



Universitat
de les Illes Balears

TREBALL DE FI DE GRAU

COMPARACIÓ DEL CULTIU MIXT ORDI- LLEGUMINOSA AMB EL MONOCULTIU D'ORDI EN CONDICIONS DE CAMP: EFECTES FISIOLÒGICS I BIOQUÍMICS.

Marina Pérez Pascual

Grau de: Bioquímica

Facultat de: Ciències

Any acadèmic 2020-21

COMPARACIÓ DEL CULTIU MIXT D'ORDI-LLEGUMINOSA AMB EL MONOCULTIU D'ORDI EN CONDICIONS DE CAMP: EFECTES FISIOLÒGICS I BIOQUÍMICS.

Marina Pérez Pascual

Treball de Fi de Grau

Facultat de: Ciències

Universitat de les Illes Balears

Any acadèmic 2020-21

Paraules clau del treball:

Monocultiu, associació cereal-lleguminosa, ordi, veça, favó

Catalina Cabot Bibiloni

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

Resum

El model de sistema agrari dominant, basat en la producció intensiva de monocultius altament dependents d'inputs agrícoles, és altament insostenible i, alhora, vulnerable front el canvi climàtic. Per tal de transitar cap a models més resilients, és important augmentar els serveis ecosistèmics que proveeixen els cultius al conjunt de l'agroecosistema. En aquest estudi es planteja com a possible estratègia el cultiu d'associacions, concretament, tres basades en la combinació cereal·lleguminosa: ordi amb veça (AOV), favó (AOF) i amb ambdues espècies (AOVF). Per tal d'analitzar la influència de les tres s'han comparat amb parcel·les de monocultiu d'ordi (MO) i s'han determinat diversos efectes fisiològics (seguiment de la longitud, biomassa humida i seca) i bioquímics (clorofil·la a i b, juntament amb els carotenoides) en mostres d'ordi procedents dels cultius mixts i del MO. Els resultats d'AOV han mostrat diferències estadísticament significatives respecte a MO en tots els paràmetres – exceptuant els carotenoides –, assenyalant el seu possible potencial per millorar el desenvolupament vegetal de l'ordi. D'altra banda, AOF i AOVF malgrat que també han mostrat diferències estadísticament significatives respecte a la longitud, la clorofil·la a i la biomassa humida, no sobre la biomassa seca ni la resta de pigments; el que suggereix que la seva influència sobre el desenvolupament vegetal de l'ordi sigui més subtil, però que podria facilitar la captació de recursos hídrics. Per tant, aquestes primeres dades són prometedores respecte a l'aprovisionament de nous serveis ecosistèmics mitjançant sistemes de cultius basats en les associacions esmentades i, al seu torn, adverteixen de la importància de seleccionar correctament els sistemes de cultiu en funció de les necessitats.

Índex

INTRODUCCIÓ	1
OBJECTIUS	5
MATERIALS I MÈTODES	5
Material vegetal	5
Disseny experimental.....	5
Condicions ambientals.....	6
Mesures de seguiment del creixement de l'ordi.....	6
Biomassa humida corregida i biomassa seca.....	7
Extracció i quantificació dels pigments fotosintètics	8
Extracció i quantificació de la proteïna del gra d'ordi.....	8
RESULTATS	9
Condicions ambientals.....	9
Mesures de seguiment del creixement de l'ordi.....	10
Biomassa humida corregida i biomassa seca.....	11
Concentració dels pigments fotosintètics de la quarta fulla	12
Concentració de proteïna del gra d'ordi.....	13
DISCUSSIÓ	14
CONCLUSIONS	19
BIBLIOGRAFIA	21

INTRODUCCIÓ

Els *sistemes alimentaris* inclouen diversos elements i activitats relacionades amb la producció, l'elaboració, la distribució, la preparació i el consum d'aliments, així com els fruits d'aquestes activitats, com els resultats socioeconòmics i ambientals (HLPE, 2020). Concretament, en aquest treball s'empra el concepte *sistema agrícola* per fer referència a la manera en què es desenvolupa i s'organitza la producció dels aliments, entenent que aquesta està influenciada per la resta d'elements i activitats del sistema alimentari.

Dins del marc del sistema agrari hegemònic, el territori de cultiu s'aprecia com una oportunitat per explotar els seus recursos amb la finalitat de produir aliments. No obstant, aquest treball situa el focus en l'*agroecosistema*, és a dir, un ecosistema sotmès a pràctiques de gestió agrícola (Porazinska & Wall, 2013), apreciament que consisteixen en sistemes complexos als quals interactuen moltes espècies i s'esdevenen processos ecològics a diferents escales espacials, amb notables interaccions entre els processos ecològics i els de gestió (Tixier, et al., 2013). Per tant, també s'assumeix que en funció de la pròpia gestió, les pràctiques agrícoles poden induir impactes negatius – com la degradació del sòl o de la qualitat de l'aigua – que disminueixen els serveis ecosistèmics i viceversa, tenir impactes positius potenciant i/o creant serveis ecosistèmics.

Actualment, els eixos vertebradors del model de sistema alimentari imperant accentuen, al seu torn, la crisi ecosocial. Cal destacar, entre d'altres, el caràcter globalitzat de la cadena alimentària, la producció intensiva basada en monocultius altament dependents d'inputs agrícoles (p. ex. fertilitzants, pesticides i herbicides), la interrelació entre la indústria agrícola i la càrnia i, per últim, associat a tots els factors anteriors, la destrucció dels ecosistemes – ja que la producció d'aliments es responsable d'un 80% de la desforestació (United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), 2017) – per respondre a una creixent demanda. Així mateix, aquests fenòmens promouen la pèrdua massiva de biodiversitat, el canvi climàtic i la inseguretad alimentària, especialment a les regions del Sud Global sotmeses a significants pressions mercantils i ecològiques.

Segons es recull a l'informe elaborat per l'IPBES (*Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*) sobre biodiversitat i pandèmies:

L'augment de la demanda de consum de carn i el comerç mundial d'aliments generen un risc de pandèmia a través del canvi d'ús del sòl i del canvi climàtic. L'augment de la demanda de carn, sobretot als països *desenvolupats* i a les economies emergents, ha continuat reforçant un sistema globalitzat i insostenible de producció intensiva que posa en perill la biodiversitat mitjançant diversos mecanismes (p. ex. canvis d'ús del sòl, eutrofització) i que contribueix al canvi climàtic. Per exemple, la demanda mundial de carn ha conduït de manera indirecta i directa a la desforestació, la degradació dels boscos i l'expansió de les pastures al Brasil i altres parts de l'Amazònia (Daszak, 2020).

Concretament, pel que fa a les pràctiques de l'agricultura convencional actual, els seus impactes són altament insostenibles, molts dels quals estan relacionats amb una especialització agrícola – manifestada, per exemple, com a monocultius – amb la conseqüent simplificació de l'agroecosistema (Rosati, Borek, & Canali, 2021). L'estreta base genètica dels monocultius crea les condicions ideals per al desenvolupament d'espècies no desitjades i l'atac per part de múltiples invertebrats, plagues i malalties fúngiques que la majoria d'agricultors/es controlen emprant pesticides (United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), 2017). D'aquesta manera es retroalimenta positivament la instauració d'un sistema agrari insostenible.

Mentre que es prediu que, l'any 2025, 1800 milions de persones experimentaran una situació d'escassetat absoluta d'aigua i que 2/3 del món viuran en condicions d'estrès hídric (United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), sense data), l'agricultura és el principal motor d'escassetat hídrica a escala mundial. De fet, actualment, la producció d'aliments representa el 70% de les extraccions d'aigua en el món, sent l'agricultura intensiva basada en monocultius la que generalment empra més aigua (United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), 2017).

