



**Universitat**  
de les Illes Balears

**TREBALL FI DE GRAU**

**BIOLOGIA REPRODUCTIVA DE *SPARTIUM  
JUNCEUM* L. UNA LLEGUMINOSA NATURALITZADA  
A L'ILLA DE MALLORCA AMB POTENCIAL  
INVASOR**

**Gabriel Jaume Barceló Mascaró**

**Grau de Biologia**

**Facultat de Ciències**

**Any Acadèmic 2020-21**

# **BIOLOGIA REPRODUCTIVA DE *SPARTIUM JUNCEUM* L. UNA LLEGUMINOSA NATURALITZADA A L'ILLA DE MALLORCA AMB POTENCIAL INVASOR**

**Gabriel Jaume Barceló Mascaró**

**Treball de Fi de Grau**

**Facultat de Ciències**

**Universitat de les Illes Balears**

**Any Acadèmic 2020-21**

Paraules clau del treball:

*Spartium junceum* L., pol·linització, biologia reproductiva, mecanismes de pol·linització, xenogàmia, autogàmia, potencial invasor.

*Nom de la tutora del treball: Joana Cursach Seguí*

Autoritz la Universitat a incloure aquest treball en el repositori institucional per consultar-lo en accés obert i difondre'l en línia, amb finalitats exclusivament acadèmiques i d'investigació

Autor		Tutor	
Sí	No	Sí	No
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## Resum

*Spartium junceum* (L.) és un arbust llenyós de la família *Leguminosae* que la seva distribució natural s'estén a diverses regions de la Conca del Mediterrani. Aquesta espècie s'ha introduït en altres indrets amb finalitats ornamentals o de rehabilitació d'infraestructures. Amb motiu de la capacitat invasora manifestada en altres llocs, s'ha estudiat la biologia reproductiva d'una població ja naturalitzada a l'illa de Mallorca. En aquest treball es documenten alguns aspectes de la fenologia floral (dehiscència de les anteres, receptivitat de l'estigma i temps d'obertura dels distints pètals), es determinen els seus mecanismes de pol·linització mitjançant mètodes d'exclusió de pol·linitzadors i pol·linització manual i es determinen i relacionen alguns trets fenotípics (alçada, volum i la producció de llavors i fruits per individu) que estan relacionats amb el potencial invasor i la seva eficàcia reproductiva. Els resultats indiquen que aquesta espècie presenta un sistema reproductiu basat en la xenogàmia. Mostra signes d'autoincomptabilitat i l'avaluació dels mecanismes pol·linitzadors ens indiquen que l'anemofília, l'autogàmia passiva o l'agamospèrmia no es donen en aquesta espècie. De tal manera com es veu reflectit en aquest treball i el descrit en altres estudis, la visita d'insectes és indispensable perquè es pugui tenir una pol·linització exitosa. Amb els models realitzats no es pot indicar cap relació entre la mida dels individus i la producció de llavors. La població estudiada al torrent Comellar de na Morta a Mallorca de mida mitjana de 2,08 m posseeix una producció de llavors per individu d'entre 877 a 1578. Per tant, encara que aquesta espècie necessiti pol·linitzadors per produir llavors i tenguí un baix quallat del fruit, produeix una gran quantitat de flors i llavors per individu.

## Abstract

*Spartium junceum* (L.) is a woody shrub of the *Leguminosae* family with a natural distribution in several regions of the Mediterranean Basin. This species has been introduced elsewhere for ornamental or infrastructure rehabilitation purposes. Due to the invasive capacity shown elsewhere, the reproductive biology of an already naturalized population on the island of Mallorca has been studied. In this work we document some aspects of floral phenology (anther dehiscence, stigma receptivity and opening time of the different petals), determine its pollination mechanisms by means of pollinator exclusion and hand pollination methods and determine and relate some phenotypic traits (height, volume and seed and fruit production per individual) that are related to invasive potential and reproductive efficiency. The results indicate that this species has a reproductive system based on xenogamy. It shows signs of self-incompatibility and the evaluation of the pollinating mechanisms indicates that anemophily, passive autogamy or agamospermy do not occur in this species. As this work and other studies have shown, insect visits are indispensable for successful pollination. No relationship between the size of the individuals and seed production can be indicated with the models carried out. The population studied in the Comellar de na Morta stream in Mallorca, with an average size of 2.08 m, produced between 877 and 1578 seeds per individual. Therefore, although this species needs pollinators to produce seeds and has a low fruit set, it produces a large number of flowers and seeds per individual.

# Índex

<b>Introducció</b> .....	7
La biologia reproductiva.....	7
Problemàtica de les plantes invasores.....	7
Els arbustos de la família <i>Leguminosae</i> .....	8
Descripció de <i>Spartium junceum</i> L.....	8
Hàbitat i distribució .....	9
Característiques que predisposen <i>Spartium junceum</i> a tenir caràcter d'invasor.....	10
Estat de l'art.....	11
Objectius.....	11
<b>Material i mètodes</b> .....	12
Zona d'estudi.....	12
Disseny experimental.....	13
Seguiment fenològic.....	13
Avaluació dels mecanismes de pol·linització .....	13
Indicador del sistema de reproducció .....	15
Anàlisi de les característiques biomètriques .....	16
<b>Resultats</b> .....	17
Seguiment fenològic .....	17
Avaluació dels mecanismes de pol·linització .....	18
Indicador del sistema de reproducció.....	19
Anàlisi de les característiques biomètriques.....	19
<b>Discussió</b> .....	20
<b>Conclusions</b> .....	22
<b>Agraïments</b> .....	22
<b>Referències</b> .....	23



# Introducció

## La biologia reproductiva

Les estratègies reproductives de les espècies vegetals estan determinades principalment per la seva estructura biològica (Galloni & Cristofolini, 2003). El coneixement de biologia reproductiva de les plantes amb flors és de gran importància per conèixer quin és el creixement de les poblacions naturals (determinat per l'èxit reproductiu o altres característiques del cicle vital com la freqüència de reproducció i longevitat, o també la dependència dels agents pol·linitzadors per la producció de llavors) i també en l'enteniment de la distribució de la diversitat genètica (determinat pels sistemes d'encreuament). Per tant, té implicacions directes en el disseny d'estratègies de gestió adequades per a la conservació d'espècies amenaçades, així com per a l'estudi del potencial invasor de les espècies exòtiques que es troben fora de la seva àrea natural de distribució (Cursach & Rita, 2012b). Per a plantes amb reproducció sexual, la pol·linització, com a força de la recombinació genètica en plantes amb flors, i la capacitat de producció de llavors depenen de diversos factors: des de la capacitat de producció sense pol·linitzadors (a través de l'autopol·linització o per transferències abiòtiques) a la capacitat d'atracció de pol·linitzadors (Redmond & Stout, 2018). A més, cal tenir en compte que l'èxit reproductiu de les plantes normalment està directament limitat per la disponibilitat del pol·len (Gong et al., 2015).

