

SIMBIOSI ANIMAL

Pugons i formigues



Autor: Alberto Quesada Romero

Tutora: Susanna Esquiús

Curs: 2n Batxillerat A

*Agrair la seva ajuda prestada a Xavier Arnan,
biòleg de la Universitat Autònoma de Barcelona,
a l'Eloi Chumillas per prestar-me els formiguers
i a la meva tutora Susanna Esquiús*

ÍNDEX

Introducció.....	pàg. 2
1. Formigues.....	pàg. 3
1.1. Classificació.....	pàg. 3
1.2. Himenòpters.....	pàg. 3
1.3. Formicoïdeus (formigues).....	pàg. 5
1.4. <i>Lasius niger</i>.....	pàg. 7
1.4.1. Cria i manteniment d'una colònia de <i>Lasius niger</i> en captivitat.....	pàg. 8
2. Pugons.....	pàg. 11
2.1. Classificació.....	pàg. 11
2.2. Homòpters.....	pàg. 11
2.3. Àfids (pugons típics).....	pàg. 12
2.4. Parasitisme dels pugons	pàg. 16
3. Simbiosi animal.....	pàg. 19
3.1. Relacions interespecífiques.....	pàg. 19
3.2. Simbiosi.....	pàg. 19
3.3. Simbiosi pugons i formigues.....	pàg. 20
3.3.1. Característiques generals de la simbiosi.....	pàg. 20
3.3.2. Procés (com estableixen la simbiosi).....	pàg. 23
3.3.3. Principals experiències realitzades per estudiar aquesta simbiosi.....	pàg. 26
4. Disseny experimental.....	pàg. 28
4.1. Introducció.....	pàg. 28
4.2. Problema.....	pàg. 28
4.3. Hipòtesi.....	pàg. 29
4.4. Disseny experimental.....	pàg. 29
4.5. Resultats.....	pàg. 33
4.6. Conclusions.....	pàg. 35
5. Conclusions.....	pàg. 37
6. Glossari.....	pàg. 38
Bibliografia.....	pàg. 39
Annex.....	pàg. 40

INTRODUCCIÓ

Quan havia de triar el tema pel treball de recerca estava indecís entre agafar un tema més de zoologia i ecologia i un altre més relacionat amb la microbiologia. Finalment em vaig decantar per la simbiosi entre pugons i formigues ja que la relació que estableixen ambdues espècies és ben curiosa i em va semblar molt interessant d'estudiar. Una vegada havia escollit el tema vaig buscar informació i vaig veure que hi havia força teoria per explicar i que la part pràctica la podia abordar des de diversos punts de vista i això em va fer estar més segur de la decisió que havia pres. Els objectius que m'he proposat assolir en aquest treball són:

- Conèixer i observar com mantenen la simbiosi pugons i formigues.
- Muntar una experiència per observar la influència de la manca de pugons en una colònia de formigues.
- Analitzar els resultats obtinguts de l'experiència per treure'n conclusions.
- Aprendre a realitzar un treball de camp.

Pel que fa als límits de la recerca, aquesta s'ha basat en l'observació i el manteniment de les dues colònies apuntant els resultats de les observacions i traient-ne conclusions. També he realitzat una cerca documental sobre les simbiosis i en concret la de formigues i pugons.

Al tractar-se d'un treball de caire científic cal donar importància a la hipòtesi que vaig plantejar a l'inici del treball i que he intentat demostrar gràcies a l'experiment realitzat. La hipòtesi de treball és la següent:

*L'absència de mel en l'alimentació d'una colònia de *Lasiusniger* afectarà el creixement de la colònia que es veurà minvat o aturat.*

Si parlem de la metodologia i el procés d'elaboració del treball cal comentar que durant l'estiu vaig realitzar nombroses experiències que no em van servir per obtenir resultats. Al llarg del primer trimestre de segon curs vaig realitzar una altra experiència amb la hipòtesi que he mencionat abans, abordant la part pràctica des d'una altra visió.

1-FORMIGUES

1.1-CLASSIFICACIÓ

Regne:	Animalia
Fílum:	Arthropoda
Classe:	Insecta
Ordre:	Hymenoptera
Subordre:	Apocrita
Superfamília:	Vespoidea
Família:	Formicidae



Fig. 1. Exempler de *Camponotus micans*.

1.2-HIMENÒPTERS

Les formigues són insectes de la família dels *formícids*, que juntament amb les vespes i abelles es troben dintre de l'ordre dels *himenòpters*. Els himenòpters són un ordre d'insectes pterigots, és a dir, un grup d'insectes una mica més desenvolupats que no presenten apèndixs abdominals i generalment amb ales. Aquests insectes poden ser de vida lliure, socials o paràsits. Hi destaquen per ser més conegudes les abelles i les

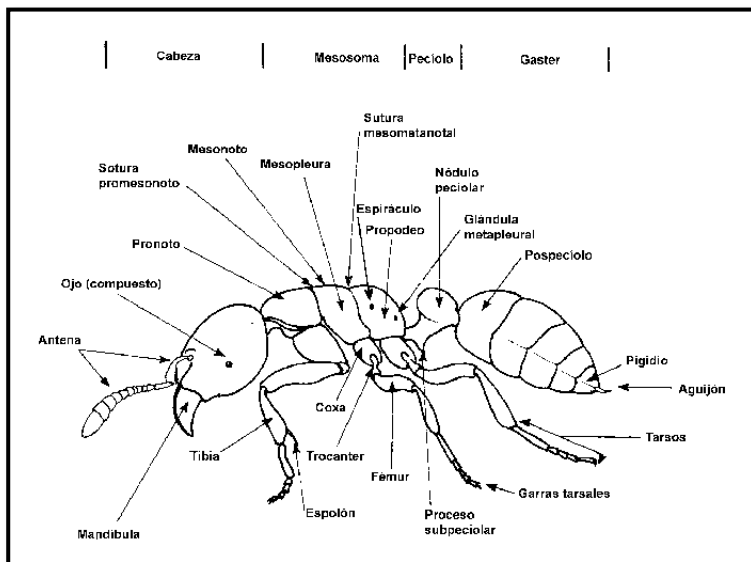


Fig. 2. Morfologia d'una formiga.

formigues tot i que en aquest extens ordre s'han descrit actualment unes 280000 espècies. Hi trobem una gran variabilitat morfològica a causa del gran nombre d'espècies que comprèn. Aquestes han sofert diferents adaptacions biològiques, però tot i així, hi trobem característiques comunes:

Tots ells presenten un aparell bucal mastegador ben diferenciat i el primer segment abdominal soldat al metatòrax (últim segment del tòrax) formant el propodeu, que nosaltres observem en les formigues i abelles com una estreta cintura i que sol estar

separat del segon segment abdominal per un estrangulament accentuat. Totes les espècies presenten dos parells d'ales, les anteriors més grans que les posteriors, que en posició de repòs estenen de manera longitudinal sobre el seu cos. En algunes espècies les ales han quedat reduïdes com en el cas dels braquípters, o han arribat a desaparèixer com en el cas de les obreres dels formícids. L'abdomen dels himenòpters presenta un agulló o oviscapte que esta connectat a unes glàndules de secreció, tot i que per exemple, en les formigues l'agulló ha desaparegut i només han quedat les glàndules secretores (capaces d'excretar àcid fòrmic). Al tractar-se d'un ordre ben nombrós, en els himenòpters trobem quatre tipus de reproducció diferents: la reproducció sexual que és la més habitual, la **partenogènesi**, l'agàmia indefinida (que es una espècie de partenogènesi portada a l'extrem ja que només hi existeixen femelles) i l'heterogonia en la que s'alternen una generació bisxuada amb una altra partenogenètica. Els



Fig. 3. Exempler de *Lasius flavus*.

himenòpters ponen ous que donaran lloc a larves que a la vegada patiran una metamorfosi complicada o complexa. En relació a la conducta i l'alimentació, com ja he comentat poden ser solitaris, socials o paràsits, i donat que hi ha una gran diversitat d'aparells bucals hi trobem una alimentació molt variada. Dintre dels himenòpters trobem el subordre dels apòcrits en el qual es troba el grup dels formicoïdeus que engloba totes les formigues. Les formigues són himenòpters aculeats, és a dir, insectes en què l'ovipositor, el conducte per on es dipositen els ous, ha esdevingut un fibló o simplement ha desaparegut. Tenen un aparell bucal mastegador i llepador que els permet tenir una dieta omnívora que va des d'insectes i llavors fins a nèctar i secrecions dolces de pugons. A l'encèfal hi trobem un parell d'antenes amb forma de colze constituïdes per un màxim de tretze artells. En la part inferior de l'encèfal presenten un sac infrabucal que reté les partícules sòlides que no seran ingerides. Al tòrax hi trobem les sis potes que caracteritzen els insectes, i més enrere veiem que el segon segment de l'abdomen forma un pecíol diferenciat de la resta de l'abdomen. En algunes subfamílies el tercer segment abdominal també s'ha diferenciat formant un post-pecíol.

1.2-FORMICOÏDEUS (FORMIGUES)

Les formigues han tingut una gran èxit evolutiu i adaptatiu arreu del món gràcies en part a la seva diversitat, però sobretot a allò que les caracteritza i les fa tant captivadores; el fet que siguin insectes socials. Les formigues són doncs himenòpters del tipus social que viuen conjuntament formant les conegudes colònies de formigues. Una colònia de formigues està formada fonamentalment per: una reina, les obreres i les cries. Tot i que

aquesta estructura pot variar molt ja que podem trobar colònies amb més d'una reina i també és molt habitual trobar colònies en què apart de les obreres hi ha una altra casta de formigues que són els soldats. Parlant d'una colònia estàndard trobarem al cim de la piràmide la reina que juntament amb els mascles formen el conjunt d'individus sexuats de les



Fig. 4. Vol nupcial.

colònies de formigues. Els sexuats són els encarregats de dispersar l'espècie i establir noves colònies i el que els diferencia de les obreres és principalment el tenir ales, tot i que la reina les perd després del vol nupcial quan ha estat fecundada. El mascle viu amb l'única funció de fecundar la reina i per tant una vegada ho ha fet mor, la reina per altra banda viu molts anys i s'han arribat a registrar reines amb 28 anys. La reina és la formiga més important, i precisament ho és perquè és l'única que pot realitzar la posta d'ous.



Fig. 5. Desenvolupament d'un ou de formiga.

