=25)	10172±20,59 b	10126	10218
	CF (n=25)	13269±24,56 a	13214	13324

Característiques biomètriques

Les característiques biomètriques no presenten diferències significatives entre les dues localitats (Taula 3): alçària de la branca més alta ($t = -1,83$, $p\text{-valor} = 0,07$), amplària dels individus ($t = 0,76$, $p\text{-valor} = 0,45$), perpendicular de l'amplària ($W = 366,5$, $p\text{-valor} = 0,29$) i gruixa del tronc més gruixat ($t = 1,85$, $p\text{-valor} = 0,07$). Les mitjanes de la ràtio amplària/perpendicular són iguals estadísticament en les dues localitats segons el test de Kruskal-Wallis ($W = 312$, $p\text{-valor} = 1$) (Taula 8). A més, els valors propers a 1 de les mitjanes demostren que els individus de les dues localitats presenten una forma arrodonada.

Taula 8. Mitjanes de l'alçària, amplària, perpendicular de l'amplària dels individus i de la gruixa del tronc dels individus de cada localitat i la ràtio amplària/perpendicular. CB: Cala Bóquer i CF: Cala Figuera. S'indica l'error estàndard de cada mitjana. Les lletres mostren diferències significatives entre localitats segons el test post-hoc de Tukey.

Característiques biomètriques	Localitat	Mitjana (cm)
Alçària de la branca més alta	CB (n=25)	87,16±5,29 a
	CF (n=25)	74,12±4,77 a
Amplària	CB (n=25)	124,08±6,34 a
	CF (n=25)	132,48±9,10 a
Perpendicular a l'amplària	CB (n=25)	113,92±8,26 a
	CF (n=25)	123,08±9,35 a
Gruixa del tronc més gruixat	CB (n=25)	1,54±0,10 a
	CF (n=25)	1,88±0,15 a
Ràtio amplària/perpendicular	CB (n=25)	1,15±0,06 a
	CF (n=25)	1,15±0,08 a

DISCUSSIÓ

H. balearicum presenta una forma arrodonida en les dues localitats estudiades. No hi ha diferències significatives en les característiques biomètriques dels individus entre localitats, el que demostra que no hi ha unes condicions ambientals diferents en les dues localitats que causin adaptacions diferencials als individus. Les regions costaneres tenen una forta exposició al vent amb deposició de solució salina, sòls poc profunds que estan sotmesos a una forta erosió eòlica i tenen un baix potencial d'edafogènesi. Aquestes condicions determinen entre d'altres factors la forma arrodonida de les plantes (Llorens & Gil, 2017).

La ràtio P/O que s'ha trobat a les dues localitats situa l'espècie segons les categories de Cruden (1977) com a xenògama. No obstant, segons els dos índexs del sistema de reproducció de Zapata & Arroyo (1978), l'espècie té un sistema reproductiu amb autogàmia passiva parcial i amb una incompatibilitat parcial de creuament, és a dir, un sistema de creuament mixt que combina xenogàmia i autogàmia. A més, els resultats dels mecanismes de pol·linització indiquen que l'espècie es comporta sense diferències significatives com a xenògama i autògama. Aquestes dades coincideixen amb el sistema de reproducció d'*H. perforatum*: segons Crompton *et al.* (1988), les flors d'*Hypericum perforatum* autofecundades a un hivernacle de Kentville (Canadà) es desenvoluparen amb la mateixa eficiència que les que varen ser pol·linitzades de manera creuada.