## Problemàtica de les plantes invasores

Les espècies exòtiques invasores poden modificar i homogeneïtzar profundament els ecosistemes on s'estableixen, i posen en perill, i fins i tot causen, l'acceleració de l'extinció de plantes natives (Urrutia et al., 2017) a través de mecanismes de competència, depredació o canvis en les condicions ecològiques que depenen, augmentant la mortalitat i produint la selecció de la flora natural a causa de fenòmens forts de competició. Les interaccions entre espècies foranies i autòctones és una de les principals causes que fan perillar les plantes autòctones (Gavilán et al., 2016), tot i això, algunes donen serveis a l'ecosistema com l'estabilització del sol (Clarke et al., 2021). Aquestes espècies que actualment estan afavorides per la globalització i els canvis ambientals, com el canvi climàtic, són considerades com una de les principals amenaces a la biodiversitat mundial, així com la salut humana i a l'economia (Early et al., 2016). És així que una sisena part de la superfície terrestre és molt vulnerable a la invasió (Early et al., 2016). Les plantes invasores principalment són introduïdes per a l'agricultura, el paisatgisme, el control de l'erosió o la millora d'hàbitats silvestres (Clarke et al., 2021). Així mateix també es poden introduir de forma involuntària, ja que el comerç

internacional és una ruta important d'introducció: algunes de les formes d'entrada poden ser com a contaminants (mesclades amb llavors de cultiu) o enganxades a la roba o als animals (Gervilla et al., 2019).

### **Els arbustos de la família *Leguminosae***

Les comunitats d'arbustos de la família *Leguminosae* són comuns en els ecosistemes mediterranis gràcies a la seva capacitat d'adaptació, sovint s'inclouen en importants processos de revegetació o restauració. A la conca del Mediterrani, tot i ser una regió de gran biodiversitat, la pressió antropogènica sobre el sòl ha suposat una pèrdua per a la vegetació original, suposant un major risc a l'erosió i desertificació (Busquets et al., 2010).

En el mediterrani els arbustos de la família *Leguminosae* llenyosos silvestres que comprenen els gèneres *Spartium*, *Genista*, *Cytisus*, *Anthyllis*, entre d'altres, són capaços de colonitzar zones pobres i seques (Busquets et al., 2010). Aquests tàxons es consideren de les pioneres més exitoses, atès que poden colonitzar i adaptar-se ràpidament en entorns secs i degradats, raó per la qual s'utilitzen per regenerar eficaçment aquest tipus d'ecosistemes més pertorbats (Ramdani et al., 2020).

Característiques com la simbiosi amb rizobis i fongs micorrízics també afavoreixen la nutrició d'aquests tipus de plantes i representen uns fluxos nets de nitrogen a l'ecosistema. A més, aquests arbustos solen estar lligats a estadis inicials de la successió ecològica, principalment en terres afectades per la degradació antropogènica (Busquets et al., 2010).

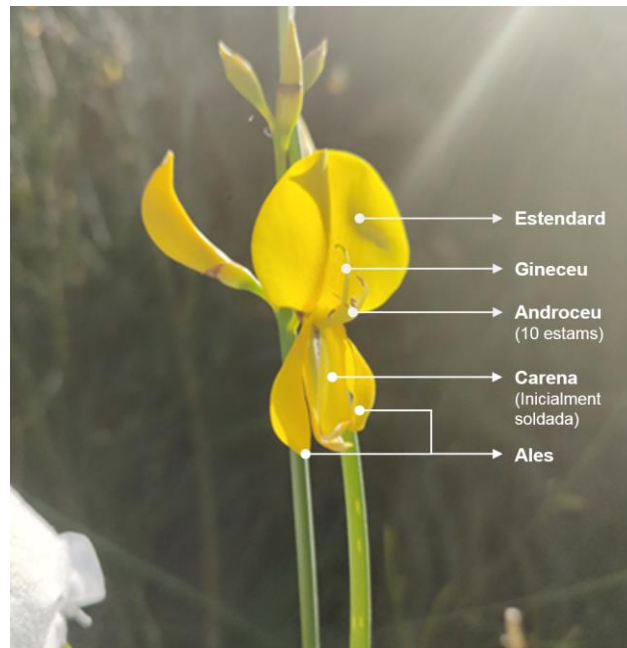
### **Descripció de *Spartium junceum* L.**

L'espècie en què es centra aquest treball és *Spartium junceum* (L.), uns d'aquests arbustos perennes nadius del mediterrani, comunament conegut com a ginesta o herba de ballester, (Spanish broom en la llengua anglesa). Posseeix característiques xerofítiques que li proporcionen una adaptabilitat i resistència especialment gran a la sequedat i ambients adversos (Ramdani et al., 2020).

Aquesta espècie única en el gènere (monotípic) de la família *Leguminosae*, es tracta d'un arbust perenne caducifoli que pot arribar a una mida d'un petit arbre de fins a 4-5 m. El dossier de l'arbust jove es compon per llargues i escasses tiges erectes verdes d'aspecte junciforme, amb fulles petites i efímeres, lanceolades o lineals. L'abscisió de les fulles té lloc al juny i tornen a aparèixer a les noves tiges al març. La floració principal es dona en el maig, tot i que també pot florir en altres moments, i culmina amb la maduració de les beines a finals de juny o principis de juliol, desembocant en una coloració negra dels llegums (Nilsen et al., 1993).



Altres caràcters morfològics importants són la possessió d'inflorescències en raïm contenint de 5 a 28 flors molt oloroses, ubicades a la part final de la branca. Les seves flors són grans, de més de 2 cm, i estan formades per una corol·la papilionàcia groga (Figura 1), amb calze persistent en la fructificació, unilabiat i glabrescent. L'androceu està format per 10 estams, 4 d'ells curts, 3 mitjans i 3 llargs, amb anteres piloses a la base. L'estigma és linear el·líptic, lateral, amb l'obertura cap a l'interior. Els fruits són pelosos a la joventut i glabrescents a la dehiscència (Talavera & Castroviejo, 1999).



**Figura 1.** Fotografia de la flor amb corol·la papilionàcia de *Spartium junceum*, ja oberta, amb els òrgans reproductors exposats.