Sense ella la colònia desapareixeria perquè és l'única que contínuament va generant nous individus. Els ous que pon esdevindran larves que com en la majoria d'insectes patiran una metamorfosi (complicada en el cas del himenòpters) que les convertirà en pupes i més tard en les nimfes que donaran lloc a obreres ja funcionals. I com la reina és qui origina tots els individus és ella també qui origina el formiguer. Hi ha diverses formes de fundar noves colònies degudes a la gran varietat d'espècies de formigues que

hi ha, per facilitar-ho em centraré en la manera més corrent de fer-ho que per altra banda és la que utilitzen la majoria de les espècies del nostre territori. La reina, un cop ha estat fecundada, busca amagatall sota terra on iniciarà la posta d'ous i on es quedarà per tota la seva vida. Per obtenir matèria i energia suficient per pondre ous moltes reines s'alimenten de les ales i la musculatura alar que ja no necessiten o fins i tot dels primers ous no funcionals que ponen. A partir d'aquí aniran sorgint obreres que obriran noves galeries per confeccionar el niu en sí. Parlarem de colònies monogines si en la colònia només hi ha una reina i poligines si la colònia està governada per més d'una reina. S'han observat fins i tot casos de parasitisme en què una colònia de formigues estava subjugada a una altra a la qual servia i alimentava. Pel que fa a les obreres, les formigues asexuals, estan dividides en molts casos en castes, grups d'obreres que ja sigui pel temps que porten en la colònia o per la mida que tenen s'especialitzen en una feina determinada. El cas més freqüent són les espècies amb obreres monomorfes en què si es produeix una especialització és segons quant temps tingui la obrera. En canvi en les espècies amb obreres polimorfes les petites tenen cura dels ous, de les larves més petites i de la reina, les mitjanes cuiden les larves més grans i controlen el niu i la seva expansió, i les més grans s'encarreguen de la recerca d'aliment i la defensa del niu. Veiem doncs en el darrer cas una especialització determinada per la morfologia. Parlant de l'obtenció de l'aliment i la defensa del niu és molt important parar atenció a la comunicació entre les formigues. Aquestes poden captar una infinitat d'estímul físics, químics i mecànics utilitzant els ulls, les antenes i els palps bucals. Quan les formigues



Fig. 6. Reina de *Lasius niger* tenint cura dels ous.

surten del niu per buscar aliment retornen al niu orientant-se pel Sol, per la **llum polaritzada**, per la topografia dels voltants o dipositant feromones que assenyalen el camí de tornada. La comunicació entre els membres de la colònia és essencial tant a l'exterior com dintre del niu

per mantenir la cohesió de la colònia, per mantenir-la en constant creixement i per permetre que superi qualsevol situació adversa. En les formigues són molt comunes les secrecions químiques si s'adverteix alguna presència amenaçant per alertar les demés. De la mateixa manera al niu els individus es reconeixen per l'olor, que ve determinada per factors genètics i ambientals.

Dintre dels formicoïdeus em centraré en la família dels formícids, i dintre d'aquests en formigues del gènere *Lasius*, més concretament en l'espècie *Lasius niger*.

1.3-LASIUS NIGER

Les formigues que he observat al meu experiment són formigues del gènere *Lasius*, de l'espècie *Lasius niger*. Són formigues de la subfamília Formicinae que es troben esteses per tota Europa i part d'Àsia i Amèrica del Nord. A Espanya es troba a tot arreu però



Fig. 7. Reina de *Lasius niger* fecundada.

amb major abundància a les zones del nord, on l'ambient és més humit. En llibertat, moltes vegades per fer el niu crea una petita cúpula de terra d'uns 20cm d'alçada i tot i que gairebé sempre viuen sota terra no tenen cap problema en fer el niu sota alguna pedra o a l'interior d'escletxes de tot tipus. Les obreres presenten un color negre fosc i tenen una mida d'entre 3 i

5mm. És una espècie monogina, és a dir, només presenta una reina per colònia que normalment té una mida que ronda els 9mm. S'han vist espècies de *Lasius niger* que han arribat als 15.000 individus tot i que la mitjana està entre 4.000 i 7.000 individus. La reina d'aquesta espècie sol durar uns 12 anys. *Lasius niger* s'adapta molt bé a les diverses condicions ambientals, és a dir, sempre que sigui dintre d'uns valors raonables, s'adapta a canvis com la variació de la temperatura, la humitat o la llum. És una espècie prolífica, es desenvolupa a un ritme accelerat, fins a tal punt que s'ha comprovat que en dos anys una colònia pot arribar a milers d'individus. Per tot això és una espècie idònia per realitzar experiments, ja que a més a



Fig. 8. Vol nupcial de *Lasius niger*.

més de que interactua molt amb els àfids és una espècie que en menys temps dona lloc a més individus en comparació amb altres espècies, i el fet de mesurar en aquest experiment el nombre d'individus és un factor favorable que la colònia es desenvolupi a

gran velocitat. El cicle biològic d'aquesta espècie és com el cicle general dels himenòpters que ja he comentat; a la darrera de l'estiu es produeix el vol nupcial en què es troben mascles i femelles sexuals, ambdós alats, i es produeix la fecundació de les femelles o reines per part dels mascles. A partir d'aquí els mascles moren poc temps després de la fecundació i les reines un cop han perdut les ales busquen un lloc on iniciar una nova colònia. Una vegada han trobat un amagatall comença el procés de la posta d'ous, també esmentat en les característiques generals dels himenòpters, que donarà lloc a una colònia ja formada constituïda per la reina i unes quantes obreres. Una vegada s'ha establitzat en certa manera aquesta "pro-colònia" les primeres obreres surten del niu en busca d'aliment i aquest és un moment crucial per la supervivència de la colònia ja que la reina s'ha de recuperar de tot l'esforç que ha realitzat i són les primeres obreres qui han de portar-li l'aliment.

1.3.1-Cria i manteniment d'una colònia de *Lasius niger* en captivitat

Com al meu experiment he mantingut dues colònies en formiguers artificials, parlaré una mica de la cria i el manteniment d'aquesta espècie en captivitat. *Lasius niger* és una espècie que es caracteritza per ser fàcil de mantenir en formiguers artificials. Pel que fa a la posta d'ous i la fundació de la colònia és idèntica a la fundació en llibertat. Una vegada han aparegut les primeres obreres dins del tub d'assaig cal traslladar el tub d'assaig al formiguer on se'ls ha de deixar el seu primer aliment a partir del qual s'anirà desenvolupant la colònia. A mesura que el nombre d'obreras vagi creixent arribarà un moment en què el tub d'assaig serà massa petit i serà el moment en què la colònia es traslladarà a un dels compartiments dels quals disposa el formiguer. D'aquesta manera s'evita la sobrepoblació de la colònia amb la qual s'estancaria el creixement d'aquesta.



Fig. 9. Colònia de *Lasius niger* en un tub d'assaig.

Veiem doncs que les colònies tenen capacitat d'autoregulació. Pel que fa a l'alimentació requereixen una aportació glucídica, de sucres, i una aportació proteica. Les colònies joves que just inicien la seva proliferació requereixen especialment aliment amb sucre que els podem proporcionar sobretot amb mel, que presenta



Fig. 10. Colònia de *Lasius niger* amb ous i pupes.

una alta concentració en sucres, i també amb sucre diluït en aigua. No es pot oblidar que la colònia també necessita proteïnes per al seu òptim desenvolupament ja que estimula en gran part la posta d'ous de la reina. L'aportació proteica pot ser per mitjà de clara d'ou diluïda (molt rica en ovoalbúmina) o petits insectes morts. Alguns exemples d'insectes i animals apreciats per *Lasius niger* són: anèl·lids (sobretot cucs de terra), mosques de tot tipus, arnes, etc. Cal parar compte també a la quantitat d'aliment que se'ls proporciona i sobretot la freqüència amb què se les alimenta. Un excés d'aliment no consumit per la colònia pot ser més catastròfic que favorable, ja que si s'acumula pot ser una font de microorganismes molts diversos, alguns d'ells patògens, que poden ser letals per la colònia. Per evitar l'excés d'aliment només cal observar l'abdomen de les obreres i sobretot el de la reina. Quan mengen l'abdomen es tensa i apareixen unes petites franges més clares entre segment i segment de l'abdomen. Quan observem això no cal que els donem més aliment i si encara en queda ho retirem per evitar infeccions. Una vegada tornem a veure que presenten l'abdomen relaxat, poc voluminós i sense les divisions entre segments marcades és el moment de tornar a alimentar la colònia. Per mantenir i assegurar la supervivència de la colònia a banda de l'alimentació cal tenir en compte la temperatura i la humitat que són dos factors que influeixen molt en les colònies de formigues. La temperatura de l'ambient no ha de superar els 27°C i el formiguer no ha d'estar exposat de manera directa a la llum del Sol. La humitat ha de ser constant ja que un excés o una manca d'humitat podria ser fatal, el formiguer però, ja presenta unes estructures que et permeten mantenir-la constant. En relació amb això hem de parlar del

període d'hibernació de les formigues. Quan les temperatures són baixes les formigues inicien el període d'hibernació en el qual disminueixen notablement la seva activitat, és una necessitat que si s'impedeix augmentant la temperatura pot afectar al seu desenvolupament. Normalment el període d'hibernació de *Lasius niger* abasta des de finals de novembre fins a principis de març coincidint amb temperatures d'entre 5 i 8 °C, que en cap cas poden baixar dels 0°C o la colònia podria morir. També cal tenir en compte la forma amb què els subministrem aigua, no els podem donar aigua directament ja que moririen ofegades, per tant la millor manera de fer-ho és mullant un tros de cotó en aigua del qual podran xuclar tota l'aigua que necessitin.



Fig. 11. Colònia de *Lasius niger* en un formiguer acrílic amb humidificador.

2-PUGONS

2.1-CLASSIFICACIÓ

Regne:	Animalia
Fílum:	Arthropoda
Classe:	Insecta
Ordre:	Homoptera
Subordre:	Sternorrhyncha
Superfamília:	Aphidoidea
Família:	Aphididae

2.2-HOMÒPTERS

Els homòpters constitueixen un ordre d'insectes important per l'elevat nombre d'espècies que el formen però sobretot per la influència que tenen sobre la jardineria, l'agricultura i les masses forestals. Els principals constituents d'aquest grup són les cigales i els pugons tot i que com ja he dit és un grup extens. Presenten característiques en comú que els fa formar part d'un mateix grup com les peces bucals xucladores o el tipus de reproducció, desenvolupament i règim alimentari.