A més a més, la disminució del nombre d'espècies vegetals amb diferents sistemes d'arrels, de la quantitat i la qualitat de residus o del contingut de matèria orgànica del sòl, limita la varietat d'hàbitats i aliments pels organismes del sòl. Aquests són essencials pel que fa als cicles de nutrients, la regulació de la dinàmica de la matèria orgànica del sòl, la captació de carboni i d'emissions de gasos d'efecte hivernacle, la modificació de l'estructura del sòl i dels règims hídrics, l'augment del volum i l'eficiència de l'absorció de nutrients per la vegetació mitjançant relacions mútuament beneficioses que, amb tot, milloren la salut vegetal. Per tant, una xarxa tròfica edàfica caracteritzada per una biodiversitat elevada està inexorablement lligada a una major resiliència (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2015) i

viceversa. Si bé els inputs externs, especialment fertilitzants inorgànics i plaguicides, poden mitigar algunes de les limitacions dels sòls per la producció de cultius en el present immediat, només són solucions parcials i, per tant, incapaces de substituir completament els serveis ecosistèmics de la xarxa edàfica tròfica.

Més encara, no només es tracta d'una qüestió de què no puguin substituir tots els serveis ecosistèmics, sinó que a més els seus impactes ecològics directes són altament nocius. Entrant en detall en torn als fertilitzants, al llarg de les últimes dècades el seu ús – principalment els d'origen sintètic – ha contribuït a augmentar la productivitat i els ingressos agrícoles (HLPE, 2019), garantint la disponibilitat i l'accés als aliments, dues de les dimensions de la seguretat alimentària (HLPE, 2020). No obstant, alhora han contaminat l'aire, el sòl i, especialment, les aigües superficials i subterrànies, incloses les conques costaneres i marines, provocant la proliferació d'algues tòxiques i la mort de zones aquàtiques - (HLPE, 2019), sent una de les causes principals de casos tan dramàtics com el del Mar Menor (Ruiz Fernández, et al., 2020). Llavors, també són una amenaça per altres de les dimensions de la seguretat alimentària com són la utilització, l'estabilitat i la sostenibilitat. Per tant, com que totes les dimensions són interdependents, des d'una perspectiva holística, l'ús excessiu de fertilitzants és un factor de risc per la seguretat alimentària. En el marc d'una transició ecosocial justa, és imprescindible investigar estratègies per reduir els seus nivells.

En contraposició, a un dels informes més recents elaborat pel *High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition* s'identifiquen els sistemes de policultiu diversificats com a potencialment més eficients que els monocultius, en tant que suprimeixen les herbes adventícies – gràcies a l'ocupació optimitzada de l'espai de cultiu disponible –, disminueixen les pèrdues derivades de plagues o malalties i, si s'aprofita l'especialització i la diferenciació de nínxols, poden fer un ús més eficient de l'aigua i la llum perquè presentarien diferents perfils de captura de recursos (HLPE, 2019).

A escala autonòmica i en relació a aquest treball, cal destacar tres de les recomanacions del Laboratori Interdisciplinari sobre Canvi Climàtic de la UIB: diversificar l'economia de les Illes Balears, actualment basada en el turisme; reduir la dependència de productes de l'exterior juntament amb la necessitat d'adaptar l'agricultura de l'arxipèlag al canvi climàtic tenint en compte les amenaces clau com la reducció i contaminació dels recursos hídrics, la mineralització del sòl i el cultiu

d'espècies vulnerables al canvi climàtic (Jordà, et al.). Llavors, apostar per impulsar un sector agrícola basat en pràctiques regeneratives seria una estratègia que permetria respondre a aquests tres aspectes.

La diversificació dels cultius amb llegums es tracta d'una pràctica tradicional en múltiples contextos geogràfics (Brooker, Benett, Cong, & Daniell, 2015) que integra diversos principis de l'agroecologia com reduir els inputs externs, assegurar i potenciar un sòl saludable, així com la biodiversitat de l'agroecosistema i les interaccions sinèrgiques entre els diferents elements que el configuren (HLPE, 2019). La rizosfera de les lleguminoses presenta grups microbians comuns o similars als dels cereals, però a més estableixen una relació simbiòtica amb rizobis, bacteris fixadors de nitrogen (Figueiredo Santos & Lopes Olivares, 2021). No obstant, es calcula que els llegums a Europa només ocupen un 2% de la terra cultivable. Per això alguns/es investigadors/es han assenyalat la importància de què la comunitat científica d'aquest continent diversifiqui les línies d'investigació per tal d'incloure espècies lleguminoses i els serveis ecosistèmics que impliquen, els contextos i les escales que encara romanen sense ser dilucidades, amb la finalitat d'introduir les potencials pràctiques regeneratives al sistema agrícola de la millor manera possible (Ditzler, et al., 2021).

Resumint, el model de sistema agrícola convencional és una amenaça ecològica en diverses dimensions i, alhora, és altament vulnerable. No obstant, si es canvien les dinàmiques intensives per altres amb un enfocament regeneratiu, augmentaria la seva resiliència i, paral·lelament, el propi sistema agrícola es podria convertir en un punt nodal per la mitigació – tant a escala local com global – de moltes de les dimensions de la crisi com: la inseguretats alimentària, l'escassetat hídrica, el canvi climàtic o la pèrdua massiva de biodiversitat i la degradació d'ecosistemes, associades al risc de pandèmies. Una de les possibles pràctiques és redissenyar els agroecosistemes per tal d'incrementar la diversificació espacial (i temporal), de tal manera que augmentin les sinèrgies positives entre les diferents espècies de plantes integrants, el sòl i els organismes que aquest alberga. Concretament, l'associació de cereal-lleguminosa pot ser molt interessant, més enllà de la diversificació del cultiu, per la pròpia relació dels llegums amb els microbis fixadors de nitrogen, presentant la possibilitat de reduir els nivells de fertilitzants sintètics.

OBJECTIUS

- Determinar, mitjançant paràmetres fisiològics i bioquímics, l'efecte de diferents associacions d'ordi amb lleguminoses.
- Comparar els resultats de les respectives associacions amb l'ordi desenvolupat en un sistema de monocultiu.

MATERIALS I MÈTODES

MATERIAL VEGETAL

Es varen emprar llavors de les següents espècies:

- *Hordeum vulgare* L. cv local (ordi)
- *Vicia sativa* L. cv Jose (veça)
- *Vicia faba* L. cv local (favó)

DISSENY EXPERIMENTAL

L'experiment es va desenvolupar en el camp experimental de l'Escola Politècnica de la UIB. En parcel·les de 2x4 m s'establiren els següents sistemes de cultiu per triplicat (**Figura 1**):

1. Monocultiu d'ordi (MO)
2. Monocultiu de veça (MV)
3. Monocultiu de favó (MF)
4. Associació entre ordi i veça (AOV).
5. Associació entre ordi i favó (AOF).
6. Associació entre ordi, veça i favó (AOVF).

A banda, es disposaren quatre parcel·les com a control negatiu, a les quals no es va cultivar cap de les espècies (*goret*), separant els replicats dels sis sistemes de cultiu, definint tres blocs de sis parcel·les. Així mateix, la distribució de les sis classes a cada bloc es va executar de manera aleatòria dirigida (**Figura 1**), per tal de minimitzar el biaix ambiental.

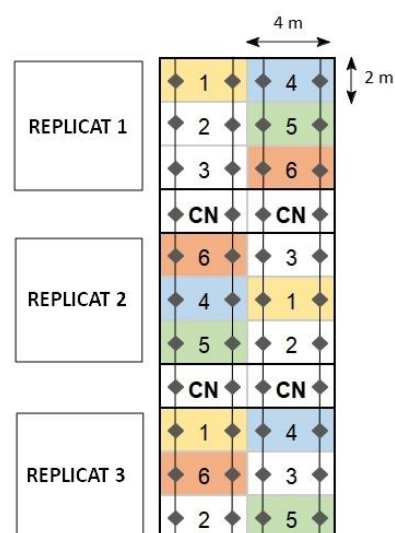


Figura 1. Representació gràfica de la disposició dels sis sistemes de cultiu. 1: MO, 2: MV; 3: MF; 4: AOV; 5: AOF; 6: AOVF; CN: Control Negatiu. Cada quadrat es correspon amb un punt de reg.