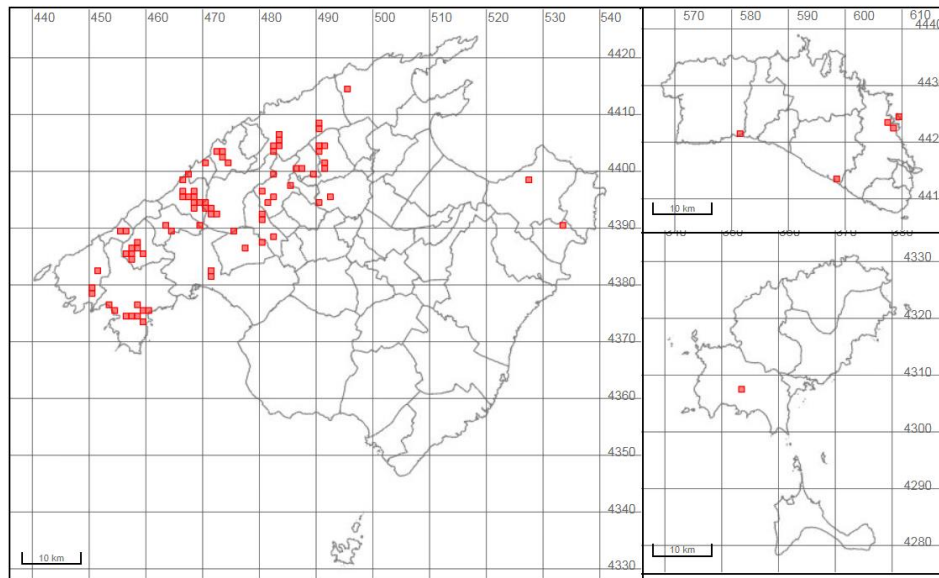
### Hàbitat i distribució

Pel que fa a l'hàbitat es troba en barrancs humits, marges de rius, sols bàsics o marginals, i present en marges de carreteres i àrees alterades com vores de camins i vessants rocosos. Sol créixer en àrees solejades i amb poca aigua de 0 fins a uns 1400 m d'altitud (Ramdani et al., 2020).

La seva distribució nativa s'estén a gran part de la Conca del Mediterrani: el sud d'Europa, nord d'Àfrica, Turquia, Orient pròxim i Macaronèsia. Ha sigut introduïda a Sud Àfrica, Nord i Sud Amèrica, i algunes zones d'Austràlia (Talavera & Castroviejo, 1999).

Present en abundància a la península Ibèrica i també a les Illes Balears (Figura 2), i probablement nativa a algunes zones del sud i sud-est de la península (Talavera & Castroviejo, 1999). És considerada invasora a diverses zones i països arreu del món, per primer cop a Oregon dels Estats Units i classificada com a herba nociva i prohibida com a

ornamental en diversos estats (Gavilán et al., 2016) És prohibida com a plaga a Austràlia i també invasiva a Xile o el Perú (Geerts et al., 2013). També l'espècie s'inclou al Catàleg espanyol d'espècies exòtiques invasores (RD 630/2013, 2 d'agost) sent les Illes Canàries com a àrea d'aplicació. En el cas de l'arxipèlag balear, la població naturalitzada de l'illa de Mallorca s'ha anat expandint i envaint comunitats naturals d'*Olea europaea* en els darrers anys (Rita, 2019).



**Figura 2.** Distribució de *Spartium junceum* a les Illes Balears, en quadrats de 1x1 km (Mallorca, Menorca i Pitiüses) (Bioatles.CAIB). Les poblacions no naturalitzades no hi són representades.

### **Característiques que predisposen *Spartium junceum* a tenir caràcter d'invasor**

Tot i que és més coneguda per ser una planta ornamental, medicinal, o útil per la confecció de fibres (Giménez et al., 2017) i avantatjosa en els possibles usos per a l'estabilització de sòl d'àrees vulnerables o també per al control de l'erosió i desertificació (Ramdani et al., 2020). *Spartium junceum* posseeix una sèrie de característiques que predisposen el caràcter invasor fora de la seva àrea de distribució natural a d'altres que posseeixen condicions climàtiques similars. Alguns dels caràcters més importants són l'elevada producció de llavors, la seva viabilitat i facilitat a rebrotar, a més de l'elevada longevitat i persistència en el sòl. Aquest tret provoca que sigui una espècie difícil i costosa a controlar (Geerts et al., 2013). Altres estudis també detallen la viabilitat de les llavors, superiors a set anys que dificulten el control de la planta. A més resulta d'interès que l'escarificació mecànica és un factor clau per a la germinació, ja que els actes que provoquen disturbis en el sòl podrien desencadenar massivament la seva germinació (Sanhueza & Zalba, 2014). Altres atributs importants que

aporten pes al caràcter invasor són la possessió de característiques com la seva ràpida taxa de creixement, arribada veloç a la seva edat de reproducció i l'habilitat de fixació de nitrogen (Geerts et al., 2013). L'espècie també és potencialment verinosa, tota la planta es considera nociva a causa de la presència d'alcaloides de quinolizidina principalment la citisina, l'esparteïna i la isosparteïna, i altres tòxics en menors quantitats (Giménez et al., 2017). A més, es troben valors d'alcaloides majors a les plàntules noves que a les més desenvolupades, es pot interpretar com una estratègia defensiva enfront dels predadors, ja que les més joves són les més vulnerables (Barboni et al., 1994). Adicionalment poden formar densos bancs monoespecífics que augmenten la càrrega per incendis i desplaçar espècies autòctones (Geerts et al., 2013).

### **Estat de l'art**

Els estudis previs destacats d'aquesta espècie, relacionats amb les recompenses florals i la pol·linització, han demostrat que són necessàries les visites d'insectes com abelles i borinots, a més d'escarabats o mosques, entre d'altres, per a una pol·linització exitosa (Galloni & Cristofolini, 2003). La principal recompensa per aquests és la gran quantitat de pol·len, tot i que també s'han trobat traces de glucosa en els insectes, procedents dels nectaris que es troben a la base vexil·lar, tot i que l'autor indica que la producció de nèctar és esporàdica i irregular. Per al seu transport els grans de pol·len són adherits a la part ventral del cos de l'insecte (Galloni & Cristofolini, 2003).

En aquesta anàlisi també es va estudiar la biologia reproductiva, de manera similar al que presentarem en aquest treball, tot i que sols comparant flors d'individus de *Spartium junceum* sota condicions naturals i d'altres inflorescències embossades completament, analitzant només la pol·linització per al mateix individu, en aquest últim cas cap planta embossada va produir llavors, pel que fa al tractament en condicions normals la producció de llavors no fou homogènia en diferents anys, amb una producció mitjana de 72 llavors per cada 100 flors (Galloni & Cristofolini, 2003). Altres estudis indiquen una elevada producció de llavors d'entre 7000 i 10000 llavors per individu (Bossard et al., 2000).

### **Objectius**

En aquest treball es pretén aprofundir en l'estudi d'aspectes de la biologia reproductiva menys estudiats de *Spartium junceum* que estan relacionats amb el potencial invasor en una població naturalitzada a Mallorca. En concret, es pretén:

(i) Descriure el procés d'antesi, tot determinant els diferents estadis i la durada de cadascun.

(ii) Estudiar el sistema d'encreuament de *Spartium junceum* i els agents pol·linitzadors mitjançant mètodes d'exclusió de pol·linitzadors i pol·linitzacions manuals.

(iii) Obtenir la relació pol·len/òvul com a indicador conservat del sistema de reproducció.