Morfologia: Generalment són insectes petits, d'uns quants mil·límetres de llargada, que presenten una morfologia molt variada amb uns quants aspectes en comú. Presenten tots ells un aparell bucal picador i xuclador format per un feix d'estilets flexible que és l'encarregat de penetrar als teixits vegetals. Tots els homòpters s'alimenten de la saba elaborada i per evitar una excessiva ingesta de glúcids en front una ínfima assimilació de proteïnes els homòpters presenten un sistema que els permet desviar l'excés d'aigua i sucres aconseguint un augment relatiu de proteïnes.

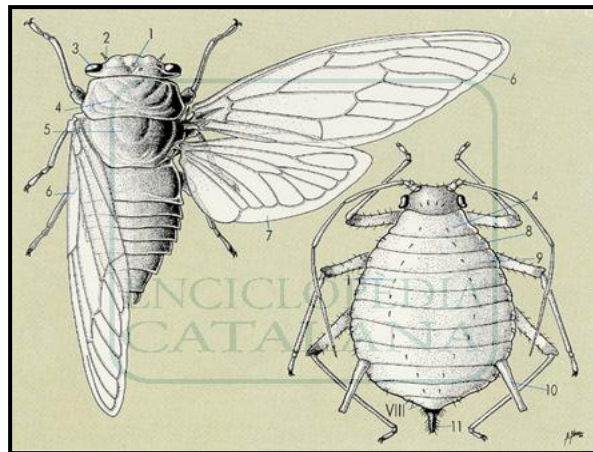


Fig. 12. Morfologia general dels homòpters.



Fig. 13. Àfids observats amb lupa electrònica.

Altres trets morfològics que unifiquen els homòpters són un primer segment toràcic més petit que els altres dos, un sistema nerviós central molt concentrat i unes ales generalment membranoses excepte en el cas de les espècies **àpteres**. Pel que fa a la reproducció i el desenvolupament el grup dels homòpters presenta cicles vitals molt variats i complexos, a causa principalment del fet que hi hagi dos tipus de reproducció (la sexual o **amfigònica** i la partenogenètica), que algunes espècies puguin ous i altres siguin vivíparas i que hi trobem tants tipus de desenvolupament post-embrionari.



Fig. 14. Méssexemplars observats amb lupa electrònica.

2.3-ÀFIDS (pugons típics)

Amb un nombre total d'espècies que arriba a les 4000 abasten des de l'Equador fins a les zones polars. Tot i que podríem parlar d'una venació alar simple o de femelles sense ovopositor, el principal tret que caracteritza els àfids és el fet que presenten la partenogènesi com el tipus de reproducció predominant. Alternen les generacions partenogenètiques i amfigòniques de manera que a l'any es produeix una generació amfigònica o sexual en què les femelles ponen els anomenats ous d'hivern. -Reproducció: Presenten com ja hem dit una

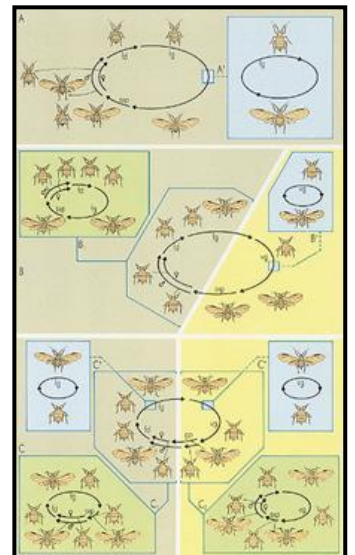


Fig. 15. Cicle reproductiu dels homòpters.

gran diversitat de cicles vitals que poden ser de dos tipus:

-Monoïcs: Són cicles que solen completar-se en plantes de la mateixa espècie. Una femella fundadora dona lloc a les demás femelles a partir de les quals generacions successives donaran lloc a una generació sexuada formada per femelles àpteres (sense ales) i mascles normalment alats. Aquestes femelles pondran a la tardor els ous d'hivern a les escorces i arrels dels arbres, que eclosionaran a la primavera següent donant lloc a noves femelles fundadores.

-Dioïcs: Els cicles dioïcs en canvi requereixen dos desplaçaments o migracions en què canvien d'hoste. Necessiten doncs, dues plantes anomenades hoste primari i secundari que solen ser de diferents espècies. El cicle s'inicia a la primavera quan eclosionen els ous d'hivern que van posar les femelles de la generació sexual a la tardor donant lloc a femelles. Durant l'estiu les femelles que habiten a l'hoste primari originen una generació de femelles alades que marxen cap a l'hoste secundari on s'establiran i la darrera generació de les quals donarà lloc a àfids sexuals que tornaran a l'hoste primari on posaran els ous d'hivern abans de morir.



Fig. 16. Femella de pugó tenint una cria.

-Alimentació: Els pugons o àfids com ja hem comentat anteriorment s'alimenten de la saba elaborada dels vegetals. La saba elaborada equival en els animals a la sang. És una substància líquida que viatja pels vasos conductors de les plantes que té la funció de transportar els nutrients a totes les cèl·lules de la planta. Es produeix en gran quantitat a les fulles que hi aboquen grans quantitats de sacarosa, un producte indirecte de la

fotosíntesi. És per tant una substància molt rica en sucres que constitueix la font exclusiva d'aliment dels pugons. Utilitzant la seva peça bucal picadora i xucladora succionen aquesta saba de la planta sobre la qual habiten. La localització de la planta sobre la qual es dipositaran es produeix per mitjà de la vista, l'olfacte o el gust tot i que la majoria de cops es realitza per la vista. La flexibilitat dels estilets d'aquesta peça bucal permet als àfids travessar els teixits vegetals fins arribar als vasos conductors perforant primer amb un estilet mandibular, i amb l'altre mandibular i els dos maxil·lars

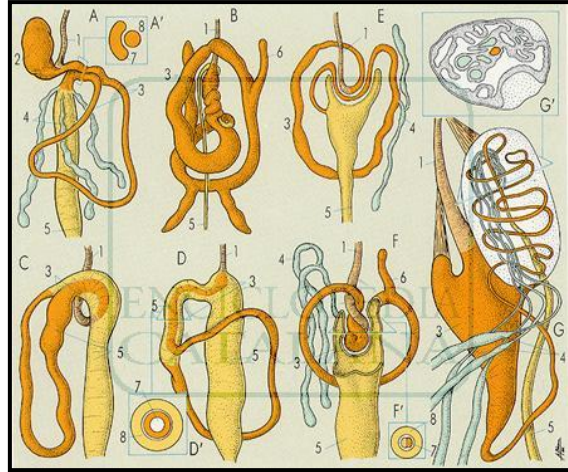









Fig. 17. Tipus d'aparell digestiu dels homòpters.

més tard. Un cop ha arribat a la saba elaborada els dos estilets maxil·lars conformen el conducte alimentari pel qual es produirà la succió de la saba. Aquesta succió és un procés que té lloc majoritàriament gràcies al procés de capil·laritat que en cas de necessitat pot ser ajudat per una petita succió que realitza l'àfid amb una bomba de succió que té a la part anterior de la faringe anomenada bomba pre-faríngia.

A la vegada que es produeix la succió de la saba que és contínua mentre dura la picada, les maxil·les conformen un conducte salival per on l'àfid injecta saliva a la planta. Fruit d'aquesta succió el pugó obté una gran quantitat de substància aquosa i ensucrada amb un percentatge proteic molt baix, és a dir, un excés de glúcids en relació a les proteïnes que ha de ser alliberat d'alguna manera. El sistema filtrador que presenten soluciona aquest problema. Consisteix en un sistema que posa en contacte la part anterior i posterior de l'estómac o la part anterior de l'estómac, amb l'anterior de l'intestí permetent així que aquest excés de glúcids no s'assimili i s'alliberi constituint una part fonamental dels materials fecals dels àfids. Aquest excrement forma una bola brillant que conté una alta concentració en sucres i és conegut com a *melassa*. La melassa provoca una atracció en diversos insectes nectarívors que la prenen ocasionalment i una atracció encara més forta en les formigues que poden arribar a integrar-la en la seva dieta. Aquesta és la base de la relació simbiòtica que estableixen algunes formigues amb determinats àfids.

Nom científic	Nom vulgar	Hoste	Imatge
<i>Acyrtosiphon pisum</i>	Pugó del pèsol	Grup de les lleguminoses.	
<i>Aphis fabae</i>	Pugó negre de la fava	Hortalisses, és molt polífag .	
<i>Myzus persicae</i>	Pugó del presseguer	Presseguer i altres plantes.	
<i>Cinara juniperi</i>	Pugó del ginebre	Ginebre.	
<i>Macrosiphum euphorbiae</i>	Pugó de la patata	Freqüent en molts conreus, és també molt polífag.	

<i>Aphisnerii</i>	Pugó del baladre	Baladre.	
<i>Aphisgossypii</i>	Pugó del cotó	Afecta sobretot a plantes herbàcies i cítrics, però és també una espècie molt polífaga.	

Taula 1. Principals espècies de pugons dels Països Catalans.

2.4-PARASITISME DELS PUGONS

Com ja hem comentat anteriorment els pugons estableixen una relació de parasitisme amb la planta. El parasitisme és una relació en la qual un dels bàndols en surt beneficiat i l'altre perjudicat. Es coneix com un procés mitjançant el qual una espècie assegura i manté la seva supervivència a costa d'una altra espècie de la qual s'aprofita per cobrir les seves necessitats biològiques ja sigui en referència a la nutrició, la reproducció, etc. L'espècie que efectua aquest procés s'anomena paràsit i l'espècie que es veu perjudicada s'anomena hoste. En el cas dels pugons respecte la planta, identifiquem els pugons com el paràsit i la planta com l'hoste, els pugons es beneficien de la planta a costa de la seva salut i supervivència.

