

La intensificació agrícola i la diversitat vegetal en sistemes cerealistes de secà

Laura José María Domínguez

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tdx.cat) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tdx.cat) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tdx.cat) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.



La intensificació agrícola i la diversitat vegetal en sistemes cerealistes de secà

Laura José María Domínguez



La intensificació agrícola i la diversitat vegetal
en sistemes cerealistes de secà

Laura José María Domínguez

Barcelona, abril de 2011



UNIVERSITAT DE BARCELONA

U

B

Departament de Biologia Vegetal

La intensificació agrícola i la diversitat vegetal en sistemes cerealistes de secà

Memòria presentada per na Laura José María Domínguez per optar al grau de
Doctora per la Universitat de Barcelona

Programa de Doctorat de Biologia Vegetal
Bienni 2007-2009

Doctorand

Vist-i-plau del director de la tesi

Laura José María Domínguez

Dr. F. Xavier Sans Serra

Barcelona, abril de 2011

Al Joan

Agraïments

Acabar una tesi no és fàcil. Pel camí, però, queden un munt de bons moments i una gran certesa: l'amistat, el suport i l'ajut de molta gent són el que ho fa possible. Per això vull donar-vos les gràcies a tots els que m'heu ajudat en aquesta llarga aventura (i si em deixo algú, culpeu les neurones que han mort pel camí i doneu-vos per profundament agraïts).

Per començar voldria agrair a tots els pagesos que ens han permès estudiar els seus camps. Sense el vostre treball diari, però sobretot sense la vostra paciència i bona disposició aquest projecte no hauria estat possible. Ha estat un plaer conèixer-vos i m'heu fet aprendre moltes coses. Gràcies Emili Aguilera, Josep Altarriba, Eudald Ballarà, Francesc Biosca, Josep Boix, Joan Bonell, Joan Bonsfills, Josep Boria, Josep Bover, Sebastià Camprubí, Ramon Capdevila, Joan Carné, Esteve Caus, David Colell, Joan Comelles, Vicenç Compte, Marina Duñach, Jordi Ferrer, Lluís Galobart, Joan Gibal, Jaume Illa, Josep Mas, Josep Molist, David Moncunill, Josep Morros, Josep Oliveres, Llogari Picañol, Martí Prats, Antonio Roca, Salvi Safont, M^a Josefa Sala, Jordi Sanfeliu, Just Serra, Josep M^a Soler i Joan Vallès.

També voldria donar les gràcies a la Gemma Safont, que m'ha encomanat la seva passió per Gallecs i ens ha facilitat tota la feina que hi hem realitzat.

A més de disposar d'uns camps per estudiar, també calia gent per mostrejar-los! Ha estat molta feina, en dies de pluja (molta pluja) i en dies de calor (molta calor). Gràcies a tots els que m'heu acompanyat al camp sense (gairebé) ni queixar-vos. Gràcies als meus principals “mestres botànics”, el José M. i l'Aaron (sense voler desmerèixer a ningú), per tenir sempre bon humor, molta paciència i energia per tirar endavant. Gràcies també a tots els que heu vingut algun dia a refrescar l'ambient: Arnau, Efrem, Aurora, Robin, Isa, Maria...

També m'ha tocat una mica de feina de laboratori, per sort, altra vegada no ho he hagut de fer sola. Gràcies Arantxa, Maria i Luigi per ajudar-me amb l'avorrida feina de comptar-separar-pesar espigues. Gràcies Marta per les hores i hores passades al hivernacle.

Molta sort he tingut també amb els companys de Botànica del dia a dia que, a part de respondre a qualsevol dubte (del temps, la lluna, de plantes, d'ordinadors...), heu fet que els dies a la facultat fossin més divertits (i dolços! Ai, les galetes amb Nutella...). M'heu ensenyat un munt de coses i m'heu fet passar molt bones estones. Puc dir amb orgull que treballo amb una gent genial. I això és realment important.

Gràcies al Carles Santana, per deixar-me les seves fotos meravelloses dels secans per poder decorar la tapa.

Vull agrair molt (però que molt) especialment al Joan per aguantar-me tot aquest temps. Aquesta tesi és mèrit de tots dos, sense tu no ho hagués aconseguit. Gràcies pel teu suport i comprensió, per aguantar els nervis, les pors i l'esgotament. Gràcies per estar al meu costat, ajudar-me quan ha calgut i animar-me a tirar endavant. Gràcies per donar-me sempre un motiu per somriure.

Gràcies, de tot cor, a la família. Per donar-me ànims i ajudar-me a tirar endavant: moltíssimes gràcies papas! Marta, merci per tots els bons moments que hem passat juntes i pels nebots tan guapos que m'has regalat, que fan oblidar totes els maldecaps del món. Gràcies al "Nastis" per donar-me un últim motiu per acabar aquesta tesi i fer-ho amb molta il·lusió. Gràcies també a tots els "polítics" per cuidar-me i perdonar-me les absències i dies de mala lluna.

A tots els amics que m'heu aguantat i animat: gràcies per escoltar-me, pels consells i per ser-hi sempre que us he necessitat. Gràcies Isa, per la teva paciència infinita, ara et toca a tu! Gràcies nenes, se m'acaben les excuses... un soparet, no? Als submarinistes, per acompanyar-me en aquest gran vici, que fa passar qualsevol mal. Als companys de bio, especialment a l'Aida, el Jesús i la Blanca, per tots els bons moments compartits. Als veïns, el Cesc i la Marta, per incitar-me al canvi de vida: al Sunyer tot sembla més fàcil.

Gràcies al Xavier Sans, el meu director de tesi, per el seu entusiasme i dedicació, per haver-me animat a començar aquest projecte i per la seva confiança en mi.

I per acabar, a tots els companys del grup de Biologia de Poblacions: milions de gràcies! Ha estat meravellós compartir amb vosaltres projectes, mostrejos, reunions, viatges, frustracions, dubtes, alegries... Cinc anys passen molt ràpid rodejats de bona gent. Fem un bon equip, sense cap mena de dubte, molta sort a tots! I permeteu-me un agraïment especial per tres companys extraordinaris. Montse, gràcies per compartir tot l'embolic de dissenyar el mostreig, la llisteta amb els telèfons per poder quedar amb els pagesos, els innombrables dies de camp del 2008, el patiment... Al final tot s'acaba, ja ho veuràs ben aviat: ànims!!! José M., tens una paciència, un coneixement i una capacitat de transmetre'l increïbles, encara ha d'arribar el dia que a la pregunta "tens un moment" em sorprenguis amb un "no" per resposta. És un plaer treballar al teu costat. Laura, GRÀCIES. Per tot, per acompanyar-me com ningú en aquesta aventura -professionalment i emocionalment-, per la teva meravellosa amistat.

A tots plegats, moltíssimes gràcies.

CONTINGUT

INTRODUCCIÓ GENERAL	1
1. L'agricultura i el medi ambient	3
2. La diversitat vegetal en els agrosistemes	3
3. La intensificació agrícola	6
3.1. Escala de camp	8
3.2. Escala de paisatge	9
4. Àrees d'estudi i disseny experimental	12
4.1. Depressió Central Catalana	12
4.2. Gallecs	14
OBJECTIUS	17
INFORMES DEL DIRECTOR	21
1. Informe del director del factor d'impacte de les publicacions presentades	23
2. Informe del director sobre la participació de la doctoranda en les publicacions	25
DISCUSSIÓ GLOBAL	29
1. La distribució espacial de la vegetació	31
2. L'efecte del paisatge sobre la diversitat vegetal	33

3. L'efecte de la intensitat de la gestió agrícola	34
4. L'efecte de les diferents pràctiques agrícoles	36
5. Implicacions per a la gestió	38
CONCLUSIONS	41
BIBLIOGRAFIA	47
PUBLICACIONS	55
<i>Capítol 1: Effects of agricultural intensification on plant diversity in Mediterranean dryland cereal fields</i>	57
<i>Capítol 2: How does agricultural intensification modulate changes in plant community composition?</i>	73
<i>Capítol 3: Weed seedbanks in arable fields: effects of management practices and surrounding landscape</i>	83
<i>Capítol 4: The conservation of arable plants at crop edges in Mediterranean cereal fields</i>	107

INTRODUCCIÓ GENERAL

1. L'agricultura i el medi ambient

Els ecosistemes agrícoles, també anomenats agrosistemes, són sistemes antropogènics. És a dir, el seu origen i manteniment estan associats a l'activitat de l'home, que ha transformat la naturalesa per obtenir-ne principalment aliments. L'agricultura no solament és important per la seva funció de producció de matèries primeres i d'aliments per a la població, sinó també per la seva contribució al modelat del paisatge. Al llarg dels segles, ha creat i mantingut una gran varietat d'hàbitats seminatural de gran valor. No obstant això, la relació entre l'agricultura i el medi natural no és sempre positiva, ja que les pràctiques agrícoles poden causar-hi efectes negatius, com ara la degradació del sòl, la contaminació de l'entorn (sòl, aigua i aire), la fragmentació dels hàbitats i la pèrdua de biodiversitat.

Els agrosistemes ocupen una gran part del territori (prop de la meitat de la superfície de la Unió Europea; European Commission, 2011) i concentren una gran proporció de la biodiversitat (Pimentel *et al.*, 1992). Malauradament, és també en aquests sistemes agrícoles on hi ha hagut una pèrdua de diversitat més marcada (Preston *et al.*, 2002). A Catalunya la superfície agrícola utilitzada és d'1.167.000 ha (el 36,3 % del territori), de les quals vora la meitat són ocupades per conreus herbacis. Els conreus principals pel que fa a l'extensió són l'ordi i el blat, que amb 199.695 i 89.253 ha, respectivament, ocupen un terç de la superfície conreada de Catalunya (DAR, 2009). Atesa la seva gran extensió, els conreus de cereals tenen una gran rellevància per a la conservació del territori i la seva diversitat. Per tant, cal estudiar com hi interactuen les diferents pràctiques agrícoles per tal de proposar mesures de gestió que permetin revertir la pèrdua de biodiversitat en aquests ambients.

2. La diversitat vegetal en els agrosistemes

En els agrosistemes podem distingir dos components de la biodiversitat: la biodiversitat programada i la biodiversitat associada (Vandermeer *et al.*, 1998). La

biodiversitat programada correspon a les espècies que l'agricultor introdueix voluntàriament i varia en relació amb la gestió i la disposició espacial i temporal dels cultius. La biodiversitat associada aplega el conjunt d'organismes que colonitzen els conreus i està influenciada per les pràctiques agrícoles i l'estructura de cada agrosistema. En el cas de la diversitat vegetal, la biodiversitat programada correspon a les plantes cultivades, mentre que la biodiversitat associada està formada per la flora que les acompanya i les plantes que formen part dels marges dels camps i dels hàbitats que els envolten. La diversitat vegetal associada d'un indret determinat depèn tant de factors ambientals (per exemple, el clima, el context paisatgístic i les característiques del sòl) com del tipus de gestió (Lososová *et al.*, 2004; McLaughlin i Mineau, 1995; Roschewitz *et al.*, 2005).