En la variable de nombre de llavors per fruits només es té en compte els fruits que han fructificat. Aleshores, la variable quallat del fruit*nombre de llavors permet mostrar millor l'èxit reproductiu de cada tractament ja que engloba tant el quallat del fruit com la producció de llavors. D'aquesta manera, s'observa que el control és el que presenta un major èxit reproductiu, encara que el tractament d'autogàmia induïda presenti una major producció de llavors per fruit que el control. Entre els tractaments amb tul i autogàmia induïda no hi ha diferències significatives quant a la fructificació, però alhora d'analitzar la variable quallat del fruit*nombre de llavors es veu que sí que hi ha diferències entre aquest dos tractaments. El tractament d'autogàmia induïda presenta un major èxit reproductiu que el tractament de tul degut a la diferència en la producció de llavors per fruit. Per altra banda, la producció de llavors per fruit de l'autogàmia induïda és significativament més gran que el d'autogàmia passiva, i a més, això coincideix amb l'èxit reproductiu dels dos tractaments. Aquest fet demostra que els agents pol·linitzadors tenen un paper important en l'èxit reproductiu de l'espècie.

El tractament amb tul presenta un 72% de fructificació a Cala Bóquer i un 64% de fructificació a Cala Figuera. S'ha de tenir en compte, que en aquest tractament també s'inclou l'efecte de l'autogàmia passiva. Descomptant la fructificació a partir de l'autogàmia passiva, el procés exclusiu d'anemofília ha permès una fructificació del 25% a Cala Bóquer i del 40% a Cala Figuera. La fructificació tenint en compte l'autogàmia

induïda i la pol·linització per vent (tractament amb tul) no expliquen completament la fructificació del tractament control, el que indica que els insectes també tenen un paper important en la pol·linització natural de les flors. Segons això, es pot classificar *H. balearicum* com a una planta ambòfila, és a dir, que combina la pol·linització entomòfila amb la pol·linització per vent. Antigament, l'anemofília i l'entomofília s'han considerat tipus de pol·linitzacions separades, no obstant, als darrers anys s'han trobat espècies que combinen els dos tipus de pol·linitzacions, com per exemple espècies de la família Arecaceae, Brassicaceae, Caryophyllaceae, Liliaceae, Ranunculaceae o Thymelaeaceae (Culley *et al.*, 2002; Cursach & Rita, 2012; De La Bandera & Traveset, 2006).

La limitació i/o la manca de qualitat del pol·len afecten la fertilització dels òvuls i a la producció de llavors. La limitació de pol·len es produeix quan el quallat del fruit i/o la producció de llavors és menor que si hi hagués hagut una pol·linització amb més grans de pol·len (Groom, 1998). La influència de la limitació de pol·len no s'ha analitzat en aquest estudi. Per a poder analitzar aquest factor es podria realitzar un nou tractament on es pol·linitzen les flors sense cap tipus de tractament previ amb pol·len de tres plantes diferents i deixar la flor tractada en condicions de pol·linització natural. Si es troben diferències entre el tractament de limitació de pol·len i el control (pol·linització natural) quant a la producció de fruits i de llavors, les diferències entre aquests dos tipus de tractaments s'explicarien per la limitació de pol·len (Ramsey, 2000). A nivell de quallat del fruit no s'observa una limitació de pol·len ja que el control presenta al voltant del 100% de fructificació. No obstant, el nombre de primordis seminals mitjans a Cala Bóquer és de $172 \pm 2,62$ i a Cala Figuera $154 \pm 2,48$. Això indica, que un fruit potencialment pot produir al voltant de 172 llavors a Cala Bóquer i al voltant de 154 llavors a Cala Figuera. No obstant, la mitjana de nombre de llavors produïdes per fruit del tractament control és al voltant de 70 llavors a les dues localitats. Aquestes dades, podrien indicar que existeix una limitació de pol·len, la qual no afecta al quallat del fruit però sí a la producció de llavors per fruit en condicions naturals.