Els pugons són **paràsits socials** que es troben en avantatge pel fet d'actuar en un conjunt individus d'una mateixa espècie. A més són ectoparàsits ja que viuen fora de l'hoste al que perjudiquen. L'especificitat en el parasitisme, tal i com passarà amb la simbiosi, està relacionada amb l'evolució conjunta de paràsits i hostes. Normalment un paràsit presenta especificitat per una sola espècie o per un nombre reduït d'espècies d'hoste. No hi ha gairebé cap espècie de planta o animal i fins i tot d'éssers microscòpics que no tinguin un paràsit que només els afecti a ells. Aquesta especificitat o selectivitat d'hoste que presenten els paràsits es veu reflectida en els pugons ja que

trobem una infinitat d'espècies de pugons que a l'hora afecten a una infinitat d'espècies de plantes. Hi ha pugons que només afecten a una espècie de planta i se'ls anomena precisament com la planta a la qual afecten, tot i així moltes espècies de pugons actuen sobre tot un grup de plantes o fins i tot els va bé tot tipus de planta sempre que tingui brots verds on alimentar-se. Les principals espècies de pugons del nostre país les podem representar en la taula que apareix a les dues pàgines anteriors.

Ja hem vist que els pugons són uns paràsits altament eficaços que perjudiquen molt a la planta creant-li danys importants. Podem classificar aquests danys en dos tipus:

-Danys directes: Són els danys obvis que deriven directament de la picada del pugó, es veuen a simple vista o són molt fàcils de deduir. Hi trobem:

- Desviació de nutrients: Durant la picada el pugó està xuclant constantment la saba elaborada que transporten els vasos conductors de la planta. Aquesta saba elaborada és molt rica en nutrients que la mateixa planta ha produït durant la fotosíntesi o per processos derivats d'aquesta. Des del moment en què el pugó s'està aprofitant d'això està perjudicant a la planta ja que li està prenent els nutrients dels quals s'alimenta.

Diem doncs que el pugó produeix un dany mecànic i espoliador de la saba. Si tenim en compte que els pugons es converteixen en una veritable plaga cobrint gran part de la tija i les fulles de la planta s'entén que sigui un dels principals fets que causa la mort de plantes infectades per pugons.



Fig. 18. Pugó succionant saba de la planta.

- Secreció de saliva: Quan el pugó produeix la picada injecta saliva a la planta i aquesta saliva provoca una gran varietat de danys tòxics, irritants i infecciosos. La saliva provoca reaccions hipertèliques als teixits de la planta i de vegades dóna lloc a la formació de gal·les o cecidis, que són hipertròfies, deformacions, dels teixits vegetals induïdes per agents físics o químics, en aquest cas la saliva dels pugons.

-Danys indirectes: Per altra banda trobem els danys indirectes que no s'observen immediatament després de la picada, sinó d'una manera més indirecta. Són doncs danys menys obvis. Hi trobem:

- **Producció de melassa:** La melassa que produeixen els pugons és moltes vegades aprofitada per les formigues com veurem més endavant. Però hi ha vegades que les formigues no hi són per aprofitar-se d'ella de manera que els pugons dipositen la melassa que excreten sobre les fulles o la tija depenent de quin lloc de la planta es trobin. L'acumulació de melassa sobre la planta és un fet molt perjudicial per aquesta ja que és una gran font d'infecció. Molts agents infecciosos es veuen atrets per les substàncies que secreten determinades plagues com la dels pugons i el fong negrilla n'és un exemple. Aquest fong s'alimenta de la melassa que els pugons dipositen sobre la planta i tot i que en cap moment arriben a envair els teixits de la planta romanen a la superfície arribant a cobrir gran porcions de les fulles i la tija de la planta reduint el rendiment fotosintètic d'aquesta i per tant arribant a produir la mort de la planta en casos extrems.



Fig. 19. Fulles d'una planta infectades pel fong negrilla.

- **Transmissió de virus:** És un dels efectes més nocius dels pugons respecte les plantes que afecten. Els pugons poden absorbir qualsevol virus durant la picada a una planta que després poden passar a una altra planta, essent doncs importants vectors de transmissió de moltes malalties vegetals de caràcter viral. Parlarem de dos tipus de **fitovirus** que transmeten els pugons depenent del sistema de transmissió. Per una banda trobem els virus no persistents o d'estilet, poc específics, que el pugó adquireix durant la picada i que degut al seu curt període d'incubació el pugó pot transmetre en la següent picada a una altra planta. Per altra banda trobem els virus persistents o circulants que són més específics i arriben a les glàndules salivals del pugó a través de les vies digestives on després de passar un període d'incubació més llarg podran ser transmesos pel pugó a altres plantes durant la picada. S'ha vist que una de les espècies de pugons que més virus transmet és *Myzus persicae* (Vegeu Taula 1).

3-SIMBIOSI ANIMAL

3.1-RELACIONS INTERESPECÍFIQUES. SIMBIOSI

Quan parlem d'ecologia les relacions interespecífiques són aquelles relacions que s'estableixen entre individus de diferents espècies. La simbiosi n'és una de les més conegudes.

3.2-SIMBIOSI

Entenem per simbiosi la relació que estableixen individus d'espècies diferents en la qual ambdós individus surten beneficiats en major o menor grau. Normalment estableixen una relació estreta i prolongada en el temps però quan comentem els diferents graus que hi trobem veurem que no sempre és així. Als organismes que intervenen en aquesta relació se'ls anomena simbiotes. Hi ha diferents tipus de simbiosis que podem classificar atenent a diferents criteris, de manera que podem parlar de simbiosi facultativa o obligada depenent de l'efecte que tindria el fet que no es produís aquesta relació, simbiosi permanent o temporal segons la seva prolongació en el temps i d'altres classificacions com per exemple segons la transmissió de la simbiosi a les següents generacions o segons el grau de benefici que obtinguin l'una i l'altra espècie. Com hem explicat abans segons si la simbiosi és facultativa o obligada, hi trobem diferents graus:

-Per ordre creixent trobaríem com a simbiosi de menor grau la que afecta al comportament de dues espècies que han après a conviure de manera que obtenen certs beneficis l'un de l'altre establint una relació subtil. Un bon exemple seria la relació entre el peixos pallassos i les anemones així com la simbiosi establerta entre determinades espècies de formigues i pugons.

-Seguint un escala en què la dependència d'una espècie respecte l'altra va augmentant arribaríem a la màxima expressió de la simbiosi en la qual la relació s'ha fet tant estreta i íntima que una espècie no pot viure sense l'altra perquè depèn completament d'ella. L'exemple més típic d'aquest grau de simbiosi és l'associació d'una alga unicel·lular anomenada ficobiont que sol ser un cloròfit i un fong



Fig. 20. Líquen adosat a l'escorça d'un arbre.

anomenat micobiont que sol ser del grup dels ascomicets, per formar un líquen. L'alga s'aprofita de la defensa contra la dessecació que presenta el fong, i el fong s'aprofita de l'aliment que genera l'alga amb la fotosíntesi. Aquests dos individus estan relacionats de forma que un no pot viure sense l'altre i es consideren un únic individu.

Quan parlem de simbiosi és inevitable parlar també de mutualisme, una relació en la qual ambdues espècies surten també beneficiades com en la simbiosi. Normalment es parla de simbiosi com un tipus de mutualisme en què els organismes presenten una relació més estreta. Això pel que fa a la pràctica, però a l'hora de la veritat és molt difícil marcar una línia que separi el que és mutualisme del que és simbiosi. Per això no és estrany trobar exemples de dos organismes o col·lectius que estableixen una d'aquestes relacions interespecífiques, que vinguin definits com a simbiosi o com a mutualisme depenent de la font que consultem.

3.3-SIMBIOSI PUGONS I FORMIGUES

3.3.1- Característiques generals de la simbiosi

Des de sempre s'ha sabut que hi havia una relació especial entre moltes espècies de pugons i formigues, però encara avui en dia no se sap concretament quin és el benefici que obté una de les parts, els pugons, ja que per part de les formigues és clar el benefici. Si bé es tracta d'una relació en la que interaccionen dues parts, en realitat es tracta d'una

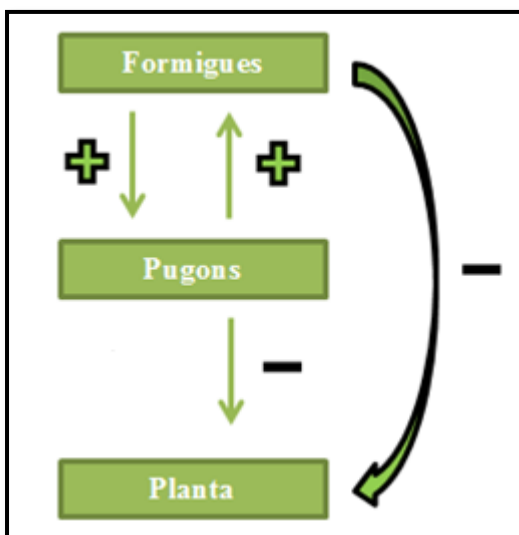


Fig. 21. Esquema de la simbiosi..

interacció a tres bandes en la qual també intervé la planta:

Entre les formigues i els pugons com es tracta d'una simbiosi hi veiem dues interaccions positives, els dos obtenen benefici d'aquesta interacció. En canvi els pugons interactuen sobre les plantes de manera negativa ja que en són paràsits i per tant la planta en surt perjudicada.

És important la relació que s'estableix entre les formigues i la planta ja que a simple vista no s'entendria perquè les formigues actuen

negativament sobre la planta. Les formigues i la planta no estableixen una relació

directa en aquest cas (si deixem de banda el nèctar del qual a vegades s'alimenten les formigues). Estableixen doncs una relació indirecta; com les formigues beneficien als pugons assegurant-los la seva supervivència i permetent així que continuïn parasitant la planta prolongadament estan fent que la planta sigui més perjudicada del que seria sense elles i per tant estan afectant indirectament en negatiu a la planta. Tot i que el balanç final de la interacció entre les formigues i la planta sigui negatiu cal tenir en compte el fet que quan les formigues capten la melassa produïda pels pugons eviten que aquesta es dipositi sobre les plantes i per tant impedeixen que la planta es vegi afectada per agents infecciosos com el fong *negrilla* que hem esmentat abans. En certa manera les formigues afavoreixen a la planta de manera que l'efecte de les formigues sobre la planta podrà ser negatiu o positiu depenent d'aquests factors que s'han de tenir en compte si es vol determinar aquest efecte.

Una vegada hem esmentat el fet que la planta també hi juga un paper en aquesta relació em centraré en la relació de les formigues i els pugons.