La sembra es va efectuar el dia 22 d'octubre de l'any 2020 a les coordenades 39.641743 de latitud i 2.642121 de longitud. Es va realitzar a elevades densitats, ajustades en funció de l'espècie i del tipus de sistema de cultiu (monocultiu o associació). Pel que fa als monocultius: 20 g d'ordi/m², 20 g de veça/m² i 30 g de favó/m²; d'altra banda, a les associacions dobles: 15 g d'ordi/m², 10 g de veça/m² i 15 g de favó/m²; per últim, a la triple associació, la d'ordi es va mantenir en 15 g/m², però les de veça i favó es van rebaixar a 7 g/m² i 10 g/m², respectivament.

Cal destacar que es va instal·lar un sistema de reg automàtic per microaspersió gràcies al qual les parcel·les, exceptuant les dels extrems, podien rebre una quantitat equivalent d'aigua (**Figura 1**), assegurant que aquest no fos un factor limitant ni una font de diferències significatives. Es va optar per situar els punts de reg a ambdós laterals de cada fila perquè era menys invasiu que al centre de cadascuna i, a més a més, tenir dos punts per cada parcel·la permet corregir possibles variacions.

Respecte al control de plagues i malalties, només es va aplicar un tractament puntual (dia 20 de novembre del 2021) l'insecticida de tipus penetrant Coragen® 20 SC®, el principi actiu del qual és Rynaxypyr® (clorantraniliprol) 20% p/v ([FMC Corporation, sense data](#)), perquè se sospitava que l'agent patògen era *Sitophilus granarius*. La dosi fou 1'5 mL d'insecticida diluïts en 4'5 L.

CONDICIONS AMBIENTALS

D'una banda, es va analitzar el perfil i algunes característiques físico-químiques bàsiques del sòl, aquelles indicadores de la seua qualitat i dels requeriments pels cultius. D'altra banda, en relació a les condicions climàtiques, es van consultar les dades registrades per l'estació meteorològica ubicada en el camp experimental del Departament de Biologia a la Universitat de les Balears ([Biologia de les plantes en condicions mediterrànies, sense data](#)). Malgrat que les últimes mostres – el gra d'ordi per quantificar la proteïna – van ser recollides al mes de maig, el període analitzat no engloba aquest últim mes, ja que encara no estan disponibles a la base dades.

MESURES DE SEGUIMENT DEL CREIXEMENT DE L'ORDI

Amb un total de sis determinacions, es va realitzar un seguiment de la longitud de la part aèria de l'ordi des del dia 14 fins al dia 138 després de la sembra.

Pel que fa al registre de les cinc primeres determinacions, es va aplicar una metodologia de mostreig no destructiva. A cada parcel·la es van acotar dues zones a cadascuna de les quals es va mesurar la longitud màxima de la part aèria de 5 plantes d'ordi, durant els quatre primers mesos des de la sembra. Concretament, es va marcar cada costat de la parcel·la amb un pal de fusta a la meitat del lateral més llarg (4 m) i, aleshores, en aquest punt se situava un cercol amb un diàmetre de 50 cm². Aquesta ubicació es va escollir pel fet de ser menys invasiva que al centre i, alhora, permetia tenir en consideració dos punts per cada parcel·la, els quals – exceptuant la primera i l'última fila –, a més, eren equidistants respecte als 4 punts de reg més propers.

Mentre que per l'última es van aprofitar les mostres recollides, mitjançant una metodologia destructiva, per la determinació de la biomassa humida i seca. En aquest cas, abans de registrar les dades, es tallava l'arrel i, seguidament, es col·locaven les plantes amb les fulles paral·leles a la tija i es mesurava amb un regle la longitud entre la base de la tija i la punta de la fulla més llarga.

Cal aclarir que l'aplicació de diferents metodologies també està relacionada amb què, en funció de l'etapa de desenvolupament del cultiu, canvien les prioritats al balanç perturbació-mostreig. Al principi, era necessari minimitzar les perturbacions, mentre que de cara el final, l'impacte de les perturbacions sobre les mostres a determinar no era tan significatiu i era preferible obtenir mostres procedents de punts menys accessibles, però més representatius.

BIOMASSA HUMIDA CORREGIDA I BIOMASSA SECA

Al cap de 138 dies després de la sembra, es va procedir a recollir 10 plantes d'ordi representatives de cada parcel·la – sumant 30 en total per cada sistema de cultiu – sense la limitació del cercol.

La part aèria de la planta es pesava a continuació per obtenir el valor de biomassa humida (BH). No va ser possible mesurar totes les plantes el mateix dia i, mentrestant, es conservaren a 4 °C. Durant l'emmagatzemament es va quantificar el percentatge de pèrdua de pes emprant una mostra de quatre plantes que es mantenien a 4 °C i es pesaven cada cop que es procedia a la determinació d'aquest paràmetre. Aplicant el percentatge de pèrdua de pes a la BH es varen obtenir els valors de BH corregida.

D'altra banda, la biomassa seca es va determinar pesant les plantes després de 19 dies en una estufa a 70 °C.

EXTRACCIÓ I QUANTIFICACIÓ DELS PIGMENTS FOTOSINTÈTICS

Per a aquesta determinació, 149 dies després de la sembra es van seleccionar a cada parcel·la 5 plantes, la quarta fulla de les quals presentés – a la part proximal respecte a la tija – una amplada suficient a partir del nervi central fins al contorn per tal d'extreure un disc amb 9 mm de diàmetre, de manera que el disc resultant no contingés cap part d'aquest nervi.

L'extracció dels pigments fotosintètics es va realitzar conservant cada disc a un tub Eppendorf amb 2 mL d'etanol 70%, sota condicions d'obscuritat i una temperatura de 4 °C. Així mateix, per la quantificació es va seguir el protocol descrit per H. Lichtenthaler i A. Wellburn (1983) i es va emprar l'espectrofotòmetre de microplaques Thermo Scientific™ Multiskan™ Sky.

A partir de les absorbàncies obtingudes de la lectura a tres longituds d'ona (λ) diferents – 470 nm, 649 nm i 665 nm – es van calcular les concentracions de clorofil·la a, clorofil·la b i carotenoides, aplicant les formules:

$$\text{Clorofil·la a (C}_a\text{)} (\mu\text{g/mL}) = (13.95 \times A_{663}) - (6.88 \times A_{649})$$

$$\text{Clorofil·la b (C}_b\text{)} (\mu\text{g/mL}) = (24.96 \times A_{649}) - (7.32 \times A_{663})$$

$$\text{Carotenoides } (\mu\text{g/mL}) = [(1000 \times A_{470}) - (2.05 \times C_a) - (114.8 C_b)] / 245$$

EXTRACCIÓ I QUANTIFICACIÓ DE LA PROTEÏNA DEL GRA D'ORDI

Per tal de comparar si hi havia diferències significatives entre els valors obtinguts dels diferents grups de mostres, primer es realitzava, mitjançant l'aplicació Excel de Microsoft 365, una anàlisi estadística ANOVA d'un factor amb un nivell de confiança del 95%. D'aquesta manera, si el p-valor és menor al nivell de significança (0'05), existeixen diferències significatives entre alguns grups de mostres (es rebutja la hipòtesi nul·la, H_0). Pel contrari, en cas que el p-valor fos superior a 0'05 s'acceptava la H_0 i no calia seguir realitzant proves estadístiques addicionals.

Davant del primer cas esmentat, el rebuig de la H_0 , per tal d'esbrinar entre quins grups existien les diferències significatives, es realitzaren proves *t-Student* o *t-Test* entre

cada parell de grups de mostres possible, p. ex. MO i AOV; MO i AOF; MO i AOVF, i així successivament. Igualment, per a les proves *t-Student* s'aplicaren els mateixos criteris d'acceptació i rebuig de la hipòtesi nul·la que amb la prova estadística ANOVA.

RESULTATS

CONDICIONS AMBIENTALS

En primer lloc, el sòl és un Epipetric Calcisol (Loamic) ([IUSSS Working Group WRB, 2014, update 2015](#)). La profunditat és d'uns 25 cm, amb un horitzó petrocàlcic cimentat. La terra fina és de textura franca, de color marró vermellós (5YR 4/4) i els elements grollers constituïts per graves calcàries són comunes. El contingut de carbonat càlcic és moderat i el pH bàsic, en torn a 8'3. Amb tot, les qualitats d'aquest sòl són adequades pels cultius herbacis però l'escassa fondària exigeix fer ús del reg.