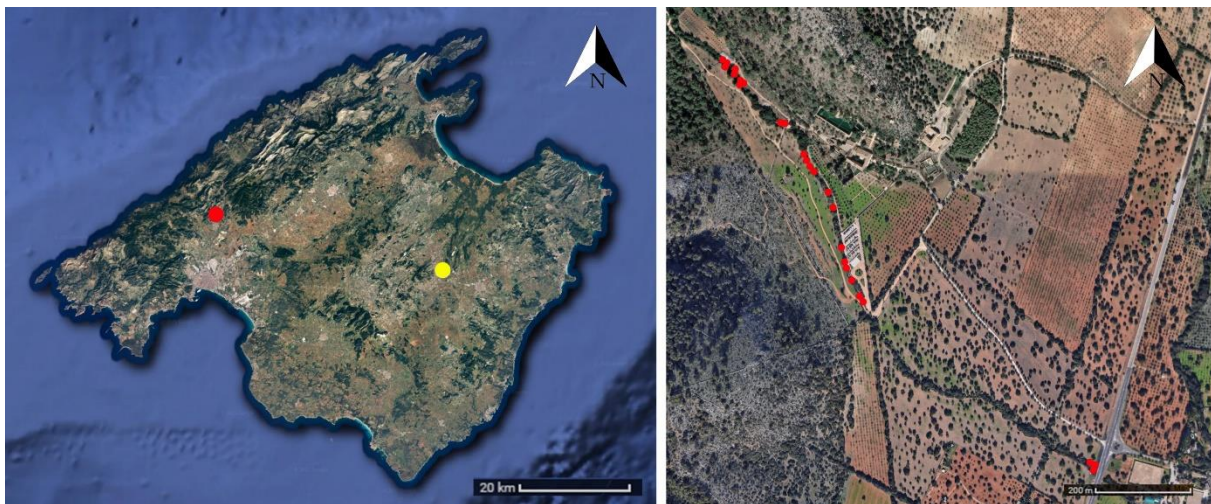
(iv) Avaluar el potencial de producció de llavors per individu com a paràmetre relacionat amb el potencial invasor.

## Material i mètodes

### Zona d'estudi

El treball de camp s'ha realitzat principalment en una població naturalitzada de *Spartium junceum* (L.) que es troba al torrent Comellar de na Morta (Figura 3), adjacent a la finca pública de Raixa, al municipi de Bunyola de l'illa de Mallorca (39°40'44.9"N, 2°40'20.8"E, 190 m.a.s.l.) localitzada a la falda de la Serra de Tramuntana.

En el cas del seguiment del procés d'antesi, el treball s'ha realitzat sobre individus plantats a prop de la localitat de Petra (Figura 3), a la carretera Ma-3320A (39°35'42.5"N, 3°07'55.3"E).



**Figura 3.** Esquerra: fotografia per satèl·lit de Mallorca, el punt vermell indica la zona d'estudi pròxima a la finca pública de Raixa, el punt groc indica la localitat d'estudi del seguiment fenològic a prop del municipi de Petra. Dreta: Localitat ampliada de la zona d'estudi en el torrent de Comellar de na Morta. Els punts vermells indiquen les 25 plantes estudiades. Imatge obtinguda per *Google Earth*.

## Disseny experimental

### Seguiment fenològic

Estudi previ per tal d'analitzar el temps d'obertura de la flor de *Spartium junceum* i el procés de maduració dels òrgans sexuals. Es portà a terme la retolació de 25 flors de 3 individus diferents la població de Petra i es feren observacions diàries, del 8 d'abril al 6 de maig de l'any 2021.

### Avaluació dels mecanismes de pol·linització

La valoració del sistema reproductiu i les formes d'encreuament de *Spartium junceum* es dugueren a terme mitjançant la metodologia utilitzada per Capó et al. (2020) i altres treballs acadèmics (Seguí, 2019). S'utilitzaren bosses d'exclusió de pol·linitzadors, escollides per la seva adequada mida de forat, confeccionades manualment a partir de l'entretela no termo-adherent (Vlieseline L 11) i tul (amb forat aproximadament d'1,2 mm de diàmetre). L'experiment es va dur a terme entre els mesos maig i juliol de l'any 2021. S'elegiren un total de 25 exemplars de *Spartium junceum*, que ja presentaven flors, dispersos a través del torrent pròxim de la finca de Raixa. A cada exemplar se'ls realitzà, a flors diferents i elegides de manera aleatòria (150 flors totals), els sis tractaments següents:

**Agamospèrmia:** avaluació de la producció de llavors sense la intervenció de gàmetes, és a dir, de manera asexual. Consistent amb l'eliminació de l'androceu (emasculació) i l'embossament d'una flor de cada un dels individus amb malla d'exclusió a partir del teixit d'entretela. D'aquesta manera s'evitarà l'acció de qualsevol agent pol·linitzador, des de possibles insectes a pol·len transportat pel vent.

**Autogàmia passiva:** determinació de la seva capacitat d'autoreproduir-se sexualment i la seva autocompatibilitat amb el seu pol·len (autopol·linització), sense l'acció de pol·linitzadors externs. En aquest grup les poncelles s'embossaren abans de l'obertura, amb saquets d'exclusió fabricats amb entretela.

**Autogàmia induïda:** de manera similar a l'anterior, es determina la capacitat d'autoreproducció i la seva autocompatibilitat, tot i que la pol·linització es realitza de manera manual. Seguint un procés similar a la passiva, les poncelles s'embossaren amb les esmentades malles d'entretela, i als 1-2 dies següents, assegurant la maduresa dels òrgans sexuals (s'ha pogut observar com aquests ja ho són abans de l'obertura), i per tant que l'estigma sigui receptiu, es procedeix a la pol·linització amb el seu propi pol·len de manera manual, i es torna a embossar.

**Xenogàmia induïda o pol·linització creuada:** es determina la capacitat de produir llavors amb pol·len provinent d'individus diferents. Abans de l'obertura s'emascularen les flors i s'embossaren les poncelles amb bosses d'exclusió d'entretela. L'endemà es retiraren les bosses i es pol·linitzaren els estigmes amb pol·len d'altres individus (cada flor tractada es pol·linitzà amb el pol·len provinent d'un sòl individu) i es torna a embossar. Es va escollir el pol·len dels individus més allunyats a l'hora de tractar cada flor.

**Anemofília:** per a l'avaluació de la pol·linització realitzada a través de l'acció del vent. Cal tenir en compte els processos d'agamospèrmia i autogàmia. L'embossament de les poncelles es dugué a terme mitjançant unes bosses d'exclusió fabricades amb tul que permeten el pas del pol·len transportat per l'acció del vent i prevenen l'entrada d'insectes.

**Control:** Per tal d'avaluar la capacitat de pol·linització en condicions naturals, se seleccionà 1 flor a cada un dels 25 individus en la que no es va realitzar cap mena de tractament.

Per a la diferenciació d'individus i els distints tractaments, es va utilitzar cinta de colors, col·locant-la a manera d'etiqueta al voltant de la tija i sempre sota de la flor tractada. A més cada individu es va retolar amb un nombre (1-25), i cada flor tractada es va marcar amb una etiqueta de diferent color (per tant a cada individu es tindran 6 flors marcades i en tractament) (Figura 4).

En haver fructificat, per determinar l'èxit reproductiu es du a terme el recompte dels fruits presents a cada un dels tractaments i així poder calcular la taxa de fructificació o quallat del fruit, és a dir, el nombre total de beines produïdes respecte al total de flors analitzades a cada tractament, posteriorment es fa un recompte de la quantitat de llavors viables que té cada fruit. (Figura 5).