Per poder entendre el fonament d'aquesta relació cal conèixer l'alimentació de les formigues, concretament la de les formigues que basen la seva alimentació en aliments ensucrats i aporten al seu organisme el percentatge de proteïnes que necessiten per mitja de la ingesta d'insectes ja morts. Si ens fixem per exemple en l'espècie *Lasius niger* veiem que obté els glúcids que necessita amb aliment líquid, ja sigui nèctar (en molta menys proporció) o a través de la melassa que és la seva principal font d'energia. D'aquesta melassa les formigues obtenen els principals monosacàrids dels quals s'obté energia: glucosa i fructosa, i el disacàrid producte de la unió d'aquests dos monosacàrids que és la sacarosa. A més però, obté altres **oligosacàrids** que no són tan coneguts com la melezitosa (C₁₈H₃₂O₁₆) i la rufinosa (C₁₈H₃₂O₁₆). S'ha vist que el trisacàrid melezitosa és el constituent principal de la melassa de la majoria d'espècies de pugons arribant a assolir el 46% de la concentració en sucres. Es creu que aquesta alta concentració en melezitosa de la melassa dels àfids és la que atrau a les formigues cap a aquesta substància ensucrada. Alguns científics s'atreveixen a afirmar que les espècies de pugons que presenten una concentració de melezitosa tant elevada respecte el total de sucres o glúcids són mirmecòfils obligats, és a dir, que presenten una gran afinitat cap a les formigues i sempre es troben associats amb elles. D'altres són mirmecòfils facultatius o no són atesos per formigues. Les formigues poden hidrolitzar parcialment la melezitosa en glucosa i turanosa (un isòmer de la sacarosa), i el fet que a més

d'aquest trisacàrid la melassa sigui rica en molts altres glúcids, com ja hem comentat, fa que les formigues s'hi sentin tan atretes.

La principal i més coneguda simbiosi la protagonitzen les formigues de l'espècie *Lasius niger* i els pugons *Aphis fabae*. És la més coneguda perquè és la més habitual, la que més es produeix. La formiga *Lasius niger* és present en gairebé qualsevol indret del nostre territori i estableix aquesta relació amb els pugons de l'espècie *Aphis fabae* (pugó de la fava) que al ser molt polífags es troben en gran diversitat de plantes.



Fig. 22. *Lasius niger* aprofitant-se d'*Aphis fabae*.



Fig. 23. Formigues *Lasius niger* tenint cura dels pugons.



Fig. 24. Exemplars d'*Aphis nerii*.



Fig. 25. Colònia d'*Aphis nerii* en un baladre.

Però també cal destacar altres simbiosis com la que estableix el pugó de l'espècie *Aphis nerii* (pugó del baladre) amb diferents tipus de formigues, ja que es creu que no hi ha una espècie que senti una predilecció especial per aquest pugó.

3.3.2- Procés (Com estableixen la simbiosi)

Quan una formiga obrera que surt del niu per buscar aliment es troba amb una colònia de pugons establerta sobre una planta, inspecciona primer la colònia de pugons i després torna corrents al niu per donar l'alarma. Aleshores un grup d'obreres guiat per la que ha



Fig. 26. Formiga estimulando la secreció de melassa d'un pugó.

descobert els pugons es desplaça fins a la planta i és aquí on comença la simbiosi entre una espècie i l'altra. Si ens apropem a un tros de la planta que estigui infectat per pugons veurem que per sobre dels pugons les formigues van amunt i avall parant-se de tant en tant sobre un pugó per absorbir la gota de melassa que aquest excreta i que la formiga absorbeix amb el seu aparell bucal xuclador. Sempre s'ha dit que els pugons eren el ramat de les formigues i veient aquest comportament la metàfora és bastant acertada. Tal i com passa amb un granger o amb un pastor, les formigues volen que els pugons amb els que han establert la simbiosi produeixin la màxima quantitat de melassa possible i en el menor temps possible de manera que arriben a convertir els pugons en la seva propietat i en veritables esclaus. És habitual veure com, quan els pugons no excreten en un moment determinat suficient melassa, les formigues activen o estimulen els pugons per a que defequin aquesta substància. Això ho fan donant petits cops repetits amb les antenes al dors dels pugons, l'extrem de l'abdomen, i s'ha vist que realment això funciona ja que gairebé a l'instant apareix pel conducte excretor del pugó una gota de melassa que la formiga xucla ràpidament.

D'aquesta manera la colònia de formigues té una font d'energia excel·lent que no es mou i per que tot continuï així les formigues tenen una sèrie de mecanismes que assegurin la supervivència i el creixement de la colònia de pugons de la qual estan obtenint beneficis. Per una banda les formigues desplacen les femelles àpteres de la colònia a parts de la planta més verdes, els nous brots, que són molt rics en saba elaborada i on poden extraure molta saba i per tant produir més melassa. Si una zona de la planta està molt massificada, és a dir, presenta una gran quantitat de pugons, les

formigues transporten a unes quantes femelles àpteres a noves plantes no colonitzades pels pugons i per tant, on la densitat dels seus congèneres és menor. S'han detectat casos que criden molt l'atenció de formigues que han amputat les ales del pugons alats de la colònia per evitar que marxessin i mantenir així la població per seguir obtenint

melassa.



Fig. 27. Formiga absorbint melassa d'un pugó.

Algunes espècies de formigues que presenten una dieta gairebé exclusiva de melassa transporten pugons al seu niu on els proporcionen aliment per a que continuïn produint melassa i fins i tot arriben a guardar els ous que ponen el pugons durant tot l'hivern al seu niu. Com a conseqüència

d'aquests serveis biològics dels que les formigues proveeixen als pugons, aquests incrementen la seva taxa d'alimentació i de reproducció permetent així el creixement de la població.¹

Pel que fa als àfids o pugons, el benefici que obtenen d'aquesta relació no és tan obvi. Les formigues pel seu propi interès estimulen el creixement i la supervivència de la colònia de pugons. En aquest benefici dels pugons però, hi ha un fet que no està del tot clar i que és motiu de controvèrsia, i és el fet que les formigues defensin a la colònia de possibles depredadors. Moltes vegades es diu que si apareix un depredador dels pugons com pot ser una marieta típica (*Coccinella septempunctata*) les formigues que estan sobre la colònia alimentant-se fan fora el depredador, en aquest cas la marieta, per evitar que acabi amb la seva font d'aliment. Per altra banda també és cert que s'ha vist circular prop dels pugons altres insectes que en són depredadors (coleòpters,



Fig. 28. Colònia de *Lasius niger* amb una marieta, depredadora de pugons.

¹Aquest fet s'ha estudiat en alguns experiments que comentaré més tard i és precisament el que jo volia provar realitzant el primer experiment que vaig dissenyar.

coccinèl·lids, etc.) sense que les formigues es moguin per a defensar-los.



Fig. 29. Formigues controlant una colònia de pugons.

Una possible hipòtesi a aquest fet seria que la defensa de les formigues a la seva colònia d'áfids depèn directament de com és d'estreta la relació, però és una qüestió que no ha estat molt estudiada per tant és millor esperar a que es comprovi. S'ha

comprovat que la melassa dels pugons que no són atesos per formigues és de menor qualitat que la melassa que produeixen quan són atesos per formigues, per tant es creu que podria haver-hi un esforç per part dels pugons per produir melassa de millor qualitat i atraure així més formigues. Cal tenir en compte que hi ha diferents tipus de simbiosi segons quines siguin les espècies d'áfids i formigues implicades i que per tant aquests beneficis o serveis ecològics que per exemple aporten les formigues als àfids variaran d'una simbiosi a una altra. I això té a veure amb l'alimentació de les formigues; si una espècie de formiga presenta altres ingressos d'aliment a part de la melassa dels pugons com poden ser llavors o nèctar de les flors, no lluitarà tant per mantenir la colònia de pugons en les millors condicions ni farà cura dels ous d'aquesta sinó que simplement s'aprofitarà d'aquesta fins que desaparegui sense fer res per que es mantingui a la planta.



Fig. 30. Colònia de formigues cuidant els pugons amb què s'associen.

En canvi espècies com *Lasius niger* o *Camponotus foreli* que s'alimenten gairebé exclusivament de la secreció d'aquests insectes faran tot el possible per poder explotar la colònia de pugons el màxim

temps possible , beneficiant així els pugons pel seu interès i constituint una relació simbiòtica molt més estreta. Però fora d'exemples concrets, la majoria de relacions entre pugons i formigues presenten les característiques generals esmentades anteriorment.

3.3.3- Experiències realitzades per estudiar aquesta simbiosi

Tot i que aquest tema no està molt estudiat s'han realitzat alguns experiments per estudiar la relació entre formigues i pugons.

-A la UAB van realitzar un experiment que pretenia determinar si la influència de les formigues sobre els pugons és negativa o positiva. Volien veure si les formigues a part d'aprofitar-se dels àfids afavorien el creixement de la colònia i els defensaven dels seus altres depredadors. Van realitzar l'estudi durant 5 anys en un camp de mandariners situat a Tarragona. Van dividir els arbres en dos grups; un grup el formaven arbres que presentaven pugons i un folre de pega al tronc que impedia que hi poguessin pujar formigues. L'altre grup d'arbres era el grup control, en aquests arbres les formigues podien pujar per anar a veure els pugons. Durant aquests 5 anys es va anar fent recompte de la quantitat de pugons que hi havia als arbres. La hipòtesi que van



Fig. 31. Muntatge de l'experiment realitzat per la UAB.

plantejar i per tant els resultats que esperaven obtenir era que als arbres on hi havia formigues hi hauria més pugons que als arbres on no podien pujar-hi les formigues perquè en aquests darrers les formigues no afavoririen el creixement de la colònia de pugons. Els resultats que van obtenir, però, els van sorprendre bastant. En els arbres on no hi havia formigues hi havia més quantitat de pugó que en els arbres en què hi havia formigues. Ràpidament es van adonar que això era a causa de què no havien tingut en compte que al posar-hi pega als troncs dels arbres no només impedia que hi poguessin pujar les formigues sinó també depredadors naturals dels pugons com les tisorettes, de manera que en aquells arbres els pugons havien pogut proliferar al seu aire sense que cap depredador aturés el creixement de la població. Això es va comprovar analitzant el

contingut estomacal de les tisoretetes en l'època en què són presents els pugons i es va observar que hi havia restes de pugons confirmant que l'absència de tisoretetes (que eviten el desenvolupament de la població de pugons capturant les primeres femelles fundadores) als arbres havia estat la causant dels resultats que es van obtenir.