El conjunt de plantes que apareixen en els conreus sense haver estat sembrades de manera intencionada és el que coneixem com a flora arvensa. Es tracta d'una flora que ha evolucionat paral·lelament al desenvolupament de l'agricultura i presenta unes característiques biològiques que li permeten superar la pressió de les pràctiques agrícoles. Tanmateix, la persistència de les seves poblacions està lligada al manteniment d'aquestes pràctiques. Tradicionalment s'han anomenat males herbes perquè competeixen pels recursos amb les plantes cultivades. A més, poden actuar com a hoste temporal de plagues, afectar negativament la qualitat de la collita i interferir en determinats tractaments agrícoles (Masalles, 2008). No obstant, la flora arvensa té un paper important en la xarxa tròfica dels agrosistemes, ja que interacciona de manera directa o indirecta amb altres components del sistema i ofereix un ampli ventall de funcions ecològiques i agronòmiques, com són, per exemple, la pol·linització i el control de plagues (Caballero-López *et al.*, 2010; Holzschuh *et al.*, 2007; Marshall *et al.*, 2003). Aquesta relació de la flora arvensa amb altres grups taxonòmics, conjuntament amb la seva sensibilitat a les pràctiques agrícoles, permet emprar-la per avaluar els efectes de la gestió sobre la biodiversitat dels conreus (Albrecht, 2003). A més, la flora arvensa té un valor estètic i constitueix un patrimoni natural indicador d'unes pràctiques culturals que cal conservar (Sáez *et al.*, 2010).

Les espècies segetals són plantes arvenses especialistes dels conreus de cereals. La majoria d'elles provenen del pròxim Orient, d'on van ser introduïdes per l'home amb l'expansió de l'agricultura. A l'Europa occidental, aquestes espècies, principalment anuals i bulboses, viuen gairebé de forma exclusiva en els camps de cereals i estan estretament adaptades al règim de pertorbacions que imposen els tractaments agrícoles que caracteritzen aquests cultius (Masalles, 2008).

La diversitat vegetal dels camps no es distribueix de forma homogènia. De manera general, la flora arvense que es troba a les vores dels camps (la part cultivada més externa, adjacent al marge) és més abundant i diversa que la del centre (Romero *et al.*, 2008), ja que les pràctiques agrícoles (és a dir, la llaurada, la sembra, l'aplicació de fertilitzants i el control de la flora arvense) hi són menys eficaces a causa de la proximitat al marge. A més, a la regió mediterrània, els marges dels camps sovint són ocupats per una vegetació especialment diversa, constituïda per comunitats vegetals llenyoses (arbòries i arbustives) i herbàcies (perennes i anuals). Aquests marges tenen una estructura molt variada, des d'elements linears de poca amplada que separen dos camps adjacents fins a fragments de vegetació natural i seminatural de mida considerable. L'estructura i la diversitat de la vegetació dels marges varia en relació amb la gestió actual i pretèrita que n'ha fet l'home. En general, però, la gestió de la vegetació dels marges no és gaire intensa, ja que només es gestionen de manera directa (mitjançant herbicides, crema o tala) ocasionalment. Per això, s'acostuma a trobar una vegetació més estable als marges que a l'interior dels camps.

Els marges, a més de delimitar els camps i tenir un valor estètic, cultural i històric, intervenen en un conjunt de processos agronòmics com són, entre altres, el control de plagues i la prevenció de l'erosió. D'altra banda, els marges tenen un paper mediambiental, ja que minimitzen l'efecte negatiu dels agroquímics aplicats al conreu, que per deriva poden arribar als hàbitats naturals i seminaturals que envolten els camps. A més, també són rellevants ecològicament, ja que poden ser refugi de fauna i flora (Marshall i Moonen, 2002).

Per tal d'entendre els patrons de diversitat vegetal dels sistemes agrícoles cal considerar tant l'interior dels camps com els marges, ja que ambdós entorns estan

molt relacionats. Les espècies arvenses que viuen en els conreus poden refugiar-se en els marges, i les espècies dels marges poden colonitzar temporalment l'interior dels camps. Així mateix, resulta especialment interessant estudiar la zona conreada adjacent al marge (la vora), ja que és on la interacció entre ambdós ambients és més evident.

En aquesta tesi doctoral, s'ha estudiat la diversitat vegetal en relació amb la intensificació agrícola a diferents escales espacials en tres posicions contrastades del camp (el marge, la vora i el centre), que difereixen en la intensitat de les pràctiques agrícoles (Figura 1).

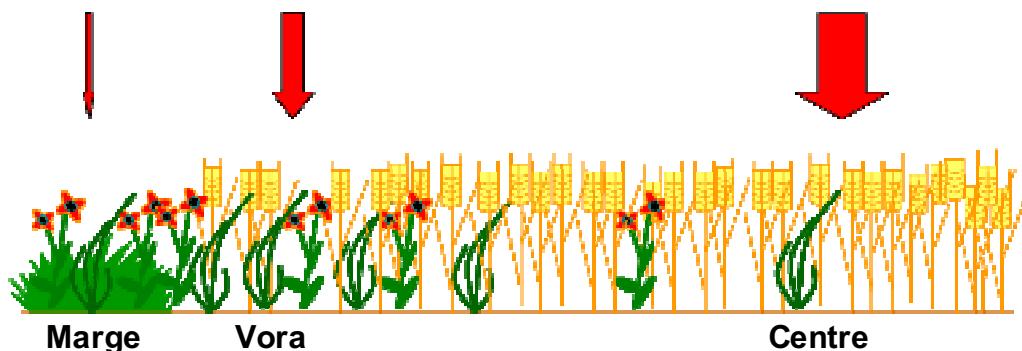


Figura 1: Esquema de la distribució espacial de les tres posicions del camp (marge, vora i centre) que s'han definit per avaluar la diversitat vegetal (modificat d'A. Romero). El gruix de les fletxes indica la intensitat de les pràctiques agrícoles a cada posició.

3. La intensificació agrícola

Arran de l'anomenada Revolució Verda, a partir dels anys 60, l'agricultura ha sofert una forta intensificació, que es veu reflectida tant a escala de paisatge com a escala de camp. Aquesta intensificació ha permès un augment molt important de la producció (Figura 2A), però també ha comportat una important pèrdua de la diversitat vegetal en els sistemes agrícoles i canvis profunds en la composició específica de les comunitats vegetals. A Catalunya, per exemple, la comparació de la flora arvensa dels conreus de cereals dels anys 50 als 80 amb l'any 2005 reflecteix que la riquesa florística ha disminuït més d'un 60 % (Chamorro *et al.*, 2007). Aquesta reducció és

encara més accentuada (més del 80 %) en el cas de la flora segetal, pròpia dels sembrats, com ara el gerdell (*Lathyrus aphaca* L.), el blauet (*Centaurea cyanus* L.), la ballarina (*Hypocoum procumbens* L.) o l’herba de l’amor (*Ranunculus arvensis* L.). Per això, actualment, la majoria d’aquestes espècies han esdevingut rares, tant pel que fa a la seva freqüència com abundància.

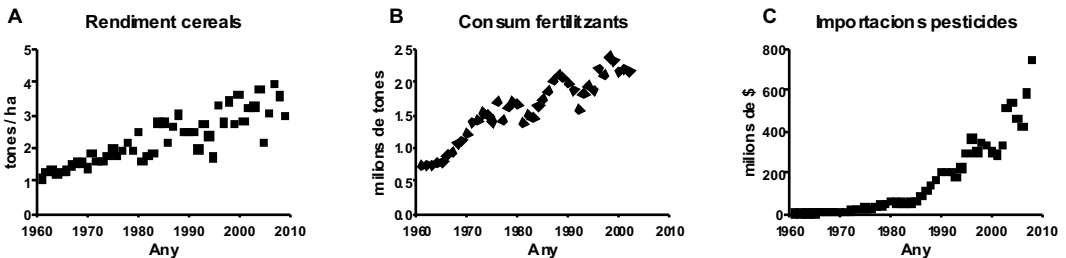


Figura 2: Tendències de l’agricultura a Espanya durant els darrers 50 anys. A) Rendiment dels cereals. B) Consum de fertilitzants. C) Importacions de pesticides. Elaborat a partir de dades de Faostat (2011).

La simplificació de les comunitats vegetals a conseqüència de la pèrdua de diversitat afecta negativament el funcionament dels agrosistemes (Matson *et al.*, 1997). Per aquest motiu, hi ha una creixent preocupació per establir mesures de gestió que permetin revertir aquesta tendència. Així, la Política Agrària Comuna té entre les seves prioritats protegir la biodiversitat i preservar els paisatges tradicionals agrícoles (European Commission, 2011). Per això, s’han proposat diverses mesures agroambientals en què els agricultors que voluntàriament s’hi acullen poden rebre compensacions econòmiques si modifiquen les seves pràctiques agrícoles per tal de reduir la pressió ambiental associada a aquestes activitats. Aquestes mesures inclouen, entre altres, la reducció de l’ús de pesticides, l’ús eficient de fertilitzants, el manteniment dels marges arbrats, així com el foment de l’agricultura ecològica (European Commission, 2011). La implementació d’aquestes mesures en diferents regions i països europeus és força irregular i la seva efectivitat s’ha posat en dubte (Kleijn *et al.*, 2006; Whittingham, 2007). Per això, és necessari estudiar els efectes de la intensificació agrícola sobre la diversitat en diferents contextos bioclimàtics i

paisatgístics, per tal de proposar mesures de gestió específiques per a cada regió que permetin compatibilitzar l'activitat agrícola i la conservació dels recursos naturals.

Diversos estudis han avaluat els efectes de la intensificació agrícola a diferents escales espacials (Gaba *et al.*, 2010; Gabriel *et al.*, 2010; Roschewitz *et al.*, 2005) i l'efectivitat de diverses mesures agroambientals (Snoo, 1997; Walker *et al.*, 2007) al centre i el nord d'Europa. Però els seus resultats no es poden extrapolar de manera directa a Catalunya, ja que les seves peculiaritats agronòmiques, climàtiques i paisatgístiques poden modificar les relacions entre la intensificació agrícola i la diversitat vegetal. La baixa precipitació i la gran variabilitat interanual en la disponibilitat d'aigua que caracteritzen el clima mediterrani afecten els rendiments dels conreus i les interaccions competitives entre les espècies arvenses i les plantes conreades (Liancourt *et al.*, 2005). A més, la relació entre la intensificació agrícola i la biodiversitat també pot veure's afectada per l'elevada diversitat de les comunitats arvenses (Holzner i Immonen, 1982) i dels hàbitats naturals i seminaturals que formen part del paisatge agrícola a la regió mediterrània.

3.1. Escala de camp

La intensificació agrícola, que a escala de camp es relaciona amb la gestió dels conreus, ha implicat principalment l'augment de les aportacions externes, com ara els biocides i els fertilitzants sintètics (Figura 2B i 2C), la simplificació de les rotacions de conreus, la pèrdua de diversitat conreada, la llaurada intensiva i l'ús de llavors comercials lliures de males herbes. Els sistemes agrícoles que resulten d'aquesta intensificació, molt especialitzats i caracteritzats, entre altres, per l'elevada dependència de les aportacions externes, conformen el que coneixem com agricultura convencional (Gliessman, 2000).

Per contra, l'agricultura ecològica empra un conjunt de pràctiques més sostenibles amb l'objectiu de reduir els efectes negatius sobre l'entorn, preservar la fertilitat del sòl, incrementar l'ús dels recursos interns i conservar la biodiversitat. Per aquesta raó, la gestió ecològica es caracteritza per prohibir els productes de síntesi química, afavorir la rotació dels cultius, tenir una fertilització basada en l'aplicació de

matèria orgànica i la incorporació d'adobs verds, controlar mecànicament la flora arvensis i, normalment, sembrar amb llavors que provenen de collites anteriors del mateix agricultor. Tot i que l'agricultura ecològica encara és un model productiu minoritari (aproximadament un 8 % de la superfície agrícola catalana), l'extensió total de terra agrícola gestionada de manera ecològica ha augmentat considerablement els darrers anys (a Catalunya l'any 2000 ocupava 10.827 ha i l'any 2009 era de 71.513 ha; CCPAE, 2011).