**Figura 4.** Mosaic fotogràfic de diferents tractaments en *Spartium junceum* en plantes ubicades al torrent de Comellar de na Morta: tractament control sense bossa amb la respectiva etiqueta identificadora blanca (a), tractament per anemofília amb la utilització de bosses de teixit de tul i la seva etiqueta negra (b), i tractament d'autogàmia induïda que presenta bossa d'exclusió feta amb entretela i etiqueta groga (c).



**Figura 5.** Arbust de *Spartium junceum* en tractament amb fructificació exitosa per xenogàmia induïda amb vista ampliada del fruit pelós i el recompte posterior de les llavors produïdes del fruit ja glabrescent.

Per a una descripció més precisa del sistema reproductiu es va calcular l'índex d'autocomptabilitat o ISI (calculada a partir de la divisió del nombre mitjà de llavors per flor del tractament d'autogàmia induïda amb els valors mitjans del tractament per xenogàmia induïda), i l'índex d'autopol·linització passiva o IAS (calculada a partir de la divisió del percentatge de flors que formen fruits del tractament d'autogàmia passiva amb el percentatge de flors que formen fruits del tractament d'autogàmia induïda). Per al valor de l'ISI les espècies autocompatibles presenten valors d'1, les que no són totalment compatibles entre 0-1 i els autoincompatibles puntuacions de 0. De la mateixa manera el valor de l'IAS presenta una puntuació similar, les plantes totalment autògames mostraran valors d'1, les que presenten autogàmia parcial entre 0-1 i les que no en tenen amb valors de 0 (Zapata & Arroyo, 1978).

### **Indicador del sistema de reproducció**

Per tal d'analitzar el sistema reproductiu, es realitza el càlcul de la ràtio pol·len/òvul (P/O), és a dir, la quantitat de pol·len que hi ha per òvul d'una flor.

Com esmenta Cruden (1977) la disminució de la ràtio P/O és un indicatiu evolutiu del canvi de la xenogàmia a l'autogàmia, les investigacions han permès observar com les flors autoincompatibles o xenògames produeixen més grans de pol·len que les que són autocompatibles o autògames, a diferència de la quantitat d'òvuls que no disminueix, és així per tant que la ràtio P/O està correlacionat amb el sistema de reproducció. La relació P/O reflecteix la probabilitat que els suficients grans de pol·len arribin a cada estigma, com més eficient és la transferència de pol·len, menor és el valor de la ràtio.

Es va recollir 1 flor de cada un dels 25 exemplars, i de cada flor se separaren el pistil, i per altra banda les anteres tancades (un total de 10 a cada mostra), i es conservaren en tubs de microcentrífuga amb etanol al 70% per a la posterior anàlisi al laboratori.

Per estimar el nombre de grans de pol·len, es va seguir la metodologia utilitzada per Cursach i Rita (2012a) adaptat de Dafni et al. (2005). La totalitat de les anteres ( $n=10$ ) de cada flor es posaren en tubs de microcentrífuga amb 500  $\mu\text{L}$  d'etanol al 70%, i es trencaren amb la utilització d'una agulla emmanegada i s'homogeneïtzaren amb vòrtex. A continuació, mitjançant l'observació en el microscopi òptic en una graella de Fuchs-Rosenthal de  $4 \times 4 \times 0,200$  mm i 256 cel·les de  $0,0625$  mm<sup>2</sup>, a la que se li afegeix 75  $\mu\text{L}$  de la mostra homogeneïtzada. Es va realitzar el recompte en 3,2  $\mu\text{L}$  d'alíquota i després d'extrapolar el resultat pel volum total, es va obtenir el nombre total de pol·len per flor. Amb cada mostra es feren 5 comptatges diferents (pseudorèpliques). Simultàniament es va fer un recompte de la quantitat de primordis seminals (òvuls) presents al pistil de cada una de les 25 flors amb l'observació directa amb lupa binocular.

Es va calcular la ràtio pol·len/òvul definit per Cruden (1977) i els resultats varen ser comparats amb els rangs donats per aquest autor.

### **Anàlisis de les característiques biomètriques**

Per a la determinació de la capacitat de producció de fruits segons la mida es varen mesurar les següents característiques dels mateixos 25 exemplars utilitzats en l'avaluació dels mecanismes de pol·linització: l'altura de la tija més alta, l'amplària màxima i el càlcul del volum que ocupava la planta. Per altra banda es va fer un recompte de la quantitat total de fruits produïts a cada individu un cop totes les flors haguessin fructificat. Amb el valor anterior juntament amb la mitjana de llavors produïdes per fruit (10 a 18) indicades per Talavera i Castroviejo (1999) es va fer una estimació del nombre total de llavors per individu.



## **Anàlisis estadístiques**

Per a l'avaluació dels mecanismes reproductius es calcularen les mitjanes i errors estàndards del quallat de fruit (percentatge de flors que produïren fruits) i llavors produïdes per flor per a tots els tractaments. No es comparà el quallat del fruit amb tests estadístics per motius indicats al resultat.

Pel que fa als càlculs referents a la relació P/O es varen calcular totes les mitjanes i els errors estàndard de les variables estudiades (nombre de primordis seminals, nombre de pol·len per flor) i les de la ràtio P/O.

Quant a l'anàlisi de les característiques biomètriques per tal de generar informació del potencial invasor es varen calcular les mitjanes i errors estàndard dels paràmetres estudiats (fruits per individu, alçada, amplada màxima, volum i llavors per individu) també es va estudiar la força de la relació lineal de dues variables quantitatives contínues (volum (m<sup>3</sup>) i nombre de fruits, i per altra banda altura i nombre de fruits), es va contrastar si les variables seguien una distribució normal mitjançant la prova de Shapiro-Wilk, com que alguna variable no seguia la normalitat, es va aplicar la prova de correlació de Spearman basats en rangs (no paramètric). Per a la interpretació del coeficient de correlació  $\rho$  (rho) es va seguir el descrit per Schober i Schwarte (2018). Per tal de reforçar el resultat pel fet que no es pot assegurar que la relació de les dues variables sigui causal, també es va calcular el coeficient de determinació R<sup>2</sup>-ajustat realitzant el model de regressió lineal, d'aquesta manera trobar quina variància de les dades es pot explicar amb la corresponent recta de regressió.

Els valors varen ser analitzats o calculats mitjançant la utilització del software R, versió: R 4.1.1, amb el suport en càlculs i gràfics de Microsoft Excel.