-L'estiu de 1957 uns investigadors van realitzar una experiència treballant amb radioactivitat per demostrar que l'augment de l'excreció i del creixement d'una població d'*Aphis fabae* eren causats per l'estimulació d'una colònia de *Lasius niger*. Analitzant la quantitat d'**isòtops** radioactius de la melassa dels pugons que no havien estat atesos per *Lasius niger* i la dels que si que havien estat atesos els va permetre arribar a la conclusió que efectivament la presència d'una colònia de formigues (*Lasius niger*) sobre una població de pugons estimula la producció de melassa d'aquesta població. Els pugons poden regular la quantitat de saba que assimilen amb una bomba de succió que tenen al cap que en una picada normal sol estar tancada però s'obre regularment per anar fent entrar més saba. Quan els pugons es troben pressionats per les formigues afamades obren aquesta bomba amb molta més freqüència absorbint més saba i a un ritme més alt del que ho farien en una picada sense que les formigues els pressionessin.

-Un altre experiment que em va cridar l'atenció va ser un que intentava esbrinar si les formigues, concretament l'espècie *Lasius niger*, castigava als pugons quan secretaven una melassa de baixa qualitat. El que l'experimentador esperava observar era que la colònia que s'alimentava de melassa de mala qualitat deixés de defensar o fins i tot mutilés i mengés els pugons que la produïen. Els resultats però no van ser aquests sinó que no va observar cap diferència remarcable en el comportament d'ambdues colònies de formigues.

L'especificitat entre *Lasius niger* i *Aphis fabae* és una de les més estudiades com hem vist en aquests experiments, i tot i que es pensa que pugons i formigues no presenten entre ells una gran especificitat sinó més bé una preferència, això no ha estat gaire estudiat.²

²Un dels científics de la UAB amb què vaig mantenir contacte, aquest estiu es disposava a fer un experiment a nivell de camp a Alemanya que justament tractava sobre aquest tema.

4-DISSENY EXPERIMENTAL

4.1-INTRODUCCIÓ

En principi vaig enfocar la part pràctica del treball en l'estudi de la relació entre pugons i formigues. Vaig dissenyar un experiment que permetia observar quina influència tenia la presència o absència de formigues en una colònia de pugons. Aquest experiment implicava la manipulació de pugons; traspasar-los a plantes, mantenir-los en elles, etc, i els pugons són insectes molt petits complicats de manipular i per això tot i els diversos intents que vaig fer per mantenir la colònia no ho vaig aconseguir. Aquest experiment que no va tirar endavant l'he explicat en un dels annexos d'aquest treball. Va ser aleshores quan em vaig veure obligat a pensar en una altra experiència per estudiar la relació entre els pugons i les formigues (*Lasius niger*) des d'un altre punt de vista. Aquesta vegada havia de pensar en una experiència que representés els pugons sense ser-hi ja que a més de ser molt difícils de manipular ja havia arribat la tardor i en aquesta època els pugons emigren als troncs i les arrels dels arbres per hibernar. En aquesta segona experiència que vaig dissenyar estudiava la simbiosi entre aquests insectes des d'un altre angle. Mentre en el primer experiment intentava estudiar la influència de les formigues en el pugons, un aspecte de la relació que ha estat poc estudiat i no està del tot clar, en aquesta nova experiència tenia com a objectiu estudiar la influència dels pugons en l'alimentació de les formigues.

4.2-PREGUNTA O PROBLEMA

Tot disseny experimental parteix d'un problema al qual es vol trobar resposta. En el meu cas el problema que vull estudiar és si l'absència de pugons en l'alimentació de les formigues té efectes negatius o no sobre aquestes. Però com els pugons són difícils de trobar i manipular he posat directament al formiguer l'aliment que les formigues agafen dels pugons. Hi he posat mel que simularà la melassa produïda pels pugons, de manera que el problema queda formulat així:

L'absència de mel (absència de pugons) disminueix o atura el creixement de la colònia?

4.3-HIPÒTESI

La hipòtesi que he formulat per donar resposta al problema plantejat és la següent: *L'absència de mel en l'alimentació d'una colònia de Lasiusniger afectarà el creixement de la colònia que es veurà minvat o aturat.*

He formulat aquesta hipòtesi pel fet de saber que tots els éssers vius necessiten glúcids per obtenir energia i funcionar correctament, l'absència d'aquests crea un desajust en el metabolisme dels organismes ja que han d'obtenir energia utilitzant altres substàncies com lípids o proteïnes que són més difícils de degradar i generen més residus. De manera que tenint en compte això els resultats que espero obtenir són que la colònia que tenia glúcids es desenvolupi i creixi amb normalitat i la colònia que no tenia glúcids aturi el seu creixement i fins i tot amb el pas del temps decreixi en nombre d'individus.

4.4-DISSENY EXPERIMENTAL

Pel que fa al meu experiment la variable independent, que varia d'una colònia de *Lasius niger* a l'altra són els glúcids, aportats a través de la mel. Aquesta mel simula els pugons ja que parteixo de l'afirmació que tot o gairebé tot l'aliment glucídic que obtenen les formigues l'obtenen a través de la melassa dels pugons.

La variable dependent és el creixement de la colònia (nombre d'ous i individus). Durant l'experiment he anat fent recompte de nous ous i individus de manera que estudiaré com afecta la presència o no de mel (v. independent) respecte el nombre de nous individus és a dir el creixement de la colònia (v. dependent). Totes la altres variables que no són la independent ni la dependent les he mantingut constants en ambdues colònies, com per exemple la temperatura, la humitat, la llum, l'aliment proteic, etc.

Materials:

-Dues colònies de *Lasius niger* amb aproximadament el mateix nombre d'obres.



Fig. 32. Tub d'assaig amb colònia de *Lasius niger*.

-Dos formiguers acrílics de 20x20x1 cm.



Fig. 33. Formiguer acrílic.

-Dues capses de sabates pintades de negre per l'interior de més o menys la mateixa mida.



Fig. 34. Capses de sabates.

-Cotó humit.

-Solució de clara d'ou (rica en ovoalbúmina).

-Solució de mel.



Fig. 35. Aliment per les formigues.

Procediment: Per iniciar l'experiment vaig partir de dues capses de sabates de més o menys la mateixa mida l'interior de les quals vaig pintar de negre per evitar al màxim l'absorció de llum i simular la foscor en què habiten les formigues sota terra als formiguers. Pel que fa a la temperatura he mantingut ambdues capses a la meva habitació sempre en el mateix lloc, amb una temperatura més o menys constant i sobre una manta per evitar que la temperatura disminuís excessivament donat que ja havia arribat la tardor.



Fig. 36. Capses de sabates pintades de negre a l'interior.

Vaig posar els dos tubs d'assaig on venien les colònies de formigues cadascun en un dels dos formiguers amb l'esperança que les colònies s'establirien en algun compartiment del formiguer però cap de les dues ho va fer i van seguir al tub d'assaig durant tota l'experiència. Aquest fet però, no m'ha endarrerit ni causat problemes ja que com cap de les dues colònies s'ha mudat s'han mantingut en les mateixes condicions i l'únic inconvenient ha estat que a l'hora de fer recompte d'individus era una mica més pesat però res més. Una vegada estava tot muntat i llest vaig revisar que totes les demés variables es mantinguessin realment constants en ambdós grups de formigues i vaig iniciar l'experiència. Per fer-ho necessitava com he esmentat als materials una solució de mel i una solució de clara d'ou, molt rica en ovoalbúmina. La variable independent en aquest experiment és l'aliment ensucrat de manera que la colònia A ha seguit una dieta proteica i glucídica (mel i ovoalbúmina) mentre que la colònia B ha seguit una dieta exclusivament proteica (ovoalbúmina). A l'iniciar l'experiment vaig establir que les alimentaria cada 5 dies aproximadament ja que els experts recomanen alimentar-les entre 1 i 2 vegades per setmana. Quan tocava alimentar-les diluïa mel amb una mica d'aigua així com una mica de clara d'ou també amb una mica d'aigua i tallava tres trossets petits de paper d'alumini. En dos d'ells hi posava una mica de la solució d'ovoalbúmina diluïda i en l'altre hi posava solució de mel diluïda. En la colònia A hi posava un tros amb ovoalbúmina i el tros amb mel, mentre que a la colònia B només hi posava un tros de paper d'alumini amb ovoalbúmina. Sempre les alimentava de nit i al matí següent quan m'aixecava i veia que ja no volien menjar més retirava els trossos de paper per evitar l'acumulació de microorganismes que possessin en perill la colònia i evitar també que algunes obreres morissin ofegades per deixar massa temps l'aliment. Quan vaig rebre les colònies vaig comptar el nombre d'individus de cada colònia i

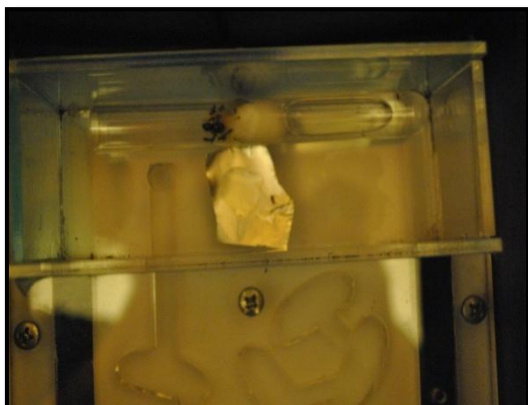


Fig. 37. Colònia B amb l'aportació proteica.



Fig. 38. Colònia A amb l'aportació proteica i glucídica

també vaig observar si la reina havia post ous o estava cuidant pupes, i en cas afirmatiu, vaig comptar quants ous i quantes pupes. Durant els 35 dies que ha durat l'experiència he observat cada dia les dues colònies i he fet recompte d'obreres, ous i pupes. De la mateixa manera que anotava els resultats del recompte anotava també les explicacions que jo proposava als fet més sorprenents o alarmants que observava.

Les formigues són insectes considerablement petits i tot i que he sigut molt curós hi ha hagut algunes pèrdues degudes a accidents amb la tapa del formiguer que venen indicats en els resultats.



Fig. 39. Colònia A.