Pel que fa a les condicions climàtiques, donades les escasses precipitacions previstes per les primeres setmanes del cultiu – durant les quals és crucial que els requeriments hídrics es cobreixin – es va instal·lar un sistema de reg per microaspersió. Tanmateix, com que la sequera es va prolongar durant els mesos en què s'estava desenvolupant la fase vegetativa – exceptuant gener i març – (2020) ([Aemetblog, Avance Climático Nacional de noviembre de 2020](#)) (2021) ([Aemetblog, Avance Climático Nacional de enero de 2021](#)) ([Aemetblog, Avance Climático Nacional de febrero de 2021](#)) ([Aemetblog, Avance Climático Nacional de marzo de 2021](#)), es va considerar necessari seguir utilitzant el sistema de reg, malgrat que no fos l'idoni, ja que estava dissenyat específicament per a l'etapa inicial, quan la longitud de les plantes no constituïa cap barrera física. Amb tot, la sequera prolongada estigué relacionada amb dues problemàtiques rellevants manifestades a les fases finals del cultiu: (1) un reg heterogeni quan l'alçada de les plantes ja era considerable (a partir de desembre/gener); (2) un rendiment dels cultius de cereals de secà molt baix, de manera que – en un context de carència generalitzada d'aliment pels ocells – l'ordi del camp experimental d'aquest estudi va ser dels pocs que va arribar a espigar i, en conseqüència, aquests exhauriren la majoria del gra produït.

(I)



(II)

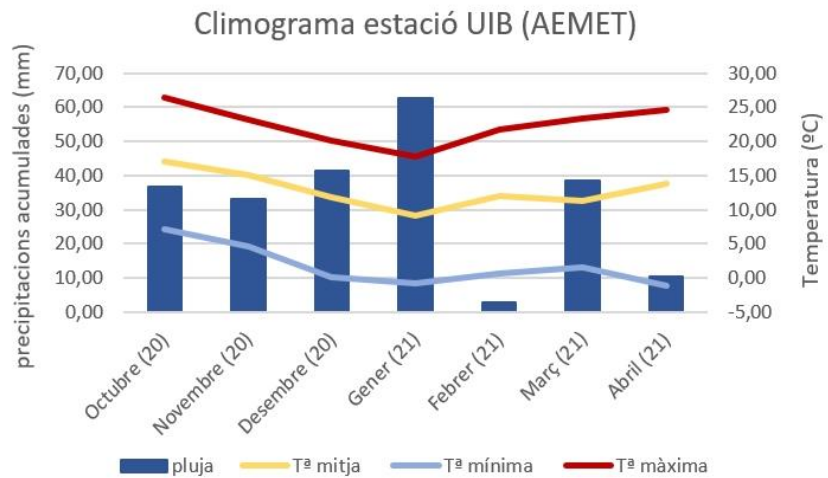


Figura 2. (I) Imatge del sòl del camp de cultiu experimental, situat a les coordenades 39.641743 de latitud i 2.642121 de longitud. **(II)** Climograma elaborat a partir de les dades de l'estació d'AEMET present a la UIB. Es representen gràficament els valors mitjans de precipitacions acumulades (en mm) i de les temperatures mínimes, mitges i màximes de cada mes, des de l'octubre fins l'abril.

MESURES DE SEGUIMENT DEL CREIXEMENT DE L'ORDI

Durant aquest període les plantes varen presentar un creixement lineal durant les quatre primeres determinacions i, a partir de la quarta la pendent es va anar accentuant (*Figura 3.I*). A més, concretament, en un punt intermedi entre la quarta i la quinta començaren a divergir les tendències; malgrat no manifestar diferències estadísticament significatives entre els diferents sistemes de cultiu fins la sexta determinació, és a dir, la corresponent al dia 138 després de la sembra. Segons el p-valor l'ordi de MO presentava un conjunt de valors de longitud màxima menors que les mostres procedents de les associacions (AOV, $1'5 \times 10^{-4}$; AOF, $2'3 \times 10^{-5}$; AOVF, $1'2 \times 10^{-5}$), però entre aquestes no hi va haver diferències estadísticament significatives entre aquestes (*Figura 3.II*).

Així mateix, també es rellevant destacar que entre la 5a i la 6a determinació de la longitud, el creixement va seguir una tendència més bé exponencial. Per tant, no es va arribar a registrar la fase de saturació d'aquest paràmetre fisiològic (*Figura 3.I*).

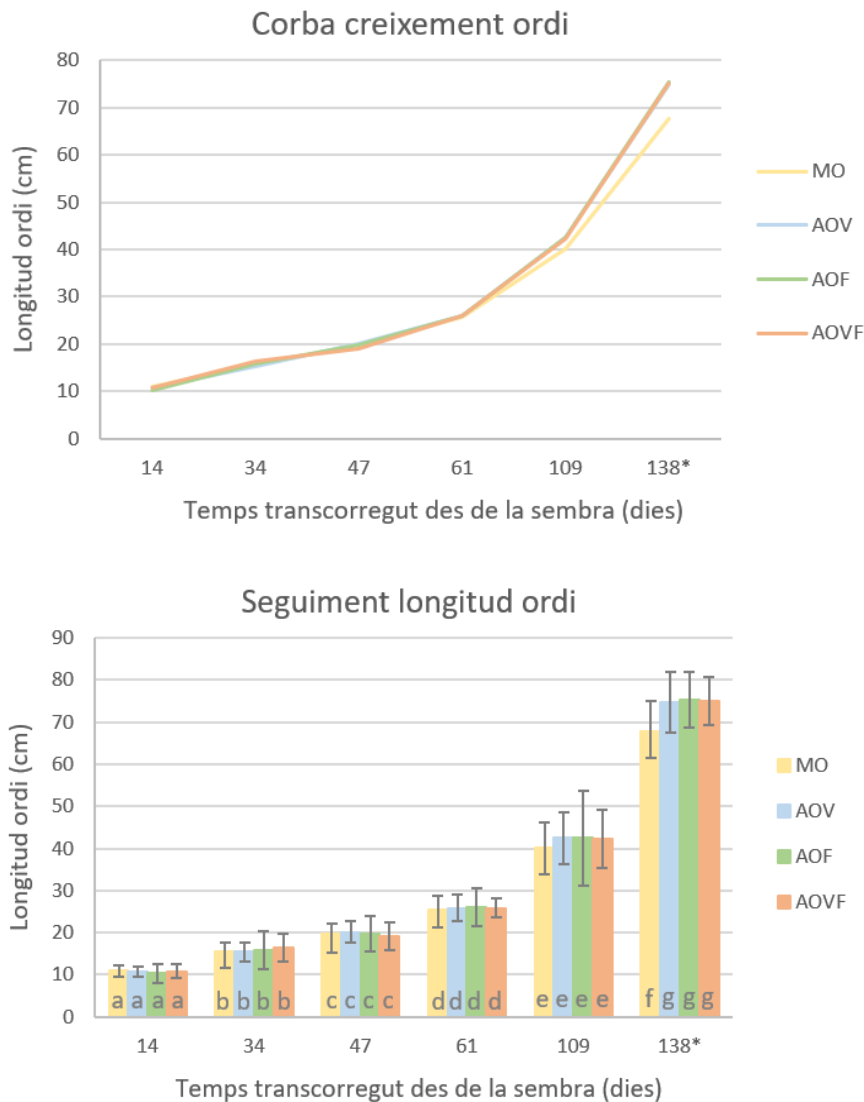


Figura 3. Representacions gràfiques del seguiment de longitud de l'ordi procedent dels diferents sistemes de cultiu que el contenen (MO, AOV, AOF i AOVF). La variable independent és el temps mesurat en dies, considerant com a 0 el dia de la sembra. (*) la metodologia de mostreig i de mesura de la longitud màxima va ser diferent respecte a la resta de determinacions. (I) Les diverses corbes de creixement definides pels valors de la longitud de l'ordi en funció del temps transcorregut i del sistema de cultiu. (II) Gràfic de barres, on aquelles que presenten la mateixa lletra a la seva base no manifestaren diferències estadísticament significatives i viceversa.