## **Resultats**

### **Seguiment fenològic**

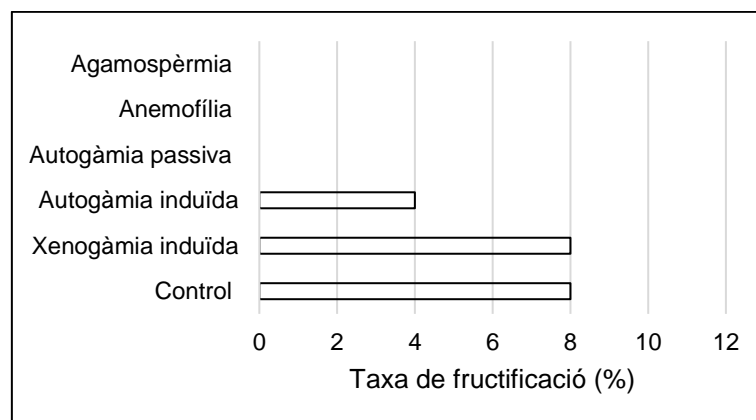
Les diverses observacions fetes en la població de *Spartium junceum* de la localitat de Petra, tractant-se de flors hermafrodites, ens han permès comprendre millor l'estructura de la flor i diferenciar diferents estats: es va observar com les antereres ja són dehiscentes i per tant, ja presentaven el pol·len exposat abans de l'obertura de la carena. De la mateixa manera, l'estigma també és receptiu abans d'aquesta obertura. De la corol·la papilionàcia en primer lloc s'obre l'estandard i gairebé seguidament les dues ales, aquesta obertura es fa en un període breu de temps, menor a un dia. La carena en canvi, que dintre es troben protegits els

estams i el gineceu, es va observar un temps d'obertura molt fluctuant i variable. Des que s'obren les ales i l'estendard, la carena es pot obrir al mateix dia fins a més de dues setmanes, atès a què necessiten l'acció d'un insecte. D'aquesta manera en obrir-se la carena, les anteres (ja dehiscent) amollen de manera explosiva el pol·len, i així fixant-se al cos de l'insecte. Sobre les flors majoritàriament s'observaren exemplars de coleòpters d'*Oxythyrea funesta* (Figura 4a), a més, tot i que en menor proporció la presència d'altres insectes no identificats. També es varen reportar molt de casos de depredació de parts de les flors per part dels insectes, principalment coleòpters.

### Avaluació dels mecanismes de pol·linització

Primerament es presenten els resultats de l'avaluació de les formes d'encreuament. És important remarcar que aquests resultats són anecdòtics, ja que, com es pot veure a la taula 1, el percentatge d'avortament obtingut en els controls (al voltant del 92%) implica que en els nostres tractaments amb 25 flors hi ha entorn d'un 60% de probabilitat que totes les flors caiguin independentment del tractament. Per tant en els tractaments on no hi ha hagut flor no podem determinar significativament que sigui a conseqüència del tractament i no simplement fruit de l'atzar.

Totes aquelles flors dels tractaments d'agamospèrmia, autogàmia passiva o anemofília, no varen produir fruits. Per contra, amb taxes de fructificació que, com hem dit, amb prou feines arribaren al 8% (Figura 6), les flors del tractament control i les manipulades activament (xenogàmia induïda i autogàmia induïda) sí que en produïren. La producció va ser de 92 i 72 llavors per cada 100 flors, per als tractaments control i xenogàmia induïda respectivament. Molt menor fou la producció en el tractament d'autogàmia induïda amb un valor de 20 llavors per cada 100 flors (Taula 1).



**Figura 6.** Efecte dels distints tractaments sobre la fructificació en %.

**Taula 1.** Producció de fruits i llavors en els diferents tractaments en *Spartium junceum*: ràtio llavors versus flors. \*Els errors estàndards són elevats a causa de la falta de flors que han fructificat.

Tipus de tractament (Plantes de <i>Spartium junceum</i> )	Nº Plantes	Nº Flors	Nº Fruits	Nº Llavors	Quallat del fruit (%)	Llavors/Flor (Mitjana ± e.e.)
Control	25	25	2	23	8	0,92 ± 0,64*
Xenogàmia induïda	25	25	2	18	8	0,72 ± 0,5*
Autogàmia induïda	25	25	1	5	4	0,2 ± 0,2*
Autogàmia passiva	25	25	0	0	0	0
Anemofília	25	25	0	0	0	0
Agamospèrmia	25	25	0	0	0	0

Els resultats en els càlculs de l'ISI i l'IAS corresponen a valors de 0,28 i 0, respectivament.

### Indicador del sistema de reproducció

Totes les flors de les plantes estudiades, recollides dels 25 exemplars, tenien el mateix nombre d'anteres 10. El nombre mitjà d'òvuls per flor era de 16 ( $15,75 \pm 0,32$ ). El nombre mitjà de grans de pol·len per flor fou de  $89297 \pm 4896$ . La mitjana de la relació P/O fou de  $5754,5 \pm 363$ .

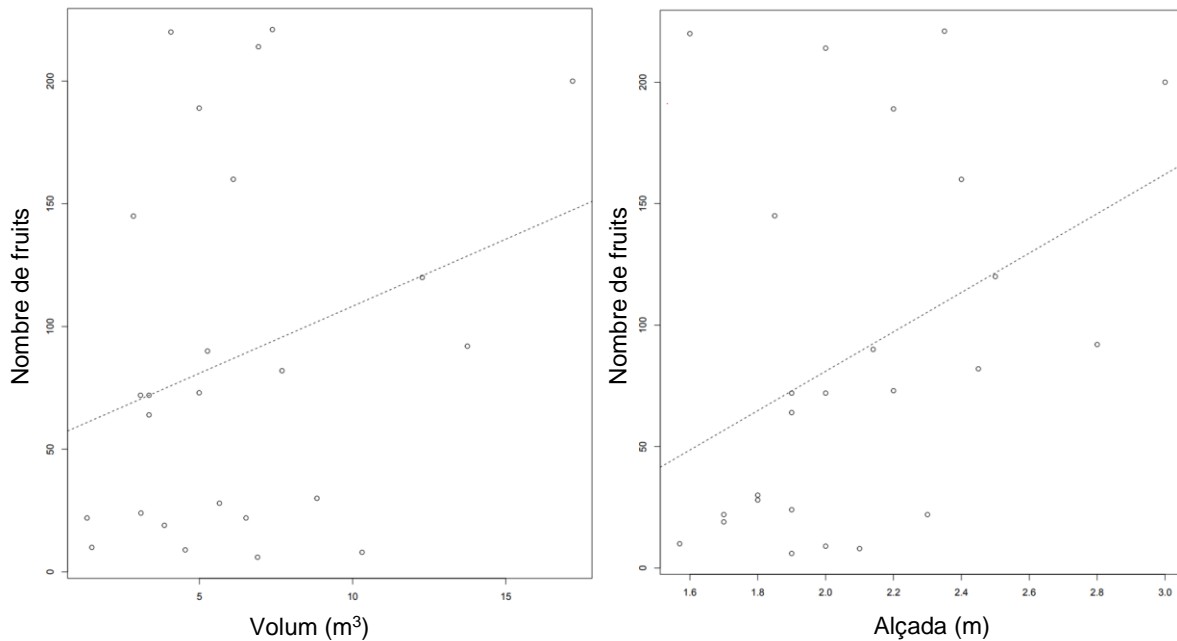
### Anàlisi de les característiques biomètriques

Els valors mitjans dels paràmetres biomètrics (mitjana ± e.e.) de la població estudiada foren de  $87,68 \pm 14,97$  fruits produïts per individu, alçada de  $2,08 \pm 0,07$  m, amplada màxima de  $1,85 \pm 0,09$  m i volum mitjà de  $6,23 \pm 0,77$  m<sup>3</sup>. La estimació mitjana (màxim ± e.e. – mínim ± e.e.) de llavors per individu de la població va ser de  $877 \pm 159$  a  $1578 \pm 270$ .