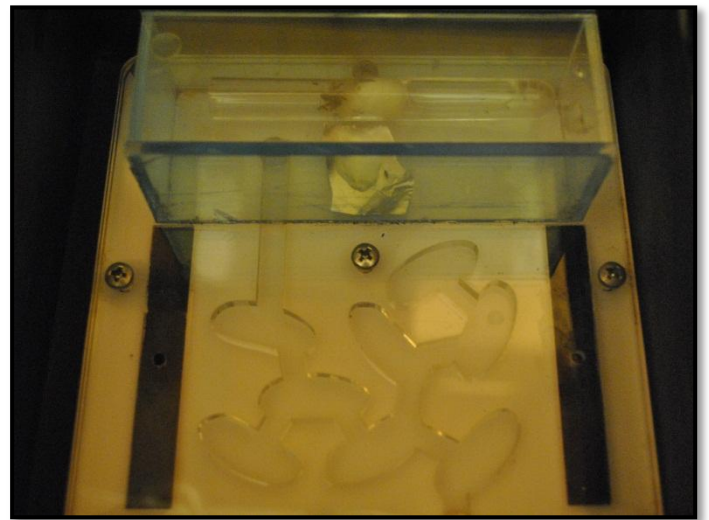


Fig. 40. Colònia B.

4.5- RESULTATS

Durant tota l'experiència, que es va allargar des del 28 d'octubre fins a l'1 de desembre, he anat prenent nota de les dues colònies i totes aquestes dades es poden resumir en la taula següent:

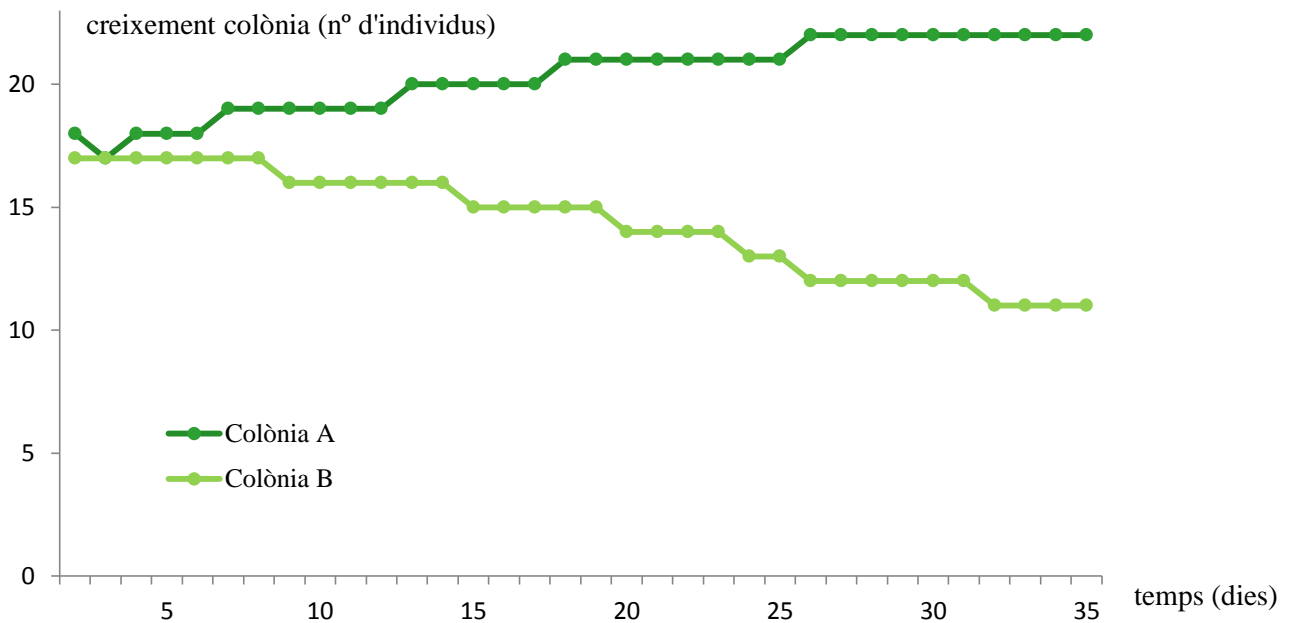
		Colònia A	Colònia B
28 Oct.	1	18 (5 ous, 4 pupes)	17 (1 ou)
	2	17	17
	3	17	17
	4	18	17
	5	18	17
	6	18	17
	7	19	17
	8	19	17
	9	19	16
	10	19	16
	11	19	16
	12	19	16
	13	20	16
	14	20	16
	15	20	15
	16	20	15
	17	20	15
14 Nov.	18	21 (10 ous, 3 pupes)	15 (1 ou)
	19	21	15
	20	21	14
	21	21	14
	22	21	14
	23	21	14
	24	21	13
	25	21	13
	26	22	12
	27	22	12
	28	22	12
	29	22	12
	30	22	12
	31	22	12
	32	22	11
	33	22	11
	34	22	11
1 Des.	35	22 (13 ous, 2 pupes)	11 (2 ous)

Taula 2. Resultats obtinguts de les observacions de les dues colònies.

***Dies que he alimentat les colònies.**

Veiem com la colònia A que ha disposat de mel i ovoalbúmina, una dieta rica en proteïnes i glúcids, ha anat creixent paulatinament en nombre d'individus a diferència de la colònia B, que no disposava de glúcids i ha anat perdent individus.

Podem plasmar l'evolució del nombre d'individus de les colònies respecte el temps en una gràfica molt senzilla que ens permetrà comparar el camí que ha seguit cada colònia i treure'n conclusions.



Gràfica 1. Evolució de les colònies A i B.

Les dues colònies es troben estables a l'inici de l'experiència però a mesura que avancen els dies es van diferenciant. La colònia A va augmentant a poc a poc el nombre d'individus tendint al creixement de la colònia i en la B es produeix l'efecte contrari, la colònia tendeix a reduir-se en nombre i per tant decreixer tal i com veiem en la representació gràfica.

Quan vaig rebre les colònies, la colònia A presentava 18 individus (obreres, no es compta la reina), 5 ous i una pupa. El primer dia aquesta colònia va tenir una pèrdua ja que una obrera va morir esclafada amb la tapa del formiguer per accident. Aquesta baixa però, va ser suplantada per una nova obrera que va aparèixer al quart dia de començar l'experiència que es diferenciava de les demés pel fet de tenir un to més clar.

Aquestes formigues que comencen a ser funcionals per la colònia s'anomenen nimfes i perden la tonalitat més clara amb el pas del temps. A partir d'aquí la colònia pateix un creixement continu de manera que en dues setmana ja presenta 3 individus més assolint els 21. Pel que fa al recompte d'ous observem que la reina de la colònia A ha post 7 ous (5 + 2 que s'han convertit en pupes) des de que va iniciar l'experiment demostrant que la dieta que segueix propicia la posta d'ous de la reina. Pel que fa a les pupes o larves, a la meitat de l'experiència presentava dues més que quan va començar i això es tradueix al fet que dos dels ous amb els quals partia la colònia A a l'iniciar l'experiment van esdevenir pupes al llarg de les primeres dues setmanes. Des d'aquest moment fins al final de l'experiència la colònia va guanyar un individu donant lloc als 22 individus finals, als 13 ous (3 dels quals els va posar en aquestes dues setmanes) i a dues pupes, una menys que a la meitat de l'experiment ja que una de les tres havia esdevingut nimfa.

Pel que fa a la colònia B va iniciar l'experiment amb 17 individus, un ou i cap pupa. La colònia es va mantenir estable fins al novè dia en què va perdre un individu, o bé per la manca de glúcids o bé per causes desconegudes. A partir d'aquí la colònia va començar a minvar perdent un individu més i arribant a la meitat de l'experiment amb 15 obreres i un ou, el mateix que portava al principi. D'aquí fins al final de l'experiment la colònia va patir un decreixement important, passant de 15 individus a 11 i presentant només un ou més. En la colònia B no hi ha presència al llarg de tot l'experiment de cap pupa, és a dir, cap ou ha continuat el seu desenvolupament normal molt probablement a causa de la manca de glúcids.

4.6- CONCLUSIONS

Partint de la pregunta plantejada i la hipòtesi proposada i vistos els resultats obtinguts podem arribar a una sèrie de conclusions:

L'absència de mel (glúcids) atura el creixement de la colònia. Efectivament es compleix la hipòtesi proposada a l'apartat anterior, però el creixement de la colònia no solament es veu aturat sinó que la colònia decreix, el nombre d'individus va disminuint fins que la colònia desapareix, cosa que no he vist al meu experiment però que es dedueix extrapolant a partir de la gràfica obtinguda. El fet que la colònia que tenia glúcids creixi i la que no en tenia decreixi demostra clarament la importància que tenen

els glúcids sobre el desenvolupament d'una colònia de formigues, per les quals aquest tipus d'aliment és imprescindible.

Tot i que està molt relacionat amb l'aparició de nous individus els ous i les pupes són un altre factor important a tenir en compte per a demostrar la validesa de la hipòtesi. Els ous són estructures que requereixen gran quantitat de substàncies de reserva que no poden assolir sense el glúcids. I es per això que la reina de la colònia B que no disposava de glúcids tan sols ha post un ou i cap ou dels que tenia ha donat lloc a una pupa, corroborant encara més aquesta dependència de les formigues respecte les substàncies ensucrades.

Com ja vaig comentar en apartats anteriors, la mel, la substància ensucrada, no fa més que representar els pugons, i amb aquesta experiència volia demostrar doncs quina importància tenen els pugons en el desenvolupament d'una colònia de formigues. Partint de la base que les formigues més "afidòfiles" obtenen tot l'aliment glucídic dels pugons i segons la conclusió a la que he arribat amb aquest experiment puc afirmar que tal i com ho és la mel, els pugons són imprescindibles per la supervivència i el desenvolupament d'una colònia de formigues. Sempre que parlem de formigues que s'alimenten de substàncies líquides com la melassa dels àfids o el nèctar ja que aquesta conclusió no seria aplicable a formigues granívores com *Messor barbarus* i es per això que l'experiment l'he realitzat amb colònies de *Lasius niger*.

5-CONCLUSIONS

Al llarg d'aquest treball he assolit tots els objectius que m'havia proposat a l'iniciar el treball.

Per una banda he observat i he conegut a fons la simbiosi que estableixen les formigues i pugons gràcies a que anant pel camp he trobat un gran nombre de colònies de pugons associats amb formigues. Quan trobava les colònies m'hi passava temps observant alhora que en prenia fotografies i gravacions amb vídeo.