Diversos estudis han analitzat l'efecte de la intensitat de la gestió agrícola sobre la biodiversitat dels agrosistemes mitjançant la comparació de finques gestionades de manera ecològica i convencional (Bengtsson *et al.*, 2005; Hole *et al.*, 2005). Aquests estudis, que assumeixen que la gestió convencional és més intensa que l'ecològica i que les pràctiques agrícoles són força homogènies dins de cada sistema de gestió, mostren, en la majoria dels casos, que l'agricultura ecològica afavoreix la biodiversitat. Cal tenir en compte, però, que tot i que les pràctiques agrícoles dels sistemes gestionats de manera ecològica són, en general, menys intenses que les dels sistemes convencionals, existeix una gran variabilitat en la gestió dins de cada sistema (Armengot, 2010). Per això, el coneixement de les pràctiques agrícoles emprades per cada agricultor permet valorar de manera més acurada la intensitat de la gestió i defugir l'excessiva simplicitat de la clàssica dicotomia entre ambdós sistemes.

3.2. Escala de paisatge

La intensificació agrícola també es posa de manifest a escala de paisatge. La concentració parcel·laria de la segona meitat del segle XX, que va comportar l'agregació de camps i la reducció i simplificació estructural de molts dels hàbitats associats als conreus, ha transformat els paisatges agrícoles (Kleijn i Sutherland, 2003). Així, els sistemes agrícoles han passat de ser més o menys complexos, formats per un mosaic de conreus i marges, i amb una proporció elevada d'hàbitats naturals i seminaturals al seu voltant, a ser paisatges simples, dominats per extenses àrees cultivades amb poca heterogeneïtat espacial (Gabriel *et al.*, 2006; Tschamtkke *et al.*, 2005). Per tal de caracteritzar el grau d'intensificació agrícola a escala de paisatge,

diversos estudis del centre d'Europa han utilitzat la proporció de cultius herbacis extensius com a indicador de la simplificació del paisatge (Gabriel *et al.*, 2006; Roschewitz *et al.*, 2005), ja que està molt correlacionada amb altres descriptors del paisatge.

L'estructura del paisatge agrícola mediterrani, que es caracteritza perquè els conreus herbacis sovint estan intercalats amb altres conreus minoritaris (com les vinyes, els ametllers i els oliverars) i assentaments humans, ens ha portat a considerar aquests usos del sòl conjuntament per calcular el percentatge de terra amb ús intens (PIL), que utilitzem com a indicador de la complexitat del paisatge. A més, com que el PIL és complementari al percentatge de terra amb hàbitats naturals i seminaturals, que es pot considerar com una font de diàspores per colonitzar els camps, la seva interpretació resulta més directa que la proporció de cultius herbacis extensius. Atès que el grau d'interacció entre els organismes i el seu entorn varia en funció de les seves característiques biològiques i l'escala espacial considerada, l'anàlisi de l'efecte de l'estructura del paisatge sobre la biodiversitat requereix conèixer l'àrea d'influència adequada. Per a la flora arvense s'ha constatat que la relació entre el context paisatgístic i la diversitat vegetal es manifesta de manera més evident quan la complexitat del paisatge s'avalua en un cercle d'1 km de radi (Gabriel *et al.*, 2005). Per això, en aquesta tesi s'ha caracteritzat, a partir de la informació de la Cartografia dels Hàbitats de Catalunya (Carreras i Diego, 2004), l'estructura del paisatge en cercles d'1 km de radi al voltant de cada camp (Figura 3).

Nombrosos estudis han avaluat la relació entre la complexitat del paisatge i la flora arvense al centre i el nord d'Europa, sense arribar a obtenir un patró uniforme. Mentre alguns estudis neguen l'efecte de la complexitat del paisatge sobre la flora arvense (Gaba *et al.*, 2010; Marshall, 2009), els treballs de Gabriel *et al.* (2005) i de Roschewitz *et al.* (2005) constaten que la diversitat de la flora arvense augmenta en incrementar la complexitat del paisatge, perquè els paisatges complexos tenen una gran quantitat d'hàbitats alternatius que poden ser una font de diàspores per colonitzar els camps. Així doncs, aquests darrers estudis recolzen que la flora arvense no només depèn de la gestió dels camps, sinó també del seu entorn. A més, els resultats de

Roschewitz *et al.* (2005) suggereixen que tots dos factors poden interactuar, ja que la influència de la complexitat del paisatge és més forta en els camps convencionals que en els ecològics. Així, diversos autors han proposat la hipòtesi de *la compensació per la complexitat del paisatge* (Tschardtke *et al.*, 2005), que postula que les característiques del paisatge poden contrarestar els efectes negatius de les pràctiques agrícoles sobre la diversitat vegetal.

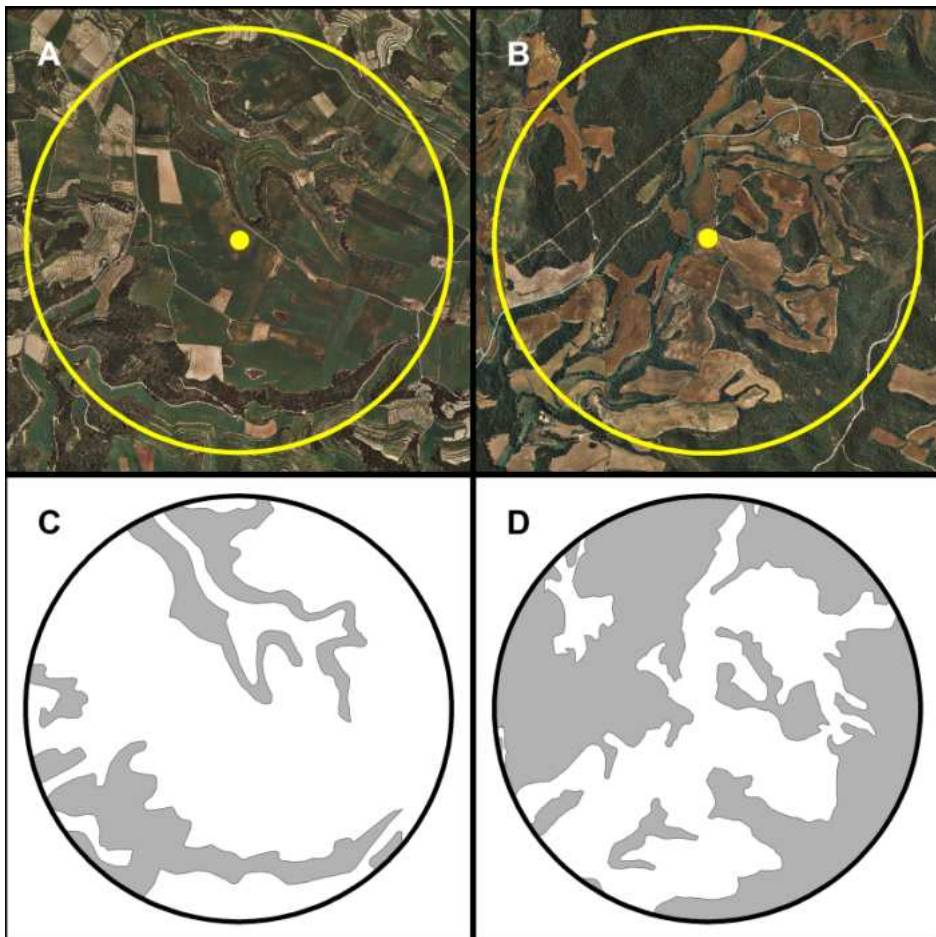


Figura 3: Ortofotoimatges (part superior) de dos dels paisatges estudiats, on es mostra amb un punt el camp seleccionat i, mitjançant un cercle, l'àrea d'1 km de radi al voltant del camp en què s'ha caracteritzat l'estructura del paisatge; i mapes d'hàbitats corresponents (part inferior), on en gris es representen els hàbitats naturals i en blanc els conreus i els assentaments humans. Les imatges corresponen a un paisatge simple (A i C), situat a Ciutadilla (l'Urgell), i a un paisatge complex (B i D), situat a Balsareny (el Bages).

Tenint en compte la dificultat de comparar els estudis a causa de les diferències metodològiques en la disposició espacial de les mostres per avaluar la diversitat vegetal i en el tractament estadístic de les dades, l'estudi simultani dels efectes del paisatge en diferents posicions (marge, vora i centre) hauria de permetre clarificar l'efecte de la complexitat del paisatge sobre la diversitat vegetal.

4. Àrees d'estudi i disseny experimental

4.1. Depressió Central Catalana

La part principal d'aquesta tesi doctoral (*Capítols 1, 2 i 3*) es va realitzar a la zona cerealística de la Depressió Central Catalana. Es tracta d'una àrea de clima mediterrani, amb una precipitació mitjana anual que oscil·la entre els 400 i els 850 mm i una temperatura mitjana anual que varia entre 11 i 14°C. Es van seleccionar quinze localitats situades a les comarques del Bages, el Berguedà, la Conca de Barberà, la Segarra, el Solsonès i l'Urgell (Figura 4A). La selecció de localitats va tenir en compte que l'estructura del paisatge fos diferent i que a cada localitat hi haguessin finques convencionals i finques amb gestió ecològica de més de sis anys d'antiguitat, per tal d'assegurar que la intensitat de la seva gestió fos també contrastada. Aquest disseny ens va permetre obtenir un gradient en la intensitat de la gestió i un gradient de complexitat del paisatge, amb valors de PIL que oscil·len entre el 19 % (paisatge complex) i el 100 % (paisatge simple). En els paisatges simples domina la terra agrícola (Figura 3A i 3C), amb el blat i l'ordi com a cultius principals, mentre que els boscos, matollars, pastures i vegetació de ribera predominen en els paisatges complexos (Figura 3B i 3D).

A cada localitat, es van seleccionar dues finques, una gestionada de manera ecològica i una de convencional, i es van escollir dos camps de cada finca (Figura 4A). Per facilitar la comparació dels camps i minimitzar-ne la variabilitat es van seleccionar camps de blat (*Triticum aestivum* L.) o ordi (*Hordeum vulgare* L.) de mida i estructura similars. A cada camp es van delimitar tres àrees (posicions): el marge que limita el

camp, és a dir, el primer metre d'hàbitat no cultivat que envolta el conreu, la vora del camp adjacent al marge, entesa com el primer metre cultivat, i el centre del camp, a 20 m de distància de la vora. Es van establir quatre blocs al llarg del perímetre del camp, formats per tres parcel·les de 10 m × 1 m paral·leles al marge i situades a cadascuna de les posicions (3 posicions × 4 blocs = 12 parcel·les per camp; Figura 4B). La composició específica de cada parcel·la es va avaluar abans de la sega mitjançant la llista de totes les espècies presents en 20 quadrats de 25 cm × 25 cm uniformement distribuïts en cada parcel·la.