Si ens fixem amb les característiques morfològiques de la flor quan està oberta és difícil pensar que l'autogàmia passiva sigui possible, ja que quan la flor està oberta les anteres i els estigmes no es troben en contacte. Segons les observacions de la morfologia de la planta en el camp, en estat de poncella els estams immadurs estan espiralats al voltant del gineceu també immadur. Una de les hipòtesis que podrien explicar l'autogàmia passiva és que abans d'obrir-se la flor, les anteres de dins es comencin a obrir i dipositin el pol·len sobre els estigmes encara immadurs. Finalment, una vegada els estigmes són madurs ja tindria depositat el seu propi pol·len i el reconeixeria. Aquesta hipòtesi contradiu l'afirmació de Tébar (1992) on diu que *H. balearicum* té unes flors homògames, és a dir, que l'aparell reproductiu masculí i femení maduren al mateix temps. Una altra hipòtesi que explicaria aquest tipus de pol·linització seria l'efecte del vent sobre la bossa que tapa la flor. La bossa de mussolina amb la qual es va realitzar l'experiment redueix pràcticament tot l'efecte del vent, però l'engronsament de la bossa amb la flor a dintre a

causa del vent podria permetre una autopol·linització accidental. Llavors, per conèixer el procés pel qual es produeix l'autogàmia passiva es necessiten fer més estudis, entre ells, un anàlisi detallat de la fenologia de la flor.

El tractament d'autogàmia induïda presenta els fruits més llargs amb diferències significatives respecte als tractaments d'autogàmia passiva i control. A més, també presenta els fruits més amples encara que no hi hagi diferències significatives entre els fruits del tractaments d'autogàmia passiva i amb tul. El tractament d'autogàmia induïda de Cala Bóquer resulta ser el que produeix fruits amb major nombre de llavors respecte a tots els altres tractaments. Els altres tractaments, encara que presentin diferències significatives amb la producció de llavors, probablement no presenten diferències significatives quant a l'amplària i la llargària del fruit perquè les llavors tenen una mida mol reduïda. Llavors, segons els resultats es pot esperar que els canvis en les dimensions del fruit no siguin gaire evidents a causa de la mida reduïda de les llavors.

Des d'un punt de vista genètic, una planta autògama tendirà a ser homozigòtica per la majoria dels seus gens. Aquest caràcter genètic, li confereix una desavantatge evolutiva, ja que les plantes constituïdes per un únic genotip presentaran una menor plasticitat adaptativa (Frankel, 2012). Per altra banda, la depressió per endogàmia s'entén com la falta d'adaptabilitat deguda a una pèrdua de variació genètica a causa de la homozigositat genètica. La depressió per endogàmia provoca una reducció de supervivència de l'espècie (Crow, 1970). Espècies amb mecanismes d'autopol·linització tendran valors més alts de depressió per endogàmia (Charlesworth *et al.* 1990). La depressió per endogàmia pot causar a una planta una menor producció de fruits, menor producció de llavors, i fins i tot, una menor supervivència de les plàntules (Rathcke & Real, 1993; Jaynes, 1968). Segons els nostres resultats, a nivell de formació de fruits no es veu una depressió per endogàmia, ja que el tractament d'autogàmia induïda i el de xenogàmia no presenten diferències significatives en el quallat del fruit. A nivell de producció de llavors la depressió per endogàmia no es pot avaluar ja que no tenim les dades de la producció de llavors del tractament de xenogàmia.

Segons els resultats de Tébar (1992) en una població de *H. balearicum* al Puig Major (Mallorca) amb la pol·linització natural s'aconseguí el major nombre de fruits, els tractaments d'autogàmia passiva no presentaven fructificació i els tractaments per pol·linització anemòfila presentaven al voltant d'un 15% de fructificació. Això indica que els individus de *H. balearicum* de la localitat del Puig Major són bàsicament entomòfils però amb absència d'insectes pot ser possible la pol·linització anemòfila. Els nostres resultats no coincideixen totalment amb l'estudi anterior. Per una banda, com s'ha explicat anteriorment la pol·linització natural (control) és el que presenta una major taxa de fructificació respecte als altres tractaments i a més aquesta és quasi d'un 100%. Però per altra banda, el tractament d'autogàmia passiva ha donat fructificació en les nostres dues localitats. A més, com s'ha esmentat anteriorment la pol·linització per vent ha