Alguns dels objectius però, han variat a mida que avançava el treball; mentre al principi volia estudiar la influència de les formigues en una colònia de pugons, la impossibilitat de realitzar el muntatge manipulant pugons va fer que l'objectiu passés a ser realitzar un muntatge per estudiar la influència dels pugons en les formigues.

La part positiva d'aquest fet és que em va permetre complir un altre objectiu de manera contundent, aprendre a realitzar un treball de camp. Durant tot el treball he preparat i muntat dos dissenys experimentals que han permès introduir-me en el món de l'experimentació científica seguint el model del mètode científic amb tots els aspectes que aquest comporta (anàlisi dels resultats, obtenció de conclusions, etc). Si bé m'he trobat amb algunes dificultats a l'hora de trobar informació, han sigut anecdòtiques, les veritables dificultats les vaig tenir al realitzar el primer experiment que es va complicar bastant.

Aquest treball a més d'endinsar-me en la metodologia científica, com he comentat anteriorment, m'ha ajudat a entendre que no tot són els resultats impressionants o l'èxit absolut sinó que és molt important el procés que es segueix i tot el que s'hi aprèn. Si per exemple un experiment falla, aprendre dels errors comesos és el camí correcte per finalment sortir-se'n.

6-GLOSSARI

Partenogènesi: Generació de nous individus a partir d'un gàmeta femení (òvul) sense fecundar.

Llum polaritzada: Llum en què les seves ones lumíniques vibren en un sol pla de l'espai, a diferència de la no polaritzada en què vibren perpendicularment i transversal.

Àpteres: Espècies que no presenten ales.

Amfigònica: Reproducció o generació sexual.

Paràsits socials: Paràsits que treuen profit de les interaccions entre membres d'organismes socials com les formigues o els tèrmits.

Polífaq: Que es nodreix de qualsevol tipus d'aliment.

Fitovirus: Virus que parasiten organismes vegetals.

Oligosacàrids: Biomolècules glucídiques formades per la unió de pocs monosacàrids.

Isòtops: Àtoms d'un mateix element que presenten diferent massa.

BIBLIOGRAFIA

- **Llibres**

-ENCICLOPÈDIA CATALANA: Història Natural dels Països Catalans. “Artròpodes II”. Barcelona: Enciclopèdia Catalana, 1987.

-GOETSCH, Wilhelm: La vida social de las hormigas. “Punto Omega”. Cerdanyola: Ed. Labor, 1987. Pàgs. 94-103

- **Bibliografia electrònica i web**

-INSTITUT CAVANILLES DE BIODIVERSITAT I BIOLOGIA EVOLUTIVA: “Genòmica del pulgón” www.uv.es/rvgp/2reunion/PULGON.PDF.

-PARIS, Carolina: “La pasión de las hormigas por *Lachnusroboris*”. www.mirmiberica.org/node/196.

-“Ficha de cría de *Lasiusniger*”. www.lamarabunta.org/viewtopic.php?f=18&t=17480. 24 de des., 2009

ANNEX

DIARI DE RECERCA

Com he anat esmentant al llarg de la memòria escrita la meva voluntat al començament no era realitzar l'experiment que he acabat realitzant. Al principi per estudiar la influència de les formigues en una colònia de pugons vaig dissenyar un experiment que per diversos motius no em va servir per arribar a enlloc. Ordenant cronològicament els fets o processos més importants del treball obtenim una mena de diari de recerca:

Principis de juliol

Per comprovar aquesta influència vaig dissenyar un experiment que requeria dues colònies de pugons (cadascuna establerta en una planta de la mateixa espècie), dos espais on mantenir cadascuna de les plantes i una colònia de formigues. L'experiment consistia en que una de les plantes tindria formigues i l'altra no, de manera que observant i prenent nota del creixement d'ambdues colònies de pugons podria concloure quina influència tenen les formigues en una colònia de pugons.

L'espai on havien d'anar les plantes havia de ser un espai tancat perquè no s'escapessin ni formigues ni pugons, però alhora havia de deixar passar l'aire perquè no morís la planta. Aleshores vaig dissenyar i construir amb l'ajuda del meu pare dues maquetes que complien aquests requisits. Per muntar els terraris vam partir de dues Lantanes, plantes que segons ens van dir a un "garden" eren propenses a infectar-se de pugons. El muntatge dels terraris s'esquematitza fàcilment amb les següents imatges:



Fig. 1. Agafem una làmina de fusta per iniciar el muntatge.



Fig. 2. Mesurem el tros que hem de tallar utilitzant la planta i el formiguer.



Fig. 4. Realitzem un orifici per la planta.



Fig. 3. Fabriquem la base del terrari.



Fig. 5. Muntem les quatre parets, una de les quals serà ventilada.



Fig. 6. Acabem les parets i fabriquem la tapa que també serà ventilada.

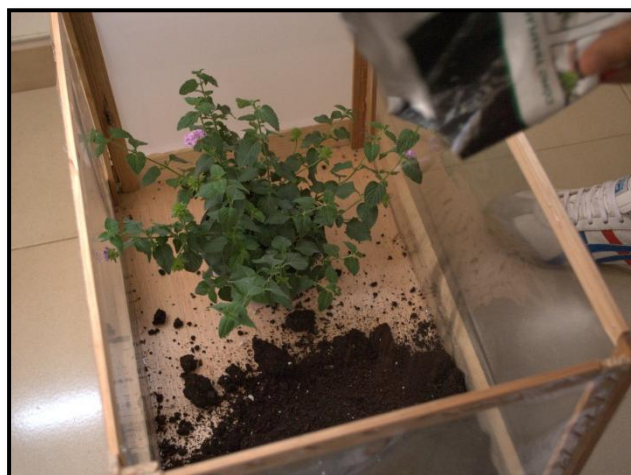


Fig. 7. Omplim el terrari de terra per simular l'hàbitat d'ambdues espècies.

Una vegada vaig tenir els dos muntatges fets calia infectar les dues plantes amb dues colònies de pugons d'aproximadament igual nombre d'individus. Per fer-ho vaig anar al camp a arrencar uns trossos de planta infectats per un pugó de color negre i els vaig posar sobre les plantes Lantana. Al cap d'uns dies els pugons no havien infectat les lantanes i vaig suposar que no serien propenses a infectar-se o que al pugó no li agradava aquesta planta. L'experiment va continuar endavant ja que només em calia trobar un parell de plantes d'una altra espècie que s'infectessin pel pugó i els terraris només calia adaptar-los als nous testos. Aquest però, va ser el punt feble de l'experiment; aconseguir infectar una planta per pugons.

Mitjans de juliol

Una vegada vaig veure que amb les lantanes era impossible ho vaig provar amb dos rosers. Amb aquests tenia més esperances perquè a la primavera havia vist rosers amb pugons. Vaig posar-hi fragments de planta amb pugons però tot i que en aquestes hi van aguantar més, al final van desaparèixer.



Fig. 8. Roser amb pugons.



Fig. 9. Roser infectat per pugons.

Més tard ho vaig provar amb unes petúnies que s'infectaven d'un pugó de color verd. Com no disposava d'aquests pugons vaig esperar que proliferessin el pocs que portaven però la colònia no va tirar endavant i va ser aleshores quan ho vaig provar amb dos hibiscos que fins aquell moment van ser els que més van aguantar amb pugons.



Fig. 10. Hibisc infectat per pugons negres.



Fig. 11. Hibisc amb un tros d'acàcia infectat per pugons.

El que observava era que alguns pugons quedaven morts a la part superior de la fulla i que altres marxaven tija avall. La meua suposició és que això era causat pel fet que els pugons no podien xuclar la saba de la planta degut a la duresa de les fulles que feia que no les poguessin perforar.



Fig. 12. Pugó avançant per una fulla d'hibisc.



Fig. 13. Pugó en el procés de picada a la planta.

Agost

Ja havia passat tot el juliol i l'experiment seguia estancat. A principis d'agost vaig marxar al poble de vacances on em vaig dedicar a buscar grups de pugons amb formigues per fotografiar-los i observar-los. De totes les observacions al camp en vaig treure algunes fotografies interessants com aquestes:



Fig. 14. Tija de planta infectada per pugons negres.



Fig. 15. Heura infectada per pugons i un depredador de pugons avançant per la tija.



Fig. 16. Pugons infectant una fulla d'heura.



Fig. 17. Marieta alimentant-se de pugons negres.



Fig. 18. Pugons amb formigues associades i una marieta.



Fig. 19. Pugons associats amb formigues.

En finalitzar l'agost quan encara era al poble vaig trobar uns quants alfals silvestres que estaven infectats per un pugó negre. Els vaig trasplantar a dos testos però van morir durant el camí de tornada a Barcelona.

Setembre

Em vaig trobar doncs al setembre amb la part pràctica estancada i amb el treball per entregar tres mesos després. Va ser doncs quan vaig realitzar un últim intent basant-me en els pugons que infecten els baladres, uns pugons que presenten un característic color groc. Vaig comprar dos baladres petits i els vaig posar pugons que havia recollit de baladres d'arreu de Barcelona. Aquests van infectar les dues plantes ràpidament i semblava que s'hi havien establert completament.



Fig. 20. Formiguer al terrari amb baladre infectat d'*Aphis nerii*.



Fig. 21. Fulla de baladre infectada per *Aphis nerii*.

Vaig posar al terrari el formiguer amb una colònia de *Lasius niger* amb la tapa oberta per a que sortissin i establissin la simbiosi amb els pugons del baladre. El problema va ser que les formigues es van entretenir a omplir el formiguer acrílic amb la terra del terrari i durant tot aquest temps la colònia de pugons no va aconseguir establir-se definitivament i els pugons es van dispersar.

Va ser llavors quan vaig donar per perdut aquest experiment i un cop havent parlat amb la tutora del treball vaig dissenyar el nou experiment que ve reflectit al cos del treball.

Pel que fa als pugons del baladre també vaig observar-los i vaig prendre algunes fotografies com aquestes:



Fig. 22 . Formigues cuidant *Aphis nerii*.



Fig. 23. Formigues pujant i baixant sobre la colòniad'*Aphis nerii*.



Fig. 24. *Aphis nerii* infectant un brot tendre de baladre.



Fig. 25. *Lygaeus* sp, depredador natural de pugonsalimentant-se'n.



Fig 26. *Coccinella septempunctata* alimentant-se d'*Aphis nerii*.