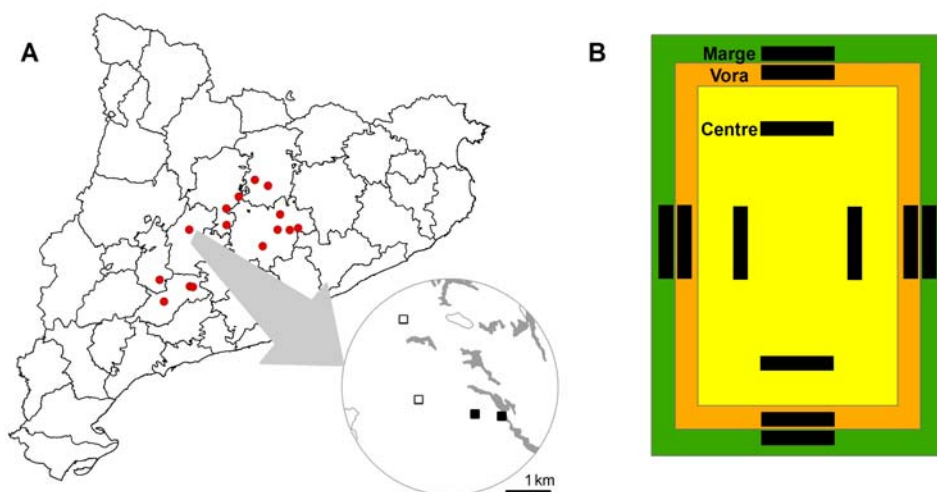


Figura 4: A) Situació de les quinze localitats estudiades a Catalunya i ampliació d'una localitat en què s'indica la ubicació dels quatre camps seleccionats (dos ecològics, quadrats blancs, i dos convencionals, quadrats negres). B) Esquema d'un camp i de la distribució de les parcel·les de 10 m × 1 m delimitades per avaluar la diversitat vegetal del marge, la vora i el centre.

En els diferents treballs es van analitzar: a) la riquesa total d'espècies, b) la riquesa d'espècies segetals (segons la seva adscripció fitosociològica a l'Ordre *Secalietalia cerealis* Br.-Bl., 1936), c) la composició florística i d) la freqüència relativa de les diverses formes vitals (teròfits, hemicriptòfits i geòfits, i camèfits i faneròfits) i formes de creixement (gramínies, lleguminoses i altres dicotiledònies), i de les espècies anemocores i anemòfiles. També es van extreure mostres de sòl de les parcel·les situades a la vora i al centre per avaluar-ne la diversitat i l'abundància del

banc de llavors. L'anàlisi del banc de llavors dels conreus aporta informació rellevant sobre la història del camp, ja que és un reflex dels processos que han succeït en el passat i, per tant, pot ser un bon indicador dels efectes de la intensificació agrícola. A més, el coneixement del banc de llavors, que té un important valor predictiu pel que fa a futures infestacions, és una eina molt útil per gestionar correctament la flora arvensa (Gliessman, 2000).

Per tal d'obtenir informació de les pràctiques agrícoles emprades en els camps seleccionats es van entrevistar presencialment els agricultors. Els camps convencionals eren cultivats majoritàriament amb cereals en règim de monocultiu i amb grans aportacions externes d'agroquímics (fertilitzants i herbicides). Els ecològics, en canvi, alternaven el conreu de cereals amb altres cultius, principalment lleguminoses, i eren fertilitzats només orgànicament, sense arribar als nivells de fertilització dels camps convencionals. No obstant, la informació obtinguda ens va permetre constatar que hi ha una gran variabilitat en les pràctiques agrícoles emprades per cada agricultor dins de cada sistema de gestió. Per això, vam valorar la idoneïtat d'utilitzar diferents indicadors de la intensitat de la gestió en funció de l'objectiu dels diferents treballs. Així, la quantitat d'aportacions externes de nitrogen, que es relaciona negativament amb la diversitat d'espècies arvenses (Armengot, 2010), l'hem emprat com a indicador de la intensitat de la gestió en el *Capítol 1*, mentre que el tipus de gestió (ecològica *versus* convencional) ha estat utilitzat en els *Capítols 2 i 3*, i les pràctiques agrícoles que potencialment poden afectar la diversitat vegetal han estat utilitzades en els *Capítols 3 i 4*.

4.2. Gallecs

Les vores dels camps presenten un elevat potencial per a la conservació de la biodiversitat, atès que la diversitat vegetal acostuma a ser més gran en aquesta àrea del camp, on les pràctiques agrícoles no són tan intenses com en el centre dels conreus (Romero *et al.*, 2008). Aquest fet ens va motivar a plantejar un experiment per avaluar l'efecte de la fertilització i el control de la flora arvensa sobre la diversitat vegetal de les vores (*Capítol 4*). L'estudi es va dur a terme a l'Espai Rural de Gallecs (Vallès

Oriental), una zona agrícola de 747 ha situada a 15 km de Barcelona i inclosa en el Pla d'Espais d'Interès Natural. Es tracta, per tant, d'un espai periurbà que, per les seves singularitats, ofereix diversos valors a la població del seu entorn, eminentment urbana, entre els quals destaquen el seu valor paisatgístic i el seu ús com a espai d'oci (Safont, 2008; Sans, 2008). L'any 2005 va començar un procés de reconversió a l'agricultura ecològica i actualment prop de la meitat dels camps es gestionen de manera ecològica. És una zona de clima mediterrani subhúmit (precipitació mitjana anual: 602 mm; evapotranspiració: 849 mm) i sòls calcaris.

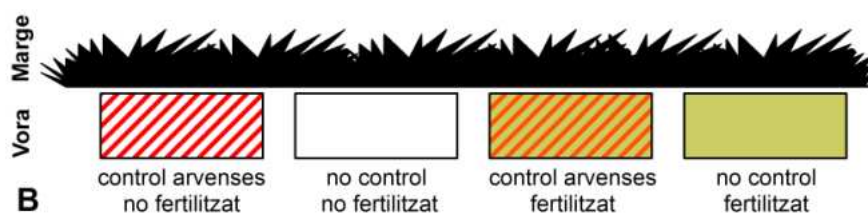


Figura 5: A) Vista aèria de Gallecs on s'indiquen els camps seleccionats (en groc, camps convencionals; en verd, camps ecològics). B) Esquema del disseny experimental a la vora d'un camp. Els tractaments es van aplicar aleatòriament en parcel·les de 4 m × 10 m.

Introducció general

L'experimentació es va realitzar a les vores de quatre camps ecològics i quatre convencionals (Figura 5A) durant tres anys consecutius. Els camps convencionals es van sembrar cada any amb ordi (*Hordeum distichon* L.), mentre que en els camps ecològics l'ordi es va alternar amb erb (*Vicia ervilia* (L.) Willd.). A la vora de cada camp es van disposar de manera uniforme i paral·lela al marge quatre parcel·les permanents de 4 m × 10 m, procurant l'homogeneïtat en l'estructura de la vegetació i l'orientació dels marges. En aquestes parcel·les (Figura 5B) es van aplicar de manera creuada els diferents tractaments de fertilització (orgànica en els camps ecològics i química en els convencionals) i control de la flora arvense (amb grada de pues flexibles i herbicides, respectivament). Amb l'objectiu de valorar la idoneïtat dels diferents tractaments per preservar la flora arvense, es va avaluar la riquesa d'espècies de les diferents parcel·les, així com la biomassa de cereal i de flora arvense, el primer i el tercer any d'estudi.

OBJECTIUS

L'objectiu general d'aquesta tesi doctoral és estudiar els efectes de la intensificació agrícola a diferents escales espacials (paisatge i camp) sobre la diversitat vegetal dels conreus de cereals de secà a Catalunya en diferents posicions del camp (centre, vora i marge), per tal de proposar mesures de gestió que permetin revertir la pèrdua de diversitat d'aquests sistemes agrícoles. Amb aquesta finalitat, s'ha analitzat la diversitat vegetal del centre, la vora i el marge de 58 camps de cereals d'hivern amb gestió ecològica i convencional situats en un gradient de complexitat del paisatge. A més, s'ha estudiat experimentalment l'efecte del control de la vegetació arvense i de la fertilització sobre la diversitat de la flora arvense de les vores de quatre conreus ecològics i quatre convencionals.

Els objectius específics de cadascun dels quatre capítols en què s'ha estructurat la present tesi doctoral s'enumeren a continuació:

Capítol 1

i. Caracteritzar la diversitat total de plantes i d'espècies segetals al centre, la vora i el marge dels camps de cereals de la Depressió Central Catalana.

ii. Analitzar els efectes de la intensificació agrícola a escala de paisatge (pèrdua d'hàbitats naturals i seminatural) i de camp (intensitat de la gestió) sobre la riquesa d'espècies i la composició florística.

iii. Avaluar la importància relativa de la intensificació agrícola a escala de camp i de paisatge al centre, la vora i el marge dels camps de cereals.

Capítol 2

i. Caracteritzar morfològicament i funcional les comunitats vegetals del centre, la vora i el marge dels camps de cereals, mitjançant l'anàlisi de les formes vitals i de creixement i el tipus de pol·linització i de disseminació.

Objectius

ii. Estudiar els efectes de la intensificació agrícola a diferents escales sobre la composició morfològica i funcional de les comunitats vegetals en tres posicions contrastades del camp (centre, vora i marge), que difereixen en el grau de pertorbació i en la proximitat als hàbitats naturals i seminaturals adjacents.

Capítol 3

i. Analitzar l'efecte de la complexitat del paisatge, avaluada a partir del percentatge de terra amb ús intens, la intensitat de la gestió (ecològica i convencional) i la posició dins del camp (vora i centre) sobre la mida i la riquesa d'espècies del banc de llavors del sòl dels conreus de cereals.

ii. Avaluar la relació entre les pràctiques agrícoles i el banc de llavors per tal de proposar mètodes de gestió que permetin compatibilitzar el control de les infestacions de les espècies arvenses i el manteniment de la diversitat de la flora arvense dels conreus.

Capítol 4

i. Analitzar l'efecte de la fertilització (orgànica en els camps ecològics i química en els convencionals) i el control de la flora arvense (mecànic en els camps ecològics i químic en els convencionals) sobre l'abundància i la riquesa de la flora arvense i el rendiment del cultiu a les vores dels camps de cereals.

ii. Analitzar l'efecte de la fertilització i el control de la flora arvense sobre la riquesa d'espècies beneficioses, és a dir, aquelles que tenen més valor potencial pels invertebrats i les aus i tenen una baixa capacitat competitiva.

iii. Avaluar els efectes a mitjà termini de la fertilització i del control de la flora arvense sobre l'abundància i la diversitat d'espècies arvenses i el rendiment del cultiu a les vores dels camps de cereals.

INFORMES DEL DIRECTOR

1. Informe del director del factor d'impacte de les publicacions presentades

El Dr. F. Xavier Sans i Serra, director de la tesi doctoral de la Laura José María Domínguez, presenta el següent informe sobre el factor d'impacte de les publicacions que formen part de la present memòria.

1. Effects of agricultural intensification on plant diversity in Mediterranean dryland cereal fields. José-María, L., Armengot, L., Blanco-Moreno, J.M., Bassa, M. & Sans, F.X. *Journal of Applied Ecology* 2010, 47, 832–840.

2. How does agricultural intensification modulate changes in plant community composition? José-María, L., Blanco-Moreno, J.M., Armengot, L. & Sans, F.X. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. En premsa. Disponible a DOI:10.1016/j.agee.2010.12.020.

3. Weed seedbanks in arable fields: effects of management practices and surrounding landscape. José-María, L. & Sans, F.X. Sotmès per segona vegada després de revisions menors per a la seva publicació a *Weed Research*..

4. The conservation of arable plants at crop edges in Mediterranean cereal fields. José-María, L., Armengot, L., Chamorro, L. & Sans, F.X. Sotmès per a la seva publicació a *Biological Conservation*.