BIOMSSA HUMIDA CORREGIDA I BIOMASSA SECA

D'una banda, la BH corregida de les plantes d'ordi, igualment que la longitud màxima, presenta diferències estadísticament significatives entre les trenta plantes representatives del MO i les de les associacions.

Tanmateix, les diferències s'hi troben més accentuades entre MO i AOV amb un p-valor = 10^{-4} , front a 0'009 i 0'002, corresponents a MO-AOF i MO-AOVF, respectivament.

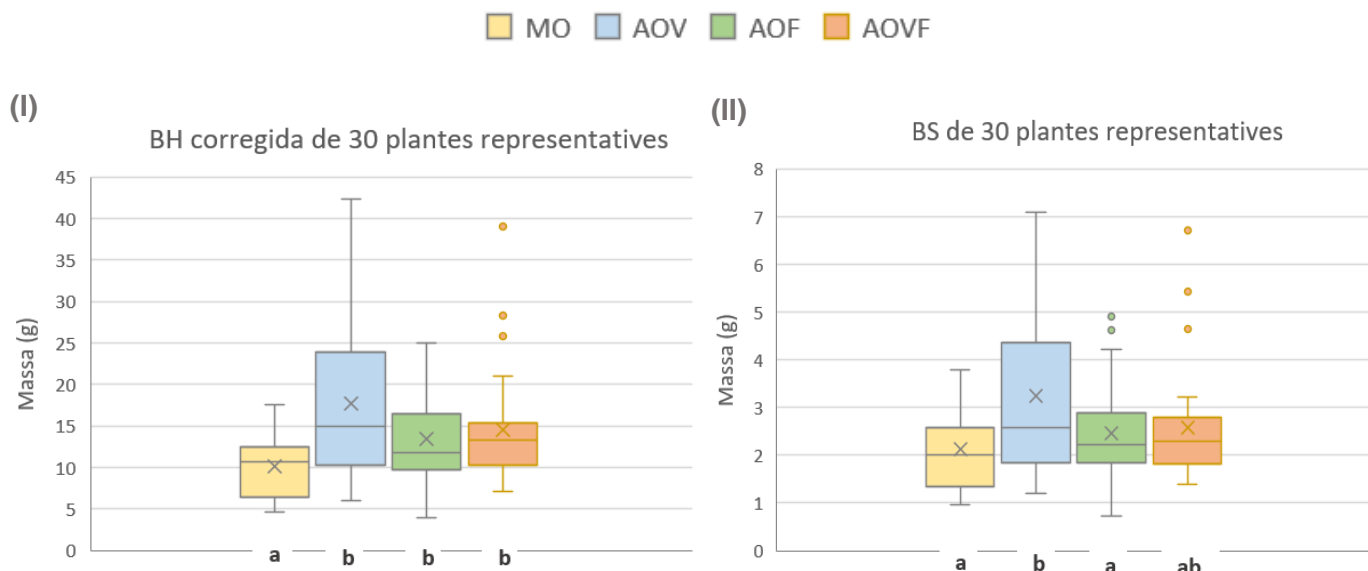


Figura 4. Diagrames de caixes i bigots elaborats a partir dels valors obtinguts de (I) biomassa humida (BH) corregida i (II) biomassa seca (BS), de trenta plantes representatives dels cultius MO, AOV, AOF i AOVF. Els sistemes de cultiu amb la mateixa lletra, situada a l'eix d'abscisses, no presentaren diferències estadísticament significatives i viceversa.

D'altra banda, AOV és l'única que presenta valors estadísticament diferents de BS respecte als de MO (p-valor = 0'002). A més a més, AOV també presenta diferències significatives respecte a AOF (p-valor = 0'041), però no respecte a AOVF (p-valor = 0'081). No obstant, si el nivell de significança fos menys exigent ($\alpha < 0'1$), si que es podrien considerar significatives les diferències entre MO i AOVF, així com les de AOV i AOVF, constituint les dades d'AOVF un nou clúster intermedi entre MO i AOV.

CONCENTRACIÓ DELS PIGMENTS FOTOSINTÈTICS DE LA QUARTA FULLA

Novament, la concentració de clorofil·la a (C_a) a MO és diferent estadísticament respecte a la de AOV (p-valor < 0'003), AOF (p-valor < 0,013) i AOVF (p-valor < 0'018). Així mateix, cal destacar que si es considera el conjunt de dades que delimiten els quartils inferior i superior, els nivells de C_a de les mostres procedents de AOV estan agrupats més estretament que els corresponents a AOF i AOVF.

Per contra, la concentració de clorofil·la b (C_b) presenta diferències significatives només entre AOV en relació a MO (p-valor < 0'001) i AOVF (p-valor < 0'040) (**Figura 5.II**). Aleshores, en aquest cas, els nivells de C_b procedents de les mostres d'AOF són les que presenten un solapament significatiu tant amb AOV com amb MO.

Per últim, pel que fa als carotenoides, no hi ha diferències significatives entre cap dels cultius.

CONCENTRACIÓ DE PROTEÏNA DEL GRA D'ORDI

Malgrat que els procediments tant d'extracció com de quantificació descrits a l'apartat de materials i mètodes es van arribar a realitzar, finalment, les dades obtingudes es van desestimar, ja que no es van considerar suficientment fiables per dos motius principals. D'una banda, tal com s'ha esmentat anteriorment, els ocells exhauriren una part considerable del gra produït. D'altra banda, degut a circumstàncies alienes al disseny experimental, molts dels grans restants presentaven una malaltia fúngica – coneguda com *black point* – i, per tant, es va procedir a seleccionar els menys afectats seguint com a criteri de descart la presència d'un grau d'afecció 5, segons la classificació definida per Markler *et al.* (2010), de forma que aquells amb més de la seva meitat descolorida i arrugada es van descartar, ja que el seu contingut proteic és superior i, per tant, podria ser una font d'error. Amb tot, es va considerar que les mostres de gra d'ordi no foren suficientment representatives ni qualitativament ni quantitativa.