Es va analitzar la capacitat de producció de fruits segons algunes característiques biomètriques dels individus. No hi ha una correlació significativa entre la mida que ocupa la planta (volum) i nombre el de fruits produïts (p-valor = 0.196 i coeficient de correlació rho = 0,268). El coeficient de determinació de la regressió lineal també ens indica aquesta tendència (coeficient de determinació R<sup>2</sup>-ajustat = 0.038), per tant la variabilitat del volum de les plantes no pot ser explicada pel nombre de fruits produïts, o a la inversa (Figura 7).

Com que es va poder sobredimensionar el volum de la planta, ja que les dades dels diàmetres varen ser mesurats amb l'amplada màxima, es va realitzar una correlació entre les variables alçada i el nombre de fruits. El resultats estadístics indiquen una relació directa i una correlació mitjana o moderada, podem concloure que l'alçada i la quantitat de fruits estan significativament correlacionats (coeficient de correlació rho = 0.431 i p-valor=0,032). Tot i el resultat, les correlacions no necessàriament asseguren que l'associació entre dues variables

sigui ferma, de mode més informatiu es va aplicar el model de regressió lineal, el model lineal no s'ajusta correctament ( $R^2$ -ajustat de 0,113) (Figura 7).



**Figura 7.** Gràfic de dispersió en punts de la relació entre les variables volum i nombre de fruits (esquerra) i alçada i nombre de fruits (dreta).

## Discussió

Segons el resultat de les proporcions de pol·len i òvuls (P/O) com a indicador del sistema de pol·linització de les plantes i els rangs esmentats per Cruden (1977) *Spartium junceum* compta amb un sistema reproductiu basat en la xenogàmia. Les plantes amb xenogàmia principalment posseeixen mecanismes de pol·linització creuada i són proteràndrics o autoincompatibles, a més d'entomòfiles (mètode de dispersió on els grans de pol·len són transportats per insectes) (Cruden, 1977). Tot i que com hem observat en el seguiment fenològic, en aquest cas no presenta proteràndria, ja que l'aparell reproductiu madura al mateix moment, d'ençà que les anteres s'obrin i deixen exposat el pol·len l'estigma ja és receptiu, per tant es suggereix que hi són presents mecanismes d'autoincompatibilitat.

Avaluant els nostres resultats segons els índexs descrits per Zapata i Arroyo (1978), amb un valor de 0,28 per a l'ISI, es situa *Spartium junceum* com una espècie autoincompatible parcial. El valor de l'IAS de 0 indica que tampoc presentaria un sistema reproductor basat en l'autogàmia passiva. S'afirmen per tant les declaracions anteriors i a causa de la seva autoincompatibilitat, en aquesta espècie no seria efectiva l'autopol·linització.

Els embossaments assenyalen resultats molt similars als presentats en l'estudi de Galloni i Cristofolini (2003) on presenten una producció de 72 llavors per cada 100 flors en condicions control. Els resultats de la població estudiada en el nostre treball mostren valors de producció de 92 i 72 llavors per cada 100 flors, per als tractaments control i xenogàmia induïda respectivament i nul·la producció en els altres tractaments. Aquestes dades van d'acord amb el que esperaríem sabent els resultats de Galloni i Cristofolini (2003), on es constata la necessitat de la pol·linització creuada i es descarta que mecanismes com l'agamospèrmia o l'autogàmia siguin efectius. Les dades varen mostrar que els efectes del tractament per autogàmia induïda són insignificants en aquesta espècie pel fet que sols 1 de les 25 flors varen aconseguir produir fruits i tan sols 5 llavors. El tractament per anemofília també concorda amb l'esperat i adverteix del caràcter entomòfil de la planta, ja que no es produïren llavors mitjançant pol·len transportat per l'acció del vent. Aquest caràcter entomòfil es pot reforçar amb les observacions fetes al camp, on observarem la presència de nombrosos insectes.

Una de les causes del baix quallat dels fruits i en conseqüència la baixa producció de llavors per flor en condicions naturals, circumstància que hem presenciada en aquest treball, pot ser provocada per la depredació per part de coleòpters o altres insectes, promovent així l'avortament de moltes flors. Aquesta depredació de les flors per coleòpters, els baixos valors de producció de llavors i la probable causa d'avortament ha sigut reportada per diversos autors (Galloni & Cristofolini, 2003). A més, un altre factor implicat podria ser una elevada especificitat dels pol·linitzadors, ja que es necessita una força relativament gran per obrir la flor (Galloni & Cristofolini, 2003).

Pel que fa a les característiques biomètriques tot i que l'altura podria influir en l'eficàcia biològica de l'individu, ja sigui en l'eficàcia de la pol·linització i per tant augmentant la producció de fruits, o com a reclam als pol·linitzadors (com més espai més visible és una planta per a possibles pol·linitzadors), cal aprofundir quina implicació tenen els factors externs com la quantitat de llum, tipus de substrat o situació espacial de la planta (no és el mateix estar dins del torrent que a la part alta). Atès que amb el model aplicat, no es pot indicar en cap cas, que hi hagués una relació causa/efecte amb la mida i producció. Els individus de la població estudiada presenten una mida mitjana de 2,08 metres i varen produir uns 88 fruits per individu, el que representa una estimació d'entre 877 i 1578 llavors produïdes per individu la temporada de 2021. Aquest valor és distant a la producció d'entre 7000 i 10000 llavors indicada per Bossard et al. (2000) per tant aquest tret indicaria un menor potencial invasor de la població ubicada al torrent de Comellar de na Morta.

## Conclusions

Concloem que *Spartium junceum* presenta un sistema reproductiu basat en la xenogàmia. Les visites d'insectes, com a vector dispersiu del pol·len, són indispensables perquè es tingui una pol·linització exitosa. Es descarten processos com l'anemofília o l'agamospèrmia, a més hi són presents mecanismes d'autoincompatibilitat i per tant no es podria autopol·linitzar. La predació de flors per part de coleòpters també podria limitar el quallat del fruit.

Un altre fet a destacar és que la població estudiada al torrent Comellar de na Morta a Mallorca de mida mitjana de 2,08 m posseeix una producció de 877 a 1578 llavors per individu.

Finalment cal remarcar que, tot i que aquest estudi ens fa pensar que el potencial invasor d'aquesta espècie és menor a Mallorca del reportat en altres llocs, no s'ha de menysprear la seva capacitat invasiva i és convenient fer un seguiment de les poblacions presents a l'illa. També serien interessants futurs estudis com la repetició de l'avaluació dels sistemes d'encreuament usant un major nombre de flors, o l'anàlisi de la quantitat de les llavors que es troben en el sòl per tal de generar més informació del potencial invasor i poder valorar l'estat d'aquesta espècie a Mallorca.