Els quatre articles que formen part de la memòria de la tesi doctoral de la Laura José María Domínguez han estat sotmesos per a la seva publicació a revistes científiques d'àmbit internacional i que consten al Science Citation Index. L'article del capítol 1 ha estat publicat a *Journal of Applied Ecology*, revista amb un índex d'impacte de 4,197 i que es situa al primer quartil de l'àrea *Ecology*, mentre que l'article del capítol 2 ha estat acceptat per la seva publicació a *Agriculture, Ecosystems and Environment*, revista amb un índex d'impacte de 3.130 i que es situa la primera de l'àrea *Agriculture, Multidisciplinary*. L'article és a disposició dels lectors des del 26 de gener de 2011 a través de la pàgina web de la revista i recentment disponible a DOI:10.1016/j.agee.2010.12.020. Els articles dels capítols 3 i 4 han estat sotmesos per a la seva publicació respectivament a *Weed Research* (SCI = 2,033) i *Biological Conservation* (SCI = 3,167). Ambdues revistes estan situades al primer quartil de les àrees d'*Agronomy* i *Biodiversity Conservation* respectivament.

Barcelona, abril de 2011

F. Xavier Sans Serra
Departament de Biologia Vegetal
Universitat de Barcelona

2. Informe del director sobre la participació de la doctoranda en les publicacions

El Dr. F. Xavier Sans i Serra, director de la tesi doctoral de la Laura José María Domínguez, presenta el següent informe sobre la contribució de la doctoranda en cadascuna de les publicacions presentades en la present memòria.

Capítol 1

Effects of agricultural intensification on plant diversity in Mediterranean dryland cereal fields. José-María, L., Armengot, L., Blanco-Moreno, J.M., Bassa, M. & Sans, F.X.

Contribució de la doctoranda: Participació en el disseny experimental de l'estudi, realització dels inventaris florístics i les enquestes als agricultors, elaboració i anàlisi de les dades, redacció de la primera versió del manuscrit i revisions posteriors.

Contribució dels altres autors: Laura Armengot (LA), participació en el disseny experimental de l'estudi i participació en la redacció del manuscrit; José Manuel Blanco-Moreno (JMBM), participació en el disseny experimental de l'estudi i en la realització dels inventaris florístics, assessorament en l'anàlisi de dades i participació en la redacció del manuscrit; Montse Bassa (MB), participació en el disseny experimental de l'estudi, en la realització dels inventaris florístics i en les enquestes als agricultors; F. X. Sans (FXS), participació en el disseny experimental i en la realització dels inventaris florístics, participació en l'anàlisi de dades, direcció i supervisió, i participació en la redacció del manuscrit.

Capítol 2

How does agricultural intensification modulate changes in plant community composition? José-María, L., Blanco-Moreno, J.M., Armengot, L. & Sans, F.X.

Contribució de la doctoranda: Participació en el disseny experimental de l'estudi, realització dels inventaris florístics i les enquestes al agricultors, elaboració i anàlisi de les dades, redacció de la primera versió del manuscrit i revisions posteriors.

Contribució dels altres autors: JMBM, participació en el disseny experimental de l'estudi i en la realització dels inventaris florístics, assessorament en l'anàlisi de dades i participació en la redacció del manuscrit; LA, participació en el disseny experimental de l'estudi i participació en la redacció del manuscrit; FXS, participació en el disseny de l'estudi, participació en la realització dels inventaris florístics, participació en l'anàlisi de dades, direcció i supervisió, i participació en la redacció.

Capítol 3

Weed seedbanks in arable fields: effects of management practices and surrounding landscape. José-María, L. & Sans, F.X.

Contribució de la doctoranda: Participació en el disseny experimental de l'estudi, recollecció de les mostres de sòl i realització de les enquestes als agricultors, identificació i comptatge de plàntules de les safates amb les mostres de sòl als hivernacles de la UB, elaboració i anàlisi de les dades, redacció de la primera versió del manuscrit i revisions posteriors.

Contribució dels altres autors: FXS, participació en el disseny de l'estudi, participació en la identificació i comptatge de plàntules de les safates amb les mostres de sòl als hivernacles de la UB, participació en l'anàlisi de dades, direcció i supervisió, i participació en la redacció.

Capítol 4

The conservation of arable plants at crop edges in Mediterranean cereal fields. José-María, L., Armengot, L., Chamorro, L. & Sans, F.X.

Contribució de la doctoranda: Participació en el disseny experimental de l'estudi, recol·lecció de les mostres al camp i processament al laboratori, anàlisi de les dades, redacció de la primera versió del manuscrit i revisions posteriors.

Contribució dels altres autors: LA, participació en el disseny experimental de l'estudi, recol·lecció de les mostres al camp i processament al laboratori i participació en la redacció del manuscrit; Loudres Chamorro (LCh), participació en el disseny experimental de l'estudi, en la recol·lecció de les mostres al camp i participació en la redacció del manuscrit; FXS, participació en el disseny de l'estudi, participació en la recol·lecció de les mostres al camp i en l'anàlisi de dades, direcció i supervisió, i participació en la redacció.

Finalment certifico que cap dels coautors dels articles abans esmentats ha utilitzat de manera implícita o explícita aquests treballs per a l'elaboració d'una altra tesi doctoral.

Barcelona, abril de 2011.

F. Xavier Sans Serra
Departament de Biologia Vegetal
Universitat de Barcelona

DISCUSSIÓ GLOBAL

1. La distribució espacial de la vegetació

La composició florística i l'estructura de la vegetació aèria establerta i del banc de llavors dels camps de cereals, avaluada a partir de l'abundància i la riquesa d'espècies, varia des del marge al centre dels camps; és a dir, al llarg del gradient creixent d'intensitat de les pràctiques agrícoles i de distància als hàbitats naturals i seminaturals adjacents. L'estudi ha constatat que la riquesa d'espècies de la vegetació aèria establerta disminueix al llarg d'aquest gradient (*Capítol 1*) i que el nombre d'espècies i el nombre total de llavors del sòl (*Capítol 3*) és més gran a la vora que al centre dels camps (Clough *et al.*, 2007; Marshall, 1989; Romero *et al.*, 2008; Wilson i Aebischer, 1995).

Aquest patró espacial s'explica per la diferent importància que tenen les pràctiques agrícoles i l'estructura del paisatge a cada una de les posicions considerades. D'una banda, la gestió s'intensifica des del marge cap a l'interior dels camps i afecta negativament el manteniment i la persistència de les poblacions de nombroses espècies, a causa principalment d'un increment de la pertorbació del sòl mitjançant la llaurada i de l'aplicació d'aportacions externes (fertilitzants i herbicides). De l'altra, la importància dels hàbitats naturals i seminaturals com a font de diàspores per colonitzar els camps, tant a escala local, a partir de la vegetació dels hàbitats adjacents, com a escala regional, a partir de les comunitats que formen part del paisatge, disminueix a mesura que ens allunyem del marge, és a dir, a mesura que entrem cap a l'interior del camp.

No obstant, les espècies segetals, pròpies dels sembrats, a més de trobar-se molt poc representades, presenten un patró de distribució espacial diferent, ja que viuen preferentment a les vores dels camps (*Capítol 1*). La menor intensitat de les pràctiques agrícoles a la vora respecte al centre dels conreus, que es manifesta per una reducció en l'eficàcia de la sembra, la fertilització i sobretot el control de la flora arvensa (Kleijn i van der Voort, 1997; Romero *et al.*, 2008), explica l'augment de la diversitat i abundància de les espècies segetals en aquesta posició del camp. A més, les poblacions d'aquestes espècies tampoc poden mantenir-se en els marges a causa de l'elevada

competència pels recursos (espai, llum, nutrients) de la vegetació establerta (Marshall, 2009). Només quan els marges són pertorbats periòdicament i estan ocupats per comunitats ruderals poden ser hàbitats temporalment favorables per les espècies segetals.

La composició florística de les comunitats vegetals dels camps de cereals també varia en relació amb les diferents posicions estudiades (*Capítol 1*), a causa de canvis en la importància relativa de les pràctiques agrícoles i dels hàbitats adjacents. Aquest fet queda reflectit per la comparació florística entre el marge, la vora i el centre i la posterior ordenació dels inventaris mitjançant mètodes multivariants que, de manera similar als estudis de Dutoit *et al.* (2007), agrupa de forma clara els inventaris segons la posició. Així doncs, la flora dels marges està constituïda principalment per espècies típiques dels hàbitats naturals i seminaturals que envolten els camps (principalment prats secs anuals i perennes, brolles, boscos i herbassars ruderals), al centre predominen espècies ruderals i arvenses, com ara el margall (*Lolium rigidum* Gaudin), la rosella (*Papaver rhoeas* L.) i la corretjola (*Convolvulus arvensis* L.), mentre que a les vores poden coexistir ambdós tipus d'espècies.

L'anàlisi de les comunitats vegetals del marge, la vora i el centre dels camps de cereals a partir dels atributs morfològics i funcionals de les espècies (*Capítol 2*) ha permès aprofundir en la relació entre les característiques biològiques de les espècies i les condicions ecològiques dels ambients que ocupen. L'estudi indica que la importància relativa de les diverses formes vitals varia en relació amb el grau de pertorbació del sòl (Lavorel i Garnier, 2002; McIntyre *et al.*, 1999). El centre i la vora, a diferència del marge, són conreats anualment i, per tant, estan sotmesos a un nivell de pertorbació del sòl molt més elevat. Per això, les espècies anuals (teròfits) guanyen importància a mesura que ens endinsem cap a l'interior dels camps, mentre que les espècies perennes (hemicriptòfits, geòfits, camèfits i faneròfits), que necessiten ambients més estables per sobreviure, ocupen preferentment els hàbitats adjacents als camps. D'altra banda, l'estudi constata que la proporció d'espècies pol·linitzades pel vent és més gran al marge que al centre i la vora del camp, fet que s'explica per la dominància de gramínies anemòfiles en alguns dels hàbitats que formen els marges. A

més, moltes espècies arvenses han desenvolupat estratègies que afavoreixen l'autopol·linització com a adaptació als canvis periòdics que imposen les pràctiques agrícoles (Regal, 1982), a diferència de la majoria de plantes d'hàbitats naturals que es troben als marges, entre les quals domina la pol·linització pel vent i pels insectes.

2. L'efecte del paisatge sobre la diversitat vegetal

La relació que existeix entre l'estructura del paisatge i la diversitat vegetal dels camps de cereals reflecteix que el paisatge afecta la composició florística i la riquesa d'espècies de les comunitats vegetals que colonitzen aquests camps (Gabriel *et al.*, 2005; Roschewitz *et al.*, 2005). A més, la influència de la complexitat del paisatge, que s'ha avaluat a partir del percentatge de terra ocupada per conreus i assentaments humans (PIL), varia en relació amb la posició dins del camp: és màxima en els marges, manté certa importància a les vores i en canvi és irrellevant al centre dels camps. Aquest patró general es constata en l'anàlisi de l'efecte de la complexitat del paisatge sobre la riquesa d'espècies de la vegetació aèria establerta i del banc de llavors del sòl (*Capítols 1 i 3*). També es corrobora en relacionar el paisatge i la composició de les comunitats vegetals, tant pel que fa a les similituds florístiques com a la distribució dels atributs morfològics i funcionals de les espècies que en formen part (*Capítols 1 i 2*).