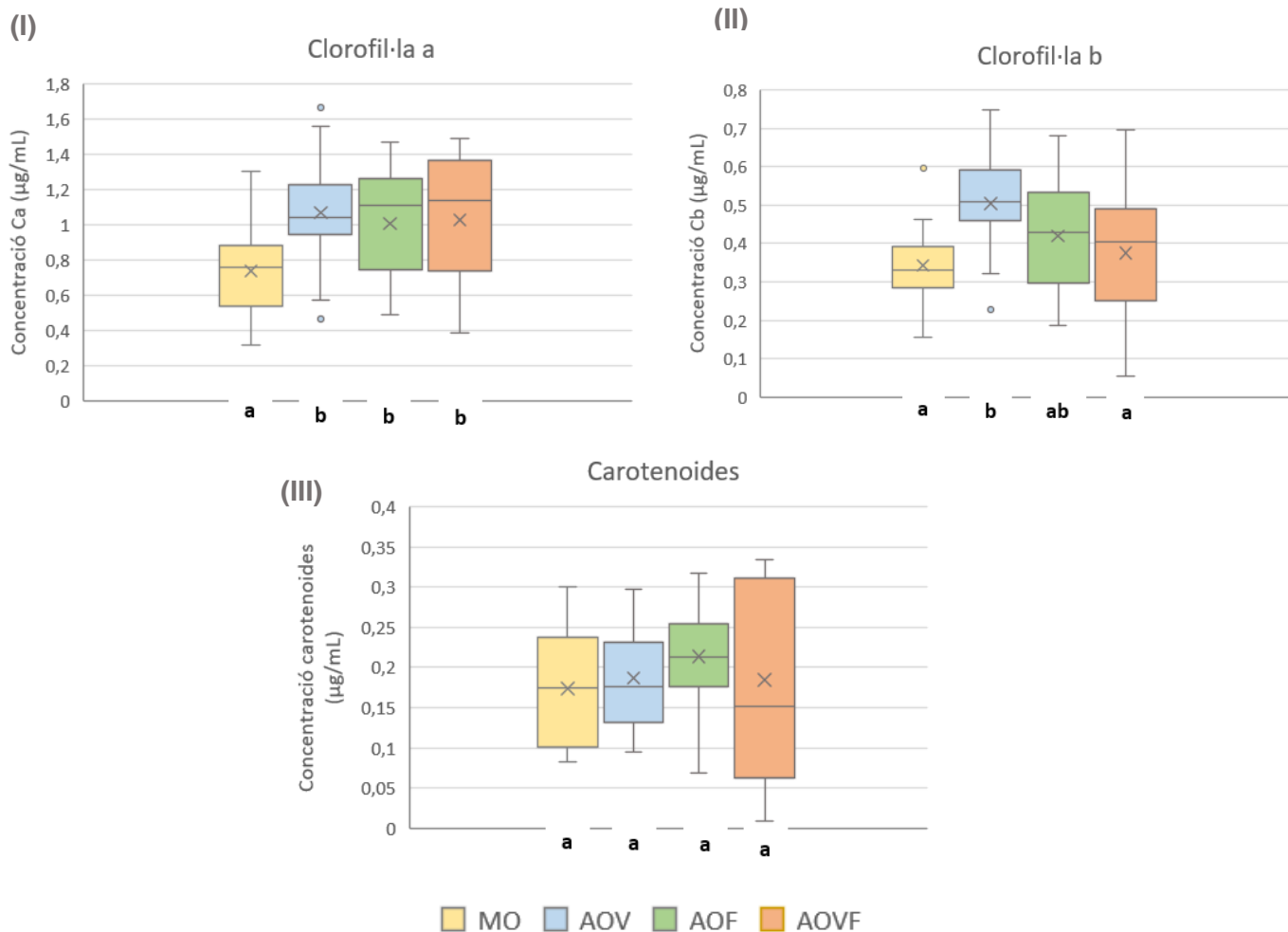


Figura 5. Diagrames de caixes i bigots de les dades de concentració (en µg/mL) de tres pigments fotosintètics: **(I)** clorofil·la a, **(II)** clorofil·la b i **(III)** carotenoides, a la quarta fulla de les plantes d'ordi dels cultius MO, AOV, AOF i AOVF. Els sistemes de cultiu amb la mateixa lletra, situada a l'eix d'abscisses, no presentaren diferències estadísticament significatives i viceversa.

DISCUSSIÓ

Les associacions cereal·lleguminosa poden constituir una pràctica agrícola regenerativa rellevant, d'una banda, gràcies a la diversificació de la cobertura vegetal del cultiu i, d'altra, al propi sistema simbiòtic que les llegums estableixen amb microorganismes fixadors de N₂, potenciant en conjunt múltiples serveis ecosistèmics. Tant favorables com desfavorables, els resultats recopilats no poden garantir amb certesa cap efecte, però, com a primeres dades al context ambiental concret en què s'ha executat l'estudi, poden orientar l'avaluació respecte a com influència a l'ordi cultivar-lo amb les lleguminoses veça i favó en comparació al monocultiu del propi cereal.

Respecte al seguiment de longitud, malgrat que no es va arribar a registrar la fase de saturació del creixement (*Figura 3.1*), als 138 dies després de la sembra les plantes ja estaven en un estat vegetatiu molt avançat – de fet, part d'elles presentaven la fulla bandera – i, aleshores, l'energia metabòlica destinada al creixement de la planta a partir d'aquesta fase seria mínima, atès que es redirigiria cap a la formació del gra. En aquesta última determinació de la longitud, va ser l'única en què les tres associacions presentaren diferències estadísticament significatives. Si bé cal tenir en consideració que es va emprar un procediment de mostreig, basant-se el segon en el recull de 10 plantes disperses per tota la parcel·la i, aleshores, el biaix induït pels sistemes de cultiu adjacents podria ser menor que mitjançant mètode dels cercols (implicant, per tant, diferències basades en un error experimental i no en valors reals); també és possible que es relacionés amb una potenciació de les diferències manifestades en la part aèria de la planta durant la fase exponencial del creixement vegetatiu. Més encara, en relació aquestes mostres recollides als 138 dies, les diferències entre el MO i les associacions podrien ser fins i tot més notòries, atès que per determinar el valor s'emprava un metre i s'estirava la planta al màxim, però com més llargues eren, més complicat era disposar-les completament rectes i més distava el valor anotat del valor real.

Pel que fa als diferents patrons de semblança que presenten les dades de la BH corregida i de la BS – de manera tal que les dades de la BS de AOF i AOVF no presenten cap diferència estadísticament significativa respecte a MO, però si en el cas de la BH corregida; AOV, tot i que si que presenta diferències estadísticament significatives en ambdós paràmetres, el p-valor és d'un ordre de magnitud menor en el cas de la BS – indica que les mostres de plantes dels cultius mixts presentaven un major contingut d'aigua que les procedents de MO.

D'una banda, cal recordar que el sistema de reg era una font d'heterogeneïtat, ja que la longitud de les plantes que estiguessin al voltant dels punts de reg condicionaria l'accessibilitat de l'aigua a les plantes més centrals. Així mateix, malgrat que s'assumí que el percentatge de pèrdua de biomassa era el mateix per a totes les plantes presents a la cambra de refrigeració, a mesura que augmentava el període de conservació en aquesta, també augmentava la variabilitat en el percentatge de pèrdua entre les quatre mostres de referència; per tant, probablement els valors de BH corregida dels grups AOF i AOVF, que es van determinar més tard, disten més del valor de BH real que els dels grups MO i AOV.

No obstant, especialment per als sistemes de cultiu amb favó, també podria implicar que l'arquitectura radicular de les diferents espècies es complementa de tal manera que permet optimitzar la utilització dels recursos hídrics, p. ex. que una de les varietats de les associacions desenvolupés moltes arrels laterals i l'altra prioritzés tenir arrels més profundes (Barot, 2017) (Brooker, Benett, Cong, & Daniell, 2015). Aquesta hipòtesi general es va corroborar a l'estudi realitzat per Li *et al.*, al qual les arrels de favó eren relativament poc profundes, de manera que les del blat de moro s'estenien per sota i, en conseqüència, ocuparen un major volum de sòl que el blat de moro en monocultiu; de fet, el rendiment, la biomassa i l'absorció de N i P tant per part del favó com del blat de moro en el sistema de cultiu intercalat van ser majors que en els seus respectius cultius purs (2006). Així mateix, a un estudi realitzat amb cultius mixts d'ordi i favó, els autors assenyalaren la possibilitat que aquests siguin més estables front a condicions d'estrès que els monocultius, gràcies a un ús més eficient dels recursos, ja que l'any amb major estrès, per les condicions d'humitat durant els mesos d'ompliment de gra, va mostrar una eficiència – expressada en *land equivalent ratio* (LER) – significativament superior als altres dos anys en què s'executà el mateix experiment (Agegnehu & Ghizaw, 2006). A més a més, a un experiment basat en un cultiu intercalat de blat de moro i favó s'observà major eficiència a les regions amb escasses precipitacions que en aquelles on eren mitjanes, ampliant l'espectre de condicions d'estrès que indueix aquesta resposta adaptativa (Tesfamichael, 1996).

A escala molecular es van mostrar favorables els tres cultius mixts, pel que fa a la concentració de C_a i, concretament, el sistema AOV en relació als nivells de C_b . Aleshores, en tant que el nitrogen és un macronutrient essencial per la seva biosíntesi (Microbiomes in some cereal crops: diversity and their role in geochemical nutrient recycling, 2021), podria implicar que aquests sistemes de cultiu van promoure o facilitar la seva captura per part de l'ordi. Per exemple, a un estudi realitzat amb *Vicia faba* i *Triticum aestivum* (blat comú) determinaren un índex de concentració de clorofil·la 2'2 vegades superior en els cultius intercalats respecte als monocultius i, alhora, l'eficiència en l'ús de nitrogen (NLER) fou incrementada un 50'7% (Kamalongo, 2020) . Tal com es recull a la revisió de Brooker, R. W. *et al.*, les lleguminoses poden aportar fins al 15% del nitrogen d'un cereal en un cultiu intercalat, fet que s'explica per diversos motius: les lleguminoses presenten menor competitivitat pel N del sòl, de fet, aquestes n'alliberen al sòl – com a part de exsudat de l'arrel - quedant disponible per al cereal en qüestió i, a més, també el poden obtenir mitjançant les micorrizes (Brooker, Benett, Cong, & Daniell, 2015). D'altra banda, també cal tenir en

consideració que gràcies a la major competitivitat dels cereals pel que fa al N mineral del sòl, disminueix la seva disponibilitat per les lleguminoses i, alhora, això contribueix a reduir l'efecte inhibidor d'aquest sobre la fixació simbiòtica del N₂, de manera que la proporció d'aquest macronutrient derivat d'aquest procés augmenta un 14% amb els cultius intercalats (Rodríguez, Carlsson, Englund, & Flöhr, 2020). Si s'analitza des de la perspectiva mecanicista de l'especialització dels nínxols ecològics, desenvolupada anteriorment en relació als recursos hídrics, es pot interpretar que els sistemes de cultiu més diversos – en aquest cas els AOV, AOF i AOVF respecte al MO – també estimulen la complementarietat respecte a la disponibilitat i l'ús d'altres recursos com per exemple el N (Ajal, Jäck, & Vico, 2021).