permès una fructificació del 25% a Cala Bóquer i del 40% a Cala Figuera. Per tant, hi ha una influència més gran del vent com a pol·linitzador en les nostres localitats que els resultats obtinguts per Tébar. *H. balearicum* és una planta ambòfila i combina l'autogàmia i la xenogàmia, el que podria explicar que l'espècie es comporti diferent en funció de la localitat i/o escala temporal. Això explicaria la diferència quant als sistemes de creuament i agents pol·linitzadors entre el nostre estudi actual a nivell de la mar i l'estudi a la muntanya mallorquina a la dècada dels 90. A més, aquesta plasticitat li confereix a l'espècie una major adaptació a possibles canvis ambientals.

El nombre de grans de pol·len per flor mitjà a la població del Puig Major de Tébar (1992) és de 619658. Comparant amb els nostres resultats, la població de Cala Bóquer té 2,7 vegades més grans de pol·len que la població del Puig Major i la població de Cala Figuera en té 3 vegades més. Conseqüentment, aquesta diferència quant al nombre de grans de pol·len permet explicar valors més alts de fructificació de la pol·linització per vent en les localitats de Cala Bóquer i de Cala Figuera respecte als del Puig Major.

Els censos de pol·linitzadors mostren que els insectes que visiten les flors d'*H. balearicum* són els coleòpters, himenòpters i dípters. En els estudis d'observacions d'insectes de pol·linitzadors de Tébar (1992) i Rodríguez-Pérez & Traveset (2016) a més de la presència dels tres grups d'insectes anteriors també es varen trobar lepidòpters. Els lepidòpters adults posseeixen una espiritrompa que els permet obtenir nèctar de les flors com a font d'aliments (Schowalter, 2006). Per altra banda, *H. balearicum* no posseeix nectaris en les seves flors, el que indica que no tenen nèctar com a aliment pels lepidòpters. Aquests fets demostren que és improbable que els lepidòpters siguin insectes pol·linitzadors d'aquesta espècie, per tant, la presència d'aquests insectes en les flors de *H. balearicum* podria ser un fenomen accidental. En els censos de Rodríguez-Pérez & Traveset (2016) de les poblacions d'*H. balearicum* de Randa i Lluc els insectes més freqüents foren els coleòpters (67,6% total de visites, agrupades les dues localitats), seguit dels himenòpters (33,7%), dípters (15,4%) i lepidòpters (0,6%). Similar als resultats anteriors, en el nostre estudi tant a Cala Bóquer com a Cala Figuera l'ordre més abundant d'insectes pol·linitzadors són els coleòpters (75% a Cala Bóquer i 77,27% a Cala Figuera). A més, segons uns censos de pol·linitzadors a *Cistus albidus*, *Cistus salvifolius* i *Cistus montpeliensis*, els coleòpters eren els insectes que tenien un percentatge major de visites en les tres espècies (Bosch, 1992). Les tres espècies pertanyen al gènere Cistaceae i tenen pol·len i nèctar com a recompensa pels pol·linitzadors. En el cas de *Cistus albidus* els coleòpters representaven un 68% de les visites, en *Cistus salvifolius* un 40,12% i en *Cistus montpeliensis* un 83,09%. Els altres ordres d'insectes que s'observaren en aquestes espècies foren himenòpters, dípters, lepidòpters, entre d'altres. Entre els gèneres trobats en aquestes tres espècies n'hi ha que es varen trobar als censos de pol·linitzadors d'*H. balearicum* com els gèneres *Lassioglossum*, *Formicidae*, *Dasytidae*, *Oedemeridae*, *Syrphidae*. L'abundància dels coleòpters als censos de pol·linitzadors de les dues

localitats es deu a què *H. balearicum* ofereix pol·len com a recompensa als pol·linitzadors.