La diversitat vegetal dels marges dels camps és més gran en els paisatges complexos que en els simples. Això es deu a què en zones amb paisatges complexos la proporció d'hàbitats naturals i seminaturals és més alta i aquests hàbitats poden ser una font de diàspores per colonitzar els marges. Així mateix, la diversitat vegetal més gran dels marges incrementa el nombre d'espècies a les vores dels camps, atès que ambdós ambients són limítrofs i la seva proximitat en facilita l'intercanvi d'espècies (Gabriel *et al.*, 2006). L'efecte del paisatge és poc rellevant en el centre dels conreus (Gaba *et al.*, 2010), a causa de la reduïda capacitat de dispersió de la majoria de llavors que provenen dels hàbitats adjacents (Devlaeminck *et al.*, 2005). A més, tot i que les llavors puguin arribar al centre, l'elevada intensitat de les pràctiques agrícoles

(llaurada, aplicació de fertilitzants i herbicides) dificulta que les espècies sense adaptacions per fer front a perturbacions fortes puguin establir-hi poblacions viables (Marshall, 2009).

Tanmateix, cal subratllar que la complexitat del paisatge no afecta l'abundància de llavors presents al sòl, ni tan sols a les vores dels camps (*Capítol 3*). Sovint, les espècies que viuen als hàbitats dels marges, a diferència de les espècies arvenses, produeixen poques llavors amb una viabilitat curta i, per això, la seva contribució al nombre total de llavors que trobem a la vora i al centre dels camps és negligible. Per tant, la vegetació dels marges difícilment serà una font important de diàspores d'espècies arvenses (Devlaeminck *et al.*, 2005; Marshall, 1989), tret que aquesta presenti un clar caràcter ruderal.

L'estructura del paisatge també modifica les característiques morfològiques i funcionals de les comunitats vegetals dels camps de cereals (*Capítol 2*). La proporció d'espècies llenyoses que trobem als marges és més petita als paisatges simples a causa de la reduïda extensió de les comunitats arbòries i arbustives, que han estat en gran part eliminades per l'home. A més, la proporció més gran de boscos i matollars que es troba als paisatges complexos també explica les diferències observades en les estratègies de disseminació. En les àrees obertes, típiques dels paisatges simples, augmenta la proporció d'espècies anemocores, mentre que en les àrees amb paisatges més complexos augmenten les espècies zoocores com a conseqüència del predomini de boscos i matollars, que poden ser una font de diàspores per a la colonització dels marges (Hodgson i Grime, 1990).

3. L'efecte de la intensitat de la gestió agrícola

A fi d'avaluar l'efecte de la intensitat de la gestió agrícola sobre la flora dels camps de cereals de secà mediterranis es van utilitzar diferents indicadors segons els objectius específics de cada capítol. La comparació de la importància relativa de la gestió i del paisatge (*Capítol 1*) va requerir emprar una variable contínua que recollís la

variabilitat de les pràctiques agrícoles entre tots els pagesos (concretament, les aportacions exògenes de nitrogen). En canvi, l'anàlisi de l'efecte de la intensificació agrícola sobre la composició de les comunitats vegetals dels camps de cereals (*Capítol 2*) i sobre el banc de llavors del sòl (*Capítol 3*) es va dur a terme mitjançant la clàssica dicotomia entre la gestió ecològica i convencional, ja que la gestió convencional dels camps estudiats era més intensa que l'ecològica i aquesta aproximació simplificava la interpretació dels resultats. En tots els casos, s'ha constatat que la intensitat de la gestió agrícola afecta de forma remarcable la diversitat vegetal dels agrosistemes estudiats. Però, contràriament a l'efecte del paisatge, la importància relativa de la gestió augmenta de manera progressiva des del marge cap al centre dels camps, a causa de l'efectivitat més gran de les pràctiques agrícoles al centre que a la vora dels camps (Kleijn i van der Voort, 1997; Romero *et al.*, 2008) i a l'efecte limitat de la gestió en els marges.

De manera general, i en concordança amb estudis previs realitzats en zones de clima temperat (Bengtsson *et al.*, 2005; Hole *et al.*, 2005; Kleijn *et al.*, 2009), s'ha constatat que la intensificació agrícola a escala de camp redueix la diversitat vegetal, fins i tot als marges (*Capítol 1*). A més, l'abundància i la diversitat de la flora arvense del banc de llavors també es veuen afectades negativament als conreus amb gestió convencional (*Capítol 3*), tal i com prèviament havien descrit, entre altres, Roschewitz *et al.* (2005) i Ryan *et al.* (2010). Per tant, les pràctiques agrícoles específiques dels sistemes amb gestió convencionals (especialment l'aplicació d'herbicides) tenen un efecte més gran sobre les comunitats arvenses que les pràctiques que caracteritzen els sistemes amb gestió ecològica.

L'anàlisi de les característiques morfològiques i funcionals de les comunitats vegetals que colonitzen els camps de cereals ecològics i convencionals ha permès destacar els efectes selectius d'ambdós tipus de gestió sobre la forma de creixement i el tipus de pol·linització (*Capítol 2*). D'una banda, la importància de les espècies monocotiledònies és més gran en els camps convencionals, ja que la pressió dels herbicides ha causat una marcada regressió de les dicotiledònies. Aquest fet ha afavorit l'increment de les poblacions de gramínies (algunes d'elles resistents als herbicides;

Heap, 1997), com ara la cugula (*Avena sterilis* L.) i el margall (*Lolium rigidum* Gaudin), que actualment es troben entre les espècies arvenses més problemàtiques a Catalunya (Recasens *et al.*, 1996). A més, les plantes lleguminoses són molt poc importants en els camps convencionals, a causa de la seva elevada susceptibilitat als herbicides. L'absència d'herbicides i l'ús de fertilitzants orgànics en lloc dels minerals ha afavorit la recuperació de les lleguminoses en els conreus ecològics (van Elsen, 2000). Altrament, l'abundància més gran de plantes pol·linitzades pel vent al centre dels camps amb gestió convencional respecte els ecològics s'explica, d'una banda, per la predominança de gramínies, que a diferència de les dicotiledònies són majoritàriament anemòfiles i, per l'altra, per la disponibilitat més petita de pol·linitzadors en aquests camps, atès que tenen menys recursos florals dels quals alimentar-se (Holzschuh *et al.*, 2007; Morandin i Winston, 2006).

4. L'efecte de les diferents pràctiques agrícoles

Amb l'objectiu de valorar l'efecte de diverses pràctiques agrícoles sobre les comunitats vegetals dels camps de conreu s'ha estudiat la relació entre l'abundància i la riquesa d'espècies del banc de llavors del sòl i les pràctiques agrícoles emprades en 30 camps de cereals (*Capítol 3*). La informació sobre les pràctiques agrícoles realitzades durant els darrers cinc anys a cada camp estudiat es va obtenir mitjançant entrevistes als agricultors. També es va dissenyar un experiment per avaluar el paper de la fertilització (química en els camps convencionals i orgànica en els ecològics) i el control de la vegetació arvense (mitjançant herbicides i grada de pues flexibles, respectivament) sobre el desenvolupament del cereal i la flora arvense a les vores dels camps (*Capítol 4*).

D'ambdós treballs se'n desprèn que els herbicides són el principal factor que redueix la riquesa i l'abundància d'espècies, ja que aquests limiten l'establiment i el creixement de les plantes i la seva capacitat de produir llavors. En conseqüència, els herbicides poden reduir la disponibilitat de recursos per a grups tròfics que interaccionen amb la vegetació (Caballero-López *et al.*, 2010). Altrament, cal destacar

que en el nostre estudi els rendiments del cereal de les parcel·les amb i sense herbicides varen ser semblants. Aquests resultats, que contrasten amb els que han estat observats als Països Baixos (Snoo, 1997), poden estar relacionats amb l'escassa abundància de la flora arvense de les vores dels camps estudiats i amb diferències en les relacions de competència entre el cereal i la flora arvense. En aquest sentit, estudis previs al centre de la península Ibèrica han mostrat que la disponibilitat d'aigua és un factor limitant molt més important que la vegetació arvense pel desenvolupament del cereal (García-Martín *et al.*, 2007; Lacasta *et al.*, 2003).

L'origen de la sembradura és, conjuntament amb l'ús d'herbicides, un dels factors principals que afecta la mida i la diversitat del banc de llavors. Així doncs, la mida del banc de llavors del sòl dels camps que se sembren amb llavors comercials és més petita que la dels camps sembrats amb llavors de la pròpia collita. La sembradura, si no es neteja adequadament, és una font considerable de llavors d'espècies arvenses. A més, molts dels agricultors que reutilitzen la llavor, per falta de mitjans, no li fan cap tractament de neteja abans de sembrar-la, fet que agreuja encara més l'esmentat problema.

Els nostres treballs assenyalen que la grada de pues flexibles no té una gran efectivitat en els sistemes mediterranis. Tot i que les anàlisis del banc de llavors ens indiquen que la grada de pues redueix la riquesa específica i l'abundància de llavors, ho fa de forma poc notòria i no és una mesura suficient per controlar les possibles infestacions d'espècies arvenses dels camps ecològics. L'escàs efecte de la grada de pues flexibles sobre la flora arvense també s'ha posat de manifest en l'estudi experimental de l'efecte del control mecànic a les vores dels conreus. Cal assenyalar, però, que en aquest cas el patró observat pot estar relacionat amb el baix nivell d'infestació de les espècies arvenses a les vores estudiades (inferior al 4% de la biomassa total), que es trobaria per sota el llindar necessari perquè la grada de pues operi de manera eficient.

L'anàlisi de la relació entre la fertilització i la diversitat de la flora arvense a les vores dels camps mostra que l'aplicació de fems compostats i de fertilitzants de síntesi química no afecta l'abundància ni la diversitat de la flora arvense. Aquests resultats són

contraris als obtinguts al centre i el nord d'Europa, on les vores sense fertilitzar presenten unes comunitats arvenses més abundants i riques que les vores fertilitzades (Kleijn i van der Voort, 1997; Walker *et al.*, 2007). Tot i això, altres estudis realitzats a l'estat espanyol (García-Martín *et al.*, 2007; Guerrero *et al.*, 2010) també subratllen l'escassa importància dels nutrients sobre la biomassa i la riquesa de la flora arvense en els cultius de cereals de secà mediterranis. Contràriament, la fertilització afavoreix el desenvolupament del cultiu, tot i que el seu efecte varia d'un any a l'altre en relació amb les característiques climàtiques i, a mitjà termini, amb els seus efectes acumulatius.

L'anàlisi de l'efecte de la rotació de conreus, avaluada a partir del nombre de cultius de diferents famílies conreats durant els darrers cinc anys i el tipus de cultiu precedent, posa de manifest el paper positiu de les rotacions complexes sobre el banc de llavors del sòl. L'establiment de rotacions complexes permet mantenir la riquesa d'espècies i alhora redueix l'abundància de llavors que s'incorporen al sòl, prevenint, d'aquesta manera, futurs problemes d'infestacions d'espècies arvenses.

5. Implicacions per a la gestió

De manera general, els resultats d'aquesta tesi doctoral recolzen la necessitat de disminuir la intensificació agrícola, tant a escala de camp com de paisatge, per tal de preservar la diversitat vegetal dels agrosistemes. D'una banda, a escala de paisatge, cal limitar la reducció i la simplificació de la vegetació dels marges i, a la vegada, afavorir la recuperació dels hàbitats naturals. D'altra banda, a escala de camp, cal incentivar les pràctiques agrícoles poc intenses, no solament en àrees amb paisatges complexos (on predominen els hàbitats naturals i seminaturals), sinó també en àrees amb paisatges simplificats (amb una clara dominància dels conreus), ja que la complexitat del paisatge no compensa els efectes negatius de la intensificació agrícola a escala de camp. Aquest fet es contradiu amb la hipòtesi de *la compensació per la complexitat del paisatge* (Tschamtké *et al.*, 2005). A més, tenint en compte que en el centre dels camps la gestió sembla ser l'únic factor que afecta la diversitat de la flora arvense i que resulta

més senzill actuar a escala local, en comparació amb possibles accions a escala de paisatge, la promoció de pràctiques agrícoles de baixa intensitat, com ara els sistemes amb gestió ecològica, esdevé cabdal per conservar la biodiversitat.