La meta-anàlisi realitzada per Rodríguez, C. *et al.* posa de manifest que si bé l'adquisició del N als llegums de cultius intercalats, en comparació als cultius purs d'aquestes, es va reduir un 47%; l'adquisició total de N (és a dir, considerant tant els llegums com els cereals) augmentà un 25% als cultius intercalats respecte als monocultius de llegums. L'equip investigador suggereix, en base als resultats de l'anàlisi, que els sistemes de cultiu intercalats es poden emprar com a eina per augmentar la productivitat de cereals i llegums, mentre s'augmenten les fonts de N i es redueixen els inputs externs de fertilitzants (Rodríguez, Carlsson, Englund, & Flöhr, 2020).

Altrament, també s'han identificat més factors que poden influir en l'optimització dels recursos com són la disminució del creixement o biomassa de plantes adventícies i la incidència de plagues. A una meta-anàlisi s'observà que els cultius intercalats amb plantes acompanyats resultava en una disminució del 52% la biomassa de les plantes adventícies i, paral·lelament, un augment del 36% del rendiment de la collita (Verret, Gardarin, Pelzer, & Médiène, 2017).

El nivell proteic del gra d'ordi constitueix una característica rellevant en relació a la seva qualitat nutricional, però malauradament, com s'ha esmentat anteriorment, no ha sigut possible determinar-lo partint de les mostres apropiades en nombre i qualitat. Tanmateix, en base a la resta dels altres resultats obtinguts, tant fisiològics com bioquímics, s'esperaven diferències entre les mostres procedents de les associacions i el MO. De fet, en sistemes de producció orgànica de cereals les concentracions baixes de *crude protein* (CP) estan principalment causades per una disponibilitat limitada del N del sòl – ja que també és un macronutrient essencial per la biosíntesi dels aminoàcids –, mentre que al cultivar blat comú juntament amb favó s'ha observat al

primer un augment d'un 25% de CP i d'un 17% de la captació de N ([Kamalongo, 2020](#)).

Més enllà de no haver caracteritzat la qualitat del gra resultant, aquest estudi també ha presentat algunes limitacions rellevants pel que fa a la interpretació que s'haurien de tenir en consideració per pròximes investigacions. D'una banda, gran part de la bibliografia científica entorn a la diversificació dels cultius es basa en sistemes intercalats, és a dir, les diferents espècies es disposen en files alternes a un mateix camp de cultiu; mentre que al disseny d'aquest experiment totes les llavors corresponents a cada parcel·la es dispersaren de manera aleatòria, per tant, tot i que s'han comparat els resultats obtinguts amb de sistemes intercalats els efectes reals podrien diferir. Així mateix, malgrat que es va intentar sembrar de manera uniforme, la distribució de les plantes desenvolupades era considerablement heterogènia, de manera que fins i tot mostres d'una mateixa parcel·la i amb un mateix sistema de cultiu, podien presentar una variabilitat elevada respecte al seu entorn directe; per aquest motiu seria convenient que als futurs experiments el patró de sembra s'organitzés minimitzant-se la variabilitat dins de i entre les diferents parcel·les. Sabent que el sistema de cultiu basat en associacions pot tenir un impacte positiu significatiu sobre les espècies cultivades, també seria interessant dilucidar el perfil dels nínxols ecològics de cada espècie en el context agrari en qüestió, per tal d'entendre com es poden augmentar els serveis ecosistèmics i, així, optimitzar les diferents associacions. Concretament, una característica rellevant del nínxol – altament relacionada amb els serveis ecosistèmics que aporta el cultiu a l'agroecosistema – es l'anàlisi del microbioma present en cada sistema i si aquest es pot correlacionar amb les diferències manifestades a la parta aèria (p. ex. la longitud, la biomassa, els pigments fotosintètics i la proteïna del gra). Per últim, amb la finalitat de minimitzar possibles pèrdues de mostres per motius diversos – en aquest cas, amb el gra d'ordi – seria interessant traslladar l'experiment a una infraestructura coberta.

Amb tot, si bé el cultiu basat en associacions sí que ha implicat diferències respecte al MO, aquestes s'han expressat de manera diferent en funció de les espècies implicades; de fet, prèviament, s'ha assenyalat en estudis la importància de seleccionar correctament les espècies integrants del cultiu mixt cereal-lleguminosa, ja que aquesta variable és determinant de diferències significatives entre distintes associacions ([E. M. Spehn, 2002](#)) ([Ajal, Jäck, & Vico, 2021](#)). En aquest cas, AOV sembla haver influenciat positivament pel que fa al desenvolupament vegetatiu, atès que hi havia diferències significatives respecte a la longitud, la biomassa seca i les

clorofil·les a i b. Mentre que les dues associacions amb favó potser poden haver influenciat en menor mesura sobre el desenvolupament vegetatiu de l'ordi, ja que no presentaven diferències significatives ni de BS ni de C_b; tanmateix, poden haver optimitzat l'aprofitament dels recursos hídrics, mitjançant una major complementarietat de l'arquitectura radicular. Aleshores, totes dues poden resultar interessants en funció de les necessitats. Pel que fa a les associacions amb favó, en un context insular i de canvi climàtic, resulta interessant seguir investigant si brinden una oportunitat per tal d'aprofitar els recursos hídrics en situacions d'estrès. Així mateix, la veça podria millorar el desenvolupament vegetatiu, però, si bé hi ha una bibliografia considerablement àmplia d'estudis d'associacions amb favó, amb veça no i, en base a aquestes primeres dades, seria interessant promoure més investigacions amb aquesta lleguminosa.

Com a reflexió final, és imprescindible que a l'hora d'avaluar els beneficis d'un sistema de cultiu, amb unes determinades espècies, es consideren aspectes que, malgrat que no estiguin directament relacionats amb una productivitat a curt termini, sí que potencien la biodiversitat, la regeneració del sòl i, en general, augmenten la resiliència front al canvi climàtic proveint serveis ecosistèmics diversos. Una transició ecosocial justa requereix un canvi de paradigma, deixar enrere la concepció d'explotacions agrícoles – de les quals s'espera la màxima productivitat i per aconseguir-ho s'apliquen pràctiques que les degraden a llarg termini – per donar pas als agroecosistemes, a partir dels quals es garanteixin la seguretat alimentària i nutricional a escala local, mentre es respecten i, fins i tot, regeneren les dimensions que el configuren – especialment el sòl.

CONCLUSIONS

- El disseny de cultius basat en associacions entre cereals i lleguminoses pot augmentar múltiples serveis ecosistèmics i, entre d'altres, un major subministrament d'aliments de qualitat. Per tant, podria ser una estratègia per garantir la seguretat alimentària i, paral·lelament, potenciar la resiliència dels agroecosistemes.
- Concretament respecte als sistemes de cultiu estudiats en aquest treball, tots els basats en associacions han mostrat influències positives respecte al desenvolupament vegetal, especialment AOV. Paral·lelament, les altres dues (AOF i AOVF) no mostraren, estadísticament, diferències tan notòries

relacionades amb el desenvolupament, però podrien facilitar l'optimització dels recursos hídrics.

- Cal seguir investigant per tal de dilucidar quins sistemes de cultiu s'adaptin millor als múltiples contextos.