Les espècies de plantes i els seus pol·linitzadors cada vegada estan més exposats al risc d'extinció local i també global degut a les activitats humanes, com són la pèrdua d'hàbitats, la modificació dels usos del sòl, la introducció d'espècies exòtiques i el canvi climàtic (Kearns *et al.* 1998; Biesmeijer *et al.* 2006). L'efecte climàtic és un dels efectes més grans degut a l'impacte antropogènic. Entre d'altres factors, pot interrompre la superposició de la fenologia de la producció de flors per part de la planta i l'activitat de vol dels pol·linitzadors, alterant així la interacció entre les plantes i els seus pol·linitzadors (Memmott *et al.* 2007). En un cas hipotètic en què la interacció entre la planta i els seus pol·linitzadors es vés interrompuda per l'efecte del canvi climàtic, la planta no tindria problemes reproductius greus en les etapes de fructificació i producció de llavors. Això es deu a què com han demostrat els resultats de l'estudi, el vent juga un paper important com a pol·linitzador en aquesta espècie. A més, segons els resultats dels mecanismes de pol·linització l'espècie és autocompatible, i el tractament d'autogàmia induïda produeix el mateix o més nombre de llavors que la pol·linització natural. Per la qual cosa, la permanència de l'espècie en quant a fructificació i producció de llavors està assegurada.

CONCLUSIONS

L'espècie *H. balearicum* combina l'autogàmia i la xenogàmia. A més, presenta dos tipus d'agents pol·linitzadors: l'anemofília i l'entomofília. A nivell de producció de fruits l'espècie no sofreix una depressió per endogàmia ja que la pol·linització natural permet una fructificació de quasi el 100%. Amb aquest resultat es pot concloure que aquesta planta actualment no té cap limitació en la seva reproducció. A més, com que té una varietat quant als mecanismes de pol·linització seria relativament estable en futurs canvis ambientals.

AGRAÏMENTS

Primer de tot vull donar les gràcies a la Dra. Joana Cursach Seguí perquè ha estat una tutora excel·lent. Vull agrair la seva gran ajuda tant a les sortides de camp com en la redacció de la memòria i per la seva paciència i dedicació en resoldre tots els dubtes que m'han sorgit al llarg del treball. També vull agrair als companys del laboratori de botànica Joshua Iulen Borràs Riera, Marcello Cerrato, Miquel Capó Servera i Antoni Josep Far Morenilla per la seva ajuda amb diversos aspectes del treball com l'estadística, a més de fer més amens i divertits els dies de feina de laboratori. Vull agrair enormement a totes les persones que m'han ajudat en la recol·lecció de dades i en el treball de camp: Bàrbara

Font Bosch, Elisabeth Llompart Colom, Francesc Serra Perelló i Marina Seguí Fortin. A ma mare per donar-me una mà en cosir les malles d'exclusió de pol·linitzadors, i a mon pare, moltes gràcies per la teva preocupació i per la teva gran ajuda en les sortides de camp, sense tu aquest treball no hagués estat possible.