Ara bé, l'anàlisi del banc de llavors ha revelat que els camps ecològics tenen un gran reservori de llavors al sòl i que, per tant, la flora arvense s'ha de gestionar de manera acurada per evitar futures infestacions i els problemes que se'n deriven. Cal tenir en consideració, però, que l'objectiu no ha de ser l'eliminació completa de la flora arvense, atès que és un element clau de la biodiversitat dels agrosistemes (Marshall *et al.*, 2003), sinó buscar alternatives a l'ús d'herbicides que permetin mantenir les poblacions d'espècies arvenses, especialment les més competitives, sota uns llindars d'infestació que facin compatible la producció i la conservació de la biodiversitat (Mortensen *et al.*, 2000). En aquest sentit, cal destacar la necessitat de millorar les tècniques de neteja de les llavors quan se sembra amb les de la pròpia collita per evitar l'entrada de llavors d'espècies arvenses barrejades amb la sembradura. A més, cal aprofundir en el disseny de la rotació dels cultius (Koocheki *et al.*, 2009), perquè les rotacions més complexes permeten controlar la mida de les poblacions de les espècies arvenses i eviten els efectes perjudicials de l'augment d'abundància de determinades espècies problemàtiques (McLaughlin i Mineau, 1995), però sense reduir els efectes positius que deriven del manteniment de la diversitat de la flora arvense.

Convé també subratllar que les repercussions d'una agricultura molt intensa sobrepassen sovint el límit del conreu i afecten la vegetació dels marges a causa de la possible arribada d'agroquímics per deriva (Boutin *et al.*, 2008; Marshall i Moonen, 2002). Si tenim en compte la importància dels marges en els agrosistemes, la limitació de l'ús d'herbicides, com a mínim a les vores dels camps, és fonamental. D'aquesta manera, s'evitaria l'efecte negatiu sobre la flora i la fauna dels hàbitats dels marges i s'afavoriria la flora arvense, especialment les espècies segetals, que es concentren preferentment a les vores (Marshall, 1989; Wilson i Aebischer, 1995).

CONCLUSIONS

En aquesta tesi s'ha abordat el paper de la intensificació agrícola a diferents escales espacials (paisatge i camp) sobre la diversitat vegetal dels conreus de cereals de secà de Catalunya en diferents posicions del camp (centre, vora i marge) que difereixen en la intensitat de la pertorbació i en la proximitat als hàbitats adjacents. A més, s'ha estudiat experimentalment l'efecte de les pràctiques agrícoles (control de la flora arvensis i fertilització) sobre la diversitat vegetal de les vores dels conreus. L'anàlisi de la diversitat vegetal s'ha realitzat des del punt de vista de l'estructura i la composició de les comunitats vegetals. L'estructura s'ha estimat a partir de la riquesa d'espècies de la vegetació aèria establerta i del banc de llavors del sòl, la biomassa aèria i el nombre de llavors del sòl. La composició s'ha avaluat a partir de les similituds florístiques entre inventaris i les característiques morfològiques (formes biològiques i de creixement) i funcionals (pol·linització i disseminació pel vent) de les plantes. A continuació s'exposen breument les principals conclusions dels diversos treballs recollits en aquesta tesi doctoral, les quals s'han explicat en les diferents publicacions i en la discussió general.

- La riquesa d'espècies de la vegetació aèria establerta disminueix des del marge fins al centre dels camps i el nombre d'espècies i de llavors del sòl és més gran a les vores que als centres. Aquests patrons responen al gradient creixent d'intensitat de les pràctiques agrícoles i de distància als hàbitats naturals i seminaturals adjacents des del marge al centre dels camps.
- L'estructura del paisatge afecta la composició i la riquesa d'espècies de les comunitats vegetals estudiades, a causa de les diferències en la proporció d'hàbitats naturals i seminaturals que poden ser una font de diàspores per colonitzar els camps. Per això, la diversitat vegetal dels camps augmenta en els paisatges complexos. Tanmateix l'efecte del paisatge no és homogeni en les diferents posicions del camp: és màxim als marges, manté certa importància a les vores i és gairebé nul al centre dels camps.

- La intensificació agrícola a escala de camp afecta la composició de la vegetació i redueix la riquesa d'espècies i la seva abundància, tant en la vegetació aèria com en el banc de llavors. La importància relativa de la gestió augmenta des del marge al centre dels camps perquè l'efectivitat de les pràctiques agrícoles és més gran al centre que a les vores i perquè els marges estan sotmesos a un nivell de pertorbació molt més baix.
- Les característiques morfològiques i funcionals de les comunitats vegetals varien en relació amb el grau d'intensificació agrícola. La diferent intensitat de pertorbació a què són sotmesos el marge, la vora i el centre afecta la importància relativa de les diverses formes vitals. La diferent sensibilitat als herbicides i als fertilitzants explica l'augment de la proporció de les monocotiledònies en els camps convencionals i de les lleguminoses en els ecològics. La simplificació del paisatge afavoreix les espècies anemocores.
- Per preservar la diversitat vegetal dels agrosistemes és necessari reduir la intensificació agrícola a escala de camp, afavorint pràctiques agrícoles poc intenses, i a escala de paisatge, limitant la reducció i la simplificació dels hàbitats dels marges.
- La complexitat del paisatge no compensa els efectes negatius de la gestió dels camps de cereals de secà mediterranis i, per tant, cal promoure pràctiques agrícoles de baixa intensitat tant en les àrees amb paisatges complexos com simples.
- Els camps ecològics presenten una important reserva de llavors al sòl i cal gestionar-la de forma acurada. La grada de pues flexibles no és una mesura suficient per controlar la flora arvensa. Quan se sembla amb llavors de la pròpia collita, cal millorar-ne les tècniques de neteja per minimitzar l'entrada de llavors no desitjades amb la sembradura. A més, s'han d'establir rotacions complexes, ja que permeten mantenir la riquesa d'espècies i alhora redueixen l'abundància d'arvenses.

- Els sistemes de gestió caracteritzats per unes pràctiques agrícoles molt intenses afecten negativament la vegetació dels marges. Cal regular l'ús d'herbicides a les vores dels camps per evitar el seu efecte negatiu sobre la biodiversitat dels marges i sobre les espècies segetals, que es concentren preferentment a les vores dels camps.
- És necessari adoptar mesures específiques per afavorir la diversitat de les vores dels conreus ecològics i convencionals, ja que l'abundància de la vegetació arvense pot ser-hi molt baixa. En aquests casos, no cal tenir en compte la fertilització ni el control mecànic de la vegetació, atès que no afecten la flora arvense, però és cabdal limitar l'ús d'herbicides.

BIBLIOGRAFIA

Albrecht, H. (2003). Suitability of arable weeds as indicator organisms to evaluate species conservation effects of management in agricultural ecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 98, 201-211.

Armengot, L. (2010). *La flora arvensa dels cereals de secà: efectes de la intensificació agrícola - Weed diversity of dryland cereal fields: effects of agricultural intensification*. Universitat de Barcelona. Barcelona, Espanya.

Bengtsson, J., Ahnström, J. i Weibull, A.C. (2005). The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: A meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, 42, 261-269.

Boutin, C., Baril, A. i Martin, P.A. (2008). Plant diversity in crop fields and woody hedgerows of organic and conventional farms in contrasting landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 123, 185-193.

Caballero-López, B., Blanco-Moreno, J.M., Pérez, N., Pujade-Villar, J., Ventura, D., Oliva, F. i Sans, F.X. (2010). A functional approach to assessing plant-arthropod interaction in winter wheat. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 123, 288-293.

Carreras, J. i Diego, F. (eds.). (2004). *Cartografia dels hàbitats a Catalunya (1:50.000)*. Departament de Medi Ambient i Habitatge, Generalitat de Catalunya. Barcelona, Espanya. <http://www20.gencat.cat>

Chamorro, L., Romero, A., Masalles, R.M. i Sans, F.X. (2007). Cambios en la diversidad de las comunidades arvenses en los cereales de secano en Cataluña. *Actas del XI Congreso 2007 de la Sociedad Española de Malherbología (SEMh)*. pp. 51-57. Albacete, Espanya.

CCPAE, Consell Català de la Producció Agrària Ecològica. (2011). www.ccpae.org

Clough, Y., Holzschuh, A., Gabriel, D., Purtauf, T., Kleijn, D., Kruess, A., Steffan-Dewenter, I. i Tschamtko, T. (2007). Alpha and beta diversity of arthropods and plants in organically and conventionally managed wheat fields. *Journal of Applied Ecology*, 44, 804-812.

DAR, Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural. (2009). *Dades bàsiques de l'agroalimentació a Catalunya 2009*. Generalitat de Catalunya. Espanya.

Devlaeminck, R., Bossuyt, B. i Hermy, M. (2005). Seed dispersal from a forest into adjacent cropland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 107, 57-64.

Dutoit, T., Buisson, E., Gerbaud, E., Roche, P. i Taton, T. (2007). The status of transitions between cultivated fields and their boundaries: Ecotones, ecoclines or edge effects? *Acta Oecologica-International Journal of Ecology*, 31, 127-136.

European Commission. Agriculture and rural development. (2011). <http://ec.europa.eu/agriculture/>

Faostat. (2011). <http://faostat.fao.org>

Gaba, S., Chauvel, B., Dessaint, F., Bretagnolle, V. i Petit, S. (2010). Weed species richness in winter wheat increases with landscape heterogeneity. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 138, 318-323.

Gabriel, D., Thies, C. i Tschardtke, T. (2005). Local diversity of arable weeds increases with landscape complexity. *Perspectives in Plant Ecology Evolution and Systematics*, 7, 85-93.

Gabriel, D., Roschewitz, I., Tschardtke, T. i Thies, C. (2006). Beta diversity at different spatial scales: Plant communities in organic and conventional agriculture. *Ecological Applications*, 16, 2011-2021.

Gabriel, D., Sait, S.M., Hodgson, J.A., Schmutz, U., Kunin, W.E. i Benton, T.G. (2010). Scale matters: The impact of organic farming on biodiversity at different spatial scales. *Ecology Letters*, 13, 858-869.

García-Martín, A., López-Bellido, R.J. i Coletto, J.M. (2007). Fertilisation and weed control effects on yield and weeds in durum wheat grown under rain-fed conditions in a Mediterranean climate. *Weed Research*, 47, 140-148.

Gliessman, S.R. (2000). *Agroecology: Ecological processes in sustainable agriculture*. Lewis Publishers. Florida, Estados Unidos.

Guerrero, I., Martínez, P., Morales, M.B. i Oñate, J.J. (2010). Influence of agricultural factors on weed, carabid and bird richness in a Mediterranean cereal cropping system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 138, 103-108.

Heap, I.M. (1997). The occurrence of herbicide-resistant weeds worldwide. *Pesticide Science*, 51, 235-243.