BIBLIOGRAFIA

- Agegnehu, G., & Ghizaw, A. i. (2006). Yield performance and land-use efficiency of barley and faba bean mixed cropping in Ethiopian highlands. *European Journal of Agronomy*, 202-207. doi:10.1016/j.eja.2006.05.002
- Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (9 de 12 de 2020). *Aemetblog, Avance Climático Nacional de noviembre de 2020*. Obtenido de <https://aemetblog.es/2020/12/09/avance-climatico-nacional-de-noviembre-de-2020/>
- Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (6 de 11 de 2020). *Aemetblog, Avance Climático Nacional de octubre de 2020*. Obtenido de <https://aemetblog.es/2020/11/06/avance-climatico-nacional-de-octubre-de-2020/>
- Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (11 de 1 de 2021). *Aemetblog, Avance Climático Nacional de diciembre de 2020*.
- Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (9 de 2 de 2021). *Aemetblog, Avance Climático Nacional de enero de 2021*. Obtenido de <https://aemetblog.es/2021/02/09/avance-climatico-nacional-de-enero-de-2021/>
- Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (10 de 3 de 2021). *Aemetblog, Avance Climático Nacional de febrero de 2021*. Obtenido de <https://aemetblog.es/2021/03/10/avance-climatico-nacional-de-febrero-de-2021/>
- Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (12 de 4 de 2021). *Aemetblog, Avance Climático Nacional de marzo de 2021*. Obtenido de <https://aemetblog.es/2021/04/12/avance-climatico-nacional-de-marzo-de-2021/>
- Ajal, J., Jäck, O., & Vico, G. i. (2021). Functional trait space in cereals and legumes grown in pure and mixed cultures is influenced more by cultivar identity than crop mixing. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*. doi:10.1016/j.ppees.2021.125612
- Barot, S. A. (2017). Designing mixtures of varieties for multifunctional agriculture with the help of ecology. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(13). doi:10.1007/s13593-017-0418-x
- Biologia de les plantes en condicions mediterrànies. (s.f.). *Intranet, dades climatològiques*. Obtenido de <http://plantmed.uib.es/catala/INTRANET.html>
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 248-254. doi:10.1016/0003-2697(76)90527-3
- Brooker, R. W., Bennett, A. E., Cong, W.-F., & Daniell, T. J. (2015). Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. *New Phytologist*, 107-2017. doi:10.1111/nph.13132
- Daszak, P. A.-T. (2020). *Workshop Report on Biodiversity and Pandemics of the Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. IPBES, Bonn, Germany. doi:10.5281/zenodo.4147317
- Ditzler, L., van Apeldoorn, D. F., Pellegrini, F., Antichi, D., Bàrberi, P., & Rossing, W. A. (2021). Current research on the ecosystem service potential of legume inclusive cropping systems in Europe. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. doi:10.1007/s13593-021-00678-z
- E. M. Spehn, M. S.-L. (2002). The role of legumes as a component of biodiversity in a cross-European study of grassland biomass nitrogen. *Oikos*, 205-208. doi:10.1034/j.1600-0706.2002.980203.x
- FMC Corporation. (s.f.). *FMC, Productos, Insecticida, Coragen (R) 20SC*. Recuperado el 4 de 9 de 2021, de <https://fmcagro.es/producto/6/coragen-sup-sup-20sc>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2015). *Soils Host a Quarter of our Planet's Biodiversity*. Roma, Itàlia. Obtenido de <http://www.fao.org/3/i4551e/i4551e.pdf>

- HLPE. (2019). *Agroecological and other innovative approaches for sustainable agriculture and food systems that enhance food security and nutrition. A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security*. Roma. Obtenido de <http://www.fao.org/3/ca5602en/ca5602en.pdf>
- HLPE. (2020). *Food security and nutrition: building a global narrative towards 2030. A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security*. Roma.
- IUSS Working Group WRB. (s.f.). *World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. FAO, Rome,. Obtenido de <http://www.fao.org/3/i3794en/i3794en.pdf>
- Jordà, G., Rita Larrucea, J., Miranda Chueca, M. Á., Vaquer Sunyer, R., Canals Guinand, V. J., Cladera Bohigas, A., . . . de Vilchez Moragues, P. (s.f.). *Capítol 5: El canvi climàtic*. Laboratori Interdisciplinari sobre el Canvi Climàtic de la UIB (LINCC UIB). Obtenido de http://lincc.uib.eu/wp-content/uploads/CES-UIB-Estudi-H2030_Cap%C3%ADtol-5-136-214-1.pdf
- Kamalongo, D. M. (2020). Advantages of bi-cropping field beans (*Vicia faba*) and wheat (*Triticum aestivum*) on cereal forage yield and quality. *Biological Agriculture & Horticulture*, 213-229. doi:10.1080/01448765.2020.1788991
- Li, L., Sun, J., Zhang, F., & Guo, T. e. (2006). Root distribution and interactions between intercropped species. *Ecosystem ecology*, 280-290. doi:10.1007/s00442-005-0256-4
- Lichtenthaler, H. a. (1983). Determination of Total Carotenoids and Chlorophyll a and b of Leaf Extracts in Different Solvents. *Biochemical Society Transactions*, 591-603. doi:10.1042/bst0110591
- Malaker, P. K., Mian, I. H., & Bhuiyan, K. A. (2010). Effect of black point disease on quality of wheat grain. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 181-187. doi:10.3329/bjar.v34i2.5789
- Microbiomes in some cereal crops: diversity and their role in geochemical nutrient recycling. (2021). En K. Baby, & A. i. Chandrol Solanki, *Microbiomes and Plant Health: Panoply and Their Applications* (págs. 429-448). Academic Press. doi:10.1016/C2019-0-00466-9
- Mughal, I., Shah, Y., Tahir, S., Haider, W., Fayyaz, M., Yasmin, T., . . . Farrakh, S. (2020). Protein quantification and enzyme activity estimation of Pakistani wheat landraces. (P. ONE, Recopilador) doi:10.1371/journal.pone.0239375
- Porazinska, D. L., & Wall, D. H. (2013). Soil Conservation. En *Encyclopedia of Biodiversity (Second Edition)* (págs. 590-598). doi:10.1016/B978-0-12-384719-5.00127-1
- Rodriguez, C., Carlsson, G., Englund, J.-E., & Flöhr, A. e. (2020). Grain legume-cereal intercropping enhances the use of soil-derived and biologically fixed nitrogen in temperate agroecosystems. A meta-analysis. *European Journal of Agronomy*, 118. doi:10.1016/j.eja.2020.126077
- Rosati, A., Borek, R., & Canali, S. (2021). Agroforestry and organic agriculture. *Agroforestry Systems*, 805–821. doi:10.1007/s10457-020-00559-6
- Ruiz Fernández, J. M., León, V. M., Marín Guirao, L., Giménez Casalduero, F., Álvarez Rogel, J., Esteve Selma, M. A., . . . Martínez Fernández, J. (2020). *Informe de síntesis sobre el estado actual del mar menor y sus causas en relación a los contenidos de nutrientes*.
- Tesfamichael, N. R. (1996). Maize/Bean intercropping effects on component yield, land use efficiency and net returns at Awasa and Melkassa. *1st Conference of the Agronomy and Crop Physiology Society of Ethiopia.*, (págs. 51-55). Addis Ababa, Ethiopia.
- Tixier, P., Peyrard, N., Aubertot, J.-N., Gaba, S., Radoszycki, J., Caron-Lormier, G., . . . Sabbadin, R. (2013). Chapter Seven - Modelling Interaction Networks for

- Enhanced Ecosystem Services in Agroecosystems. En *Advances in Ecological Research* (págs. 437-480). doi:10.1016/B978-0-12-420002-9.00007-X
- United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). (2017). *The Global Land Outlook, first edition*. Bonn, Germany.
- United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). (s.f.). *UNCCD, Issues: Land and Drought*. Recuperado el 26 de 8 de 2021, de <https://www.unccd.int/issues/land-and-drought>
- Verret, V., Gardarin, A., Pelzer, E., & Médiène, S. e. (2017). Can legume companion plants control weeds without decreasing crop yield? A meta-analysis. *Field Crops Research*, 158-168. doi:10.1016/j.fcr.2017.01.010