BIBLIOGRAFIA

- Almeida, A. L. S., Albuquerque, U. P., & Castro, C. C. (2011). Reproductive biology of *Spondias tuberosa* Arruda (Anacardiaceae), an endemic fructiferous species of the caatinga (dry forest), under different management conditions in northeastern Brazil. *Journal of Arid Environments*, 75(4), 330–337.
- Alomar, G., Mus, M., & Rosselló, J. A. (1997). *Flora endèmica de les Balears* (pp.1-294). Consell Insular de Mallorca, Palma de Mallorca.
- Bacchetta, G., Fenu, G., Mattana, E., Bueno Sanchez, A., Jiménez-Alfaro, B., Piotto, B., & Virevaire, M. (2008). *Conservación ex situ de plantas silvestres* (pp.1-378). Jardín Botánico Atlántico. Oviedo.
- Biesmeijer, J. C., Roberts, S. P., Reemer, M., Ohlemüller, R., Edwards, M., Peeters, T., ... & Settele, J. (2006). Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. *Science*, 313(5785), 351-354.
- Bioatles 2.0. Disponible en: <http://bioatles.caib.es/serproesfront/VisorServlet>. Accés:17/06/19.
- Bosch, J. (1992). Floral biology and pollinators of three co-occurring *Cistus* species (Cistaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 109(1), 39–55.
- Charlesworth, D., Morgan, M. T., & Charlesworth, B. (1990). Inbreeding depression, genetic load, and the evolution of outcrossing rates in a multilocus system with no linkage. *Evolution*, 44(6), 1469-1489.
- Chinery, M. (2006). Guía de los Insectos de Europa. 4º Edición. Ed. Omega. Barcelona.
- Crompton, C. W., Hall, I. V., Jensen, K. I. N., & Hildebrand, P. D. (1988). The biology of Canadian weeds. 83. *Hypericum perforatum* L. *Canadian Journal of Plant Science*, 68(1), 149-162.
- Crow, J. F., & Kimura, M. (1970). An introduction to population genetics theory. *An introduction to population genetics theory*. Harper and Row, New York.
- Cruden, R. W. (1977). Pollen-ovule ratios: a conservative indicator of breeding systems in flowering plants. *Evolution*, 31(1), 32-46.
- Culley, T. M., Weller, S. G., Sakai, A. K., Culley, T. M., Weller, S. G., & Sakai, A. K. (2002). The evolution of wind pollination in angiosperms. *Trends in Ecology and Evolution*, 17(8), 361–369.
- Cursach, J., & Rita, J. (2012). Reproductive biology of *Ranunculus weyleri* (Ranunculaceae), a narrowly endemic plant from the Balearic Islands with disjunct populations. *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 207(10), 726–735.

- Cursach, J., & Rita, J. (2012a). Implications of the reproductive biology of the narrow endemic *Naufraga balearica* (Apiaceae) for its conservation status. *Plant Systematics and Evolution*, 298(3), 581–596.
- Dafni, A. (1992). *Pollination ecology: a practical approach*. Oxford University Press.
- Dafni, A., Kevan, P. G., & Husband, B. C. (2005). *Practical pollination biology*. Practical pollination biology. Enviroquest Ltd., Cambridge, Ontario.
- De La Bandera, M. C., & Traveset, A. (2006). Breeding system and spatial variation in the pollination biology of the heterocarpic *Thymelaea velutina* (Thymelaeaceae). *Plant Systematics and Evolution*, 257(1–2), 9–23.
- Fenster, C. B., Armbruster, W. S., Wilson, P., Dudash, M. R., & Thomson, J. D. (2004). Pollination syndromes and floral specialization. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 35, 375–403.
- Frankel, R., & Galun, E. (2012). *Pollination mechanisms, reproduction and plant breeding* (Vol. 2). Springer Science & Business Media.
- Groom, M. J. 1998. Allee effects limit population viability of an annual plant. *American Naturalist* 151: 487–496.
- Heywood, V.H. (1995). The Mediterranean flora in the context of world biodiversity. *Ecologia Mediterranea*, 21(1-2), 11-18.
- Jaynes, R. A. (1968). Self incompatibility and inbreeding depression in 3 laurel (*Kalmia*) species. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 93, 618.
- Kearns, C. A., Inouye, D. W., & Waser, N. M. (1998). Endangered mutualisms: the conservation of plant-pollinator interactions. *Annual review of ecology and systematics*, 29(1), 83-112.
- Larrucea, J. R., & Coll, T. P. (2006). Biodiversidad de las plantas vasculares de las Islas Baleares. *Orsis: organismos i sistemes*, 21, 41-58.
- Llorens, L., & Gil, L. (2017). The Balearic Islands. In *The vegetation of the Iberian Peninsula*: J. Loidi (ed.) (pp. 3-33). Springer, Cham.
- Llorens, L., Vives, L. G., & Tébar, F. J. (2007). *La vegetació de l'illa de Mallorca: bases per a la interpretació i gestió d'hàbitats*. Associació Jardí Botànic de Palma.
- Martín, L. Ó. A., Castiel, A. F., & Sandoval, E. V. (2015). *Guía de campo de los polinizadores de España*. Ediciones Paraninfo, SA.
- Memmott, J., Craze, P. G., Waser, N. M., & Price, M. V. (2007). Global warming and the disruption of plant–pollinator interactions. *Ecology letters*, 10(8), 710-717.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853.
- Nicotra, A. B., Atkin, O. K., Bonser, S. P., Davidson, A. M., Finnegan, E. J., Mathesius, U., ... & van Kleunen, M. (2010). Plant phenotypic plasticity in a changing climate. *Trends in Plant Science*, 15(12), 684–692.
- Primack, R. B. (1985). Longevity of individual flowers. *Annual review of ecology and systematics*, 16(1), 15-37.
- Ramírez, N., & Nassar, J. M. (2017). Breeding systems in angiosperms: novel inferences from a new analytical approach. *Plant systematics and evolution*, 303(2), 119-137.