## Agraïments

Agrair a la meva tutora la Dra. Joana Cursach per l'interès i dedicació mostrats, a més d'haver estat una guia essencial per tal d'assolir els objectius desitjats, a la Universitat de les Illes Balears, concretament al departament de Botànica per la cessió del laboratori i l'empra del material i estris, a Margalida Febrer en l'ajuda donada per a l'elaboració de les bosses d'exclusió, a Llorenç Albons per la seva col·laboració en el camp i la seva assistència en el transcurs del treball, i sobretot als meus pares per tot el suport aportat durant la confecció de la memòria i la seva contribució notòria en el treball de camp.

## Referències

- Barboni, L., Manzi, A., Bellomaria, B., & Quinto, A. M. (1994). Alkaloid content in four *Spartium junceum* populations as a defensive strategy against predators. *Phytochemistry*, 37(4), 1197–1200. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)89557-6](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)89557-6)
- Bossard, C. C., Randall, J. M., & Hoshovsky, M. C. (2000). Invasive Plants of California's Wildlands. *University of California Press, Berkeley, CA*.
- Busquets, M., Calvet, C., Camprubí, A., & Estaún, V. (2010). Differential effects of two species of arbuscular mycorrhiza on the growth and water relations of *Spartium junceum* and *Anthyllis cytisoides*. *Symbiosis*, 52(2–3), 95–101. <https://doi.org/10.1007/s13199-010-0097-8>
- CAIB. *Bioatles*. Disponible a: <http://bioatles.caib.es> [Accés dia 23 febrer 2021]
- Capó, M., Cursach, J., & Rita, J. (2020). Disentangling the pollination system of the food-deceptive orchid *Anacamptis longicornu* (*Orchidaceae*): from breeding system to spatio-temporal variation in reproductive success. *Plant Biosystems*, 154(3), 306–315. <https://doi.org/10.1080/11263504.2019.1610110>
- Clarke, M., Ma, Z., Snyder, S. A., & Hennes, E. P. (2021). Understanding invasive plant management on family forestlands: An application of protection motivation theory. *Journal of Environmental Management*, 286, 112161. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112161>
- Cruden, R. W. (1977). Pollen-Ovule Ratios: A Conservative Indicator of Breeding Systems in Flowering Plants. *Evolution*, 31(1), 32–46. <https://doi.org/10.2307/2407542>
- 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. <https://doi.org/10.1007/s00606-011-0568-2>
- Cursach, J., & Rita, J. (2012b). 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. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2012.07.004>
- Dafni, A., Kevan, P. G., & Husband, B. C. (2005). Practical pollination biology. *Practical Pollination Biology*.

- Early, R., Bradley, B. A., Dukes, J. S., Lawler, J. J., Olden, J. D., Blumenthal, D. M., Gonzalez, P., Grosholz, E. D., Ibañez, I., Miller, L. P., Sorte, C. J. B., & Tatem, A. J. (2016). Global threats from invasive alien species in the twenty-first century and national response capacities. *Nature Communications*, 7, 16. <https://doi.org/10.1038/ncomms12485>
- Galloni, M., & Cristofolini, G. (2003). Floral rewards and pollination in *Cytiseae* (*Fabaceae*). *Plant Systematics and Evolution*, 238(1–4), 127–137. <https://doi.org/10.1007/s00606-002-0270-5>
- Gavilán, R. G., Sánchez-Mata, D., Gaudencio, M., Gutiérrez-Girón, A., & Vilches, B. (2016). Impact of the non-indigenous shrub species *Spartium junceum* (*Fabaceae*) on native vegetation in central Spain. *Journal of Plant Ecology*, 9(2), 132–143. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtv039>
- Geerts, S., Botha, P. W., Visser, V., Richardson, D. M., & Wilson, J. R. U. (2013). Montpellier broom (*Genista monspessulana*) and Spanish broom (*Spartium junceum*) in South Africa: An assessment of invasiveness and options for management. *South African Journal of Botany*, 87, 134–145. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2013.03.019>
- Gervilla, C., Rita, J., & Cursach, J. (2019). Contaminant seeds in imported crop seed lots: a non-negligible human-mediated pathway for introduction of plant species to islands. *Weed Research*, 59(3), 245–253. <https://doi.org/10.1111/WRE.12362>
- Giménez, N., Magro, N., Cortés, N., & Guitart, R. (2017). Poisoning after Ingestion of *Spartium junceum* Seeds: Dose-Dependent Effects in Three Boys. *Journal of Emergency Medicine*, 53(3), e41–e44. <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2017.04.033>
- Nilsen, E. T., Karpa, D., Mooney, H. A., & Field, C. (1993). Patterns of stem photosynthesis in two invasive legumes (*Spartium junceum*, *Cytisus scoparius*) of the California coastal region. *American Journal of Botany*, 80(10), 1126–1136. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1993.tb15344.x>
- Ramdani, N., Belhadi, D., Kaci, Y., & Benallaoua, S. (2020). Symbiotic, phenotypic and genotypic characterization of *Bradyrhizobium* sp. nodulating *Spartium junceum* L. from Bejaia, northeastern Algeria. *Symbiosis*, 81(1), 25–37. <https://doi.org/10.1007/s13199-020-00679-8>
- Redmond, C. M., & Stout, J. C. (2018). Breeding system and pollination ecology of a potentially invasive alien *Clematis vitalba* L. in Ireland. *Journal of Plant Ecology*, 11(1), 56–63. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtw137>



- Rita, J. (2019). *Herbari Virtual del Mediterrani Occidental*. Disponible a: <http://herbarivirtual.uib.es/> [Accés dia 03 stembre 2021]
- Sanhueza, C., & Zalba, S. (2014). Seed bank, germination and seed longevity of spanish broom (*spartium junceum*, *fabaceae*): Implications for control. *Boletín de La Sociedad Argentina de Botanica*, 49(1), 67–76. <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v49.n1.7822>
- Schober, P., & Schwarte, L. A. (2018). Correlation coefficients: Appropriate use and interpretation. *Anesthesia and Analgesia*, 126(5), 1763–1768. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002864>
- Seguí, N. (2019). Caracterització de la biologia reproductiva d'*Hypericum balearicum* L. (*Guttiferae*) en poblacions de baixa altitud. *Treball Fi de Grau. UIB*.
- Talavera, S., & Castroviejo, S. (1999). *Flora Iberica: plantas vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares: Vol. VII (I) Leguminosae (partim)* (Vol. 1). Editorial CSIC-CSIC Press.
- Urrutia, J., Sánchez, P., Pauchard, A., & Hauenstein, E. (2017). Invasive aquatic plants presents in Chile: Distribution, traits of life and invasive potential. *Gayana - Botanica*, 74(1), 147–157. <https://doi.org/10.4067/S0717-66432017005000324>
- Zapata, T. R., & Arroyo, M. T. K. (1978). Plant Reproductive Ecology of a Secondary Deciduous Tropical Forest in Venezuela. *Biotropica*, 10(3), 221. <https://doi.org/10.2307/2387907>