- Ramos, AF (1993). *Hypericum* L. En: Flora Iberica, Castroviejo et al., (eds). Volum III: 157-155. Real Jardín botánico de Madrid, CSIC.
- Ramsey, M., & Vaughton, G. (2000). Pollen quality limits seed set in *Burchardia umbellata* (Colchicaceae). *American Journal of Botany*, 87(6), 845-852.
- Rathcke, B., & Lacey, E. P. (1985). Phenological Patterns of Terrestrial Plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 16(1), 179–214.
- Rathcke, B., & Real, L. (1993). Autogamy and inbreeding depression in mountain laurel, *Kalmia latifolia* (Ericaceae). *American Journal of Botany*, 80(2), 143-146.
- Reynaud, C. (1986). Cytotaxonomic study of *Hypericum* from the western Mediterranean and the canary-islands. *De la societe botanique de France-Lettres botaniques*, 133(2), 167-177.
- Rodríguez-Pérez, J., & Traveset, A. (2016). Effects of flowering phenology and synchrony on the reproductive success of a long-flowering shrub. *AoB PLANTS*, 8.
- Sáez, L., Fraga, P., & López-Alvarado, J. (2013). The flora of the Balearic Islands. *Islands and plants: preservation and understanding of flora on Mediterranean Islands*. Consell Insular de Menorca, Maó, 91-103.
- Schowalter, T. D. (2006). *Insect Ecology: An Ecosystem Approach* (pp. 1-576). Academic, San Diego.
- Shivanna, K. R., & Tandon, R. (2014). *Reproductive ecology of flowering plants: a manual*. New Delhi. Springer India: 107-123.
- Tébar, F. J. (1992). *Biología reproductiva del matorral de la montaña mallorquina* (Tesis Doctoral. Universitat de les Illes Balears).
- Tébar, F. J., Gil, L., & Llorens, L. (2004). Flowering and fruiting phenology of a xerochamaephytic shrub community from the mountain of Mallorca (Balearic islands, Spain). *Plant Ecology Formerly 'Vegetatio'*, 174(2), 295–305.
- Totland, Ø., Andersen, H. L., Bjelland, T., Dahl, V., Eide, W., Houge, S., ... & Vie, E. U. (1998). Variation in pollen limitation among plants and phenotypic selection on floral traits in an early-spring flowering herb. *Oikos*, 491-501.
- Traveset, A., & Navarro, L. (2018). Plant reproductive ecology and evolution in the Mediterranean islands: state of the art. *Plant Biology*, 20, 63–77.
- Traveset, A. (Direcció) (2018). *Descobreix els pol·linitzadors de les Illes Balears*. Disponible: <http://polinib.info/>. Accés: 17/06/19.
- Zapata, T. R., & Arroyo, M. T. K. (1978). Plant reproductive ecology of a secondary deciduous tropical forest in Venezuela. *Biotropica*, 221-23.