Hodgson, J.G. i Grime, J.P. (1990). The role of dispersal mechanisms, regenerative strategies and seed banks in the vegetation dynamics of the British landscape. *Species dispersal in agricultural habitats* (eds. H. Bunce i D. C. Howard). pp. 65-81. Belhaven Press. London, Gran Bretanya.

Hole, D.G., Perkins, A.J., Wilson, J.D., Alexander, I.H., Grice, F. i Evans, A.D. (2005). Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation*, 122, 113-130.

Holzner, W. i Immonen, R. (1982). Europe an overview. *Biology and Ecology of Weeds* (eds. W. Holzner i M. Numata). pp. 203-226. Dr.W. Junk Publishers. The Hague, Països Baixos.

Holzschuh, A., Steffan-Dewenter, I., Kleijn, D. i Tschardtke, T. (2007). Diversity of flower-visiting bees in cereal fields: Effects of farming system, landscape composition and regional context. *Journal of Applied Ecology*, 44, 41-49.

Kleijn, D., Baquero, R.A., Clough, Y., Díaz, M., De Esteban, J., Fernández, F., Gabriel, D., Herzog, F., Holzschuh, A., Jöhl, R., Knop, E., Kruess, A., Marshall, E.J.P., Steffan-Dewenter, I., Tschardtke, T., Verhulst, J., West, T.M. i Yela, J.L. (2006). Mixed biodiversity benefits of agri-environment schemes in five European countries. *Ecology Letters*, 9, 243-254.

Kleijn, D., Kohler, F., Báldi, A., Bártary, P., Concepción, E.D., Clough, Y., Díaz, M., Gabriel, D., Holzschuh, A., Knop, E., Kovács, A., Marshall, E.J.P., Tscharrntke, T. i Verhulst, J. (2009). On the relationship between farmland biodiversity and land-use intensity in Europe. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 276, 903-909.

Kleijn, D. i Sutherland, W.J. (2003). How effective are European agri-environment schemes in conserving and promoting biodiversity? *Journal of Applied Ecology*, 40, 947-969.

Kleijn, D. i van der Voort, L.A.C. (1997). Conservation headlands for rare arable weeds: The effects of fertilizer application and light penetration on plant growth. *Biological Conservation*, 81, 57-67.

Koocheki, A., Nassiri, M., Alimoradi, L. i Ghorbani, R. (2009). Effect of cropping systems and crop rotations on weeds. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 401-408.

Lacasta, C., García-Rojas, L., Estalrich, E. i Meco, R. (2003). Estudio de la flora arvense y de la productividad en un agroecosistema de cereales sometido a diferentes manejos agrícolas. *Actas IX Congreso 2003 Sociedad Española de Malherbología (SEMh)*. pp. 207-211. Barcelona, Espanya.

Lavorel, S. i Garnier, E. (2002). Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: Revisiting the holy grail. *Functional Ecology*, 16, 545-556.

Liancourt, P., Callaway, R.M. i Michalet, R. (2005). Stress tolerance and competitive-response ability determine the outcome of biotic interactions. *Ecology*, 86, 1611-1618.

Lososová, Z., Chytrý, M., Cimalová, S., Kropáč, Z., Otýpková, Z., Pyšek, P. i Tichý, L. (2004). Weed vegetation of arable land in central Europe: Gradients of diversity and species composition. *Journal of Vegetation Science*, 15, 415-422.

Marshall, E.J.P. (1989). Distribution patterns of plants associated with arable field edges. *Journal of Applied Ecology*, 26, 247-257.

Marshall, E.J.P. (2009). The impact of landscape structure and sown grass margin strips on weed assemblages in arable crops and their boundaries. *Weed Research*, 49, 107-115.

Marshall, E.J.P., Brown, V.K., Boatman, N.D., Lutman, P.J.W., Squire, G.R. i Ward, L.K. (2003). The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields. *Weed Research*, 43, 77-89.

Marshall, E.J.P. i Moonen, A.C. (2002). Field margins in northern Europe: Their functions and interactions with agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 89, 5-21.

Masalles, R.M. (2008). La flora i la vegetació de Catalunya al llarg del segle XX. *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, LXIV*.

Matson, P.A., Parton, W.J., Power, A.G. i Swift, M.J. (1997). Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science*, 277, 504-509.

McIntyre, S., Lavorel, S., Landsberg, J. i Forbes, T.D.A. (1999). Disturbance response in vegetation towards a global perspective on functional traits. *Journal of Vegetation Science*, 10, 621-630.

McLaughlin, A. i Mineau, P. (1995). The impact of agricultural practices on biodiversity. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 55, 201-212.

Morandin, L.A. i Winston, M.L. (2006). Pollinators provide economic incentive to preserve natural land in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 116, 289-292.

Mortensen, D.A., Bastiaans, L. i Sattin, M. (2000). The role of ecology in the development of weed management systems: An outlook. *Weed Research*, 40, 49-62.

Pimentel, D., Stachow, U., Takacs, D.A., Brubaker, H.W., Dumas, A.R., Meaney, J.J., O'Neil, J.A.S., Onsi, D.E. i Corzilius, D.B. (1992). Conserving biological diversity in agricultural/forestry systems. *Bioscience*, 42, 254-362.

Preston C.D., Telfer, M.G., Arnold, H.R., Carey, P.D., Cooper, J.M., Dines, T.D., Hill, M.O., Pearman, D.A., Roy, D.B i Smart, S.M. (2002). *The Changing Flora of the UK*. DEFRA. London, Gran Bretanya.

Recasens, J., Riba, F., Izquierdo, J., Fom, R. i Taberner, A. (1996). Gramíneas infestantes de los cereales de invierno de Cataluña. *ITEA Producción Vegetal*, 92, 116-130.

Regal, P.J. (1982). Pollination by wind and animals - ecology of geographic patterns. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 13, 497-524.

Romero, A., Chamorro, L. i Sans, F.X. (2008). Weed diversity in crop edges and inner fields of organic and conventional dryland winter cereal crops in NE Spain. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 124, 97-104.

Roschewitz, I., Gabriel, D., Tschamtk, T. i Thies, C. (2005). The effects of landscape complexity on arable weed species diversity in organic and conventional farming. *Journal of Applied Ecology*, 42, 873-882.

Ryan, M.R., Smith, R.G., Mirsky, S.B., Mortensen, D.A. i Seidel, R. (2010). Management filters and species traits: Weed community assembly in long-term organic and conventional systems. *Weed Science*, 58, 265-277.

Sáez, L., Aymerich, P. i Blanché, C. (2010). *Llibre vermell de les plantes vasculares endèmiques i amenaçades de Catalunya*. Argania editio. Barcelona, Espanya.

Safont, G. (2008). La reconversió a l'agricultura ecològica de l'espai rural de Gallecs dins de la regió metropolitana de Barcelona. *Notes*, 23, 199-242. Centre d'Estudis Molletans. Mollet del Vallès, Espanya.

Sans, F.X. (2008). L'agricultura ecològica: una eina per al desenvolupament rural sostenible. *Notes*, 23, 153-160. Centre d'Estudis Molletans. Mollet del Vallès, Espanya.

Snoo, G.R.d. (1997). Arable flora in sprayed and unsprayed crop edges. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 66, 223-230.

Tschamtko, T., Klein, A.M., Kruess, A., Steffan-Dewenter, I. i Thies, C. (2005). Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity - ecosystem service management. *Ecology Letters*, 8, 857-874.

Vandermeer, J., van Noordwijk, M., Anderson, J., Ong, C. i Perfecto, I. (1998). Global change and multi-species agroecosystems: Concepts and issues. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 67, 1-22.

van Elsen, T. (2000). Species diversity as a task for organic agriculture in Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 77, 101-109.

Walker, K.J., Critchley, C.N.R., Sherwood, A.J., Large, R., Nuttall, P., Hulmes, S., Rose, R. i Mountford, J.O. (2007). The conservation of arable plants on cereal field margins: An assessment of new agri-environment scheme options in England, UK. *Biological Conservation*, 136, 260-270.

Whittingham, M.J. (2007). Will agri-environment schemes deliver substantial biodiversity gain, and if not why not? *Journal of Applied Ecology*, 44, 1-5.

Wilson, P.J. i Aebischer, N.J. (1995). The distribution of dicotyledonous arable weeds in relation to distance from the field edge. *Journal of Applied Ecology*, 32, 295-310.

PUBLICACIONES

Capítol 1

Effects of agricultural intensification on plant diversity in Mediterranean dryland cereal fields

**Laura José-María, Laura Armengot, José M. Blanco-Moreno,
Montserrat Bassa i F. Xavier Sans**

Journal of Applied Ecology (2010) 47: 832-840

Departament de Biologia Vegetal, Facultat de Biologia,
Universitat de Barcelona. Av. Diagonal, 645, 08028, Barcelona

Efectes de la intensificació agrícola sobre la diversitat vegetal en cultius de cereals de secà mediterranis

RESUM

1. La intensificació agrícola, tant a escala de camp com de paisatge, ha comportat la disminució de la riquesa de les comunitats vegetals, així com canvis en la seva composició específica. Per tal d'evitar aquesta pèrdua de diversitat i poder desenvolupar mesures de gestió eficients, és important entendre l'efecte de la intensificació a ambdues escales sobre la diversitat vegetal i la manera com interactuen.

2. En aquest estudi s'avalua la diversitat vegetal al centre, la vora i el marge de 29 camps de cereals amb gestió ecològica i 29 amb gestió convencional, situats en 15 àrees agrícoles del NE de la península Ibèrica. Per fer-ho, estudiem la composició de les comunitats vegetals i la riquesa específica dels camps, tant pel total d'espècies vegetals com pel conjunt d'espècies segetals, pròpies dels sembrats. Hem utilitzat el percentatge de terra agrícola més els assentaments humans com a indicador de la complexitat del paisatge, mentre que la quantitat d'aportacions externes de nitrogen l'hem emprat com a indicador de la intensitat de la gestió del camp.

3. Els nostres resultats mostren que ambdues escales de la intensificació agrícola afecten negativament i de forma similar la riquesa total de plantes i la riquesa d'espècies segetals. A més, no hem trobat que la interacció entre la complexitat del paisatge i la intensitat de la gestió afecti de forma remarcable la riquesa total d'espècies.

4. La importància relativa de la intensitat de la gestió i de la complexitat del paisatge varia en funció de la posició dins del camp, fet que es pot atribuir a les diferències en la intensitat de les pràctiques agrícoles i a la reduïda capacitat de dispersió de les llavors provinents dels hàbitats adjacents. La gestió és el principal factor que determina les diferències al centre dels camps, els canvis en els marges es

deuen principalment a les característiques del paisatge, mentre que a les vores tant la intensitat de la gestió com la complexitat del paisatge són rellevants.

5. *Síntesi i aplicacions*: Per tal de preservar la diversitat vegetal dels sistemes agrícoles és important evitar la intensificació agrícola tant a escala de camp com a escala de paisatge. Les iniciatives que afavoreixin l'ús de tècniques de gestió de baixa intensitat, com ara les que utilitza l'agricultura ecològica, són la principal manera de promoure la diversitat a l'interior dels camps. Per tal de mantenir la diversitat dels sistemes agrícoles també és important reduir la intensitat de la gestió a les vores dels camps, fet que afavoriria la diversitat vegetal dels marges i la persistència d'espècies segetals, que es concentren a les vores.

Paraules clau: espècies segetals; vora del camp; marge del camp; complexitat del paisatge; intensitat de la gestió; hàbitats adjacents; agricultura ecològica; comunitats vegetals; riquesa d'espècies.

Capítol 2

How does agricultural intensification modulate changes in plant community composition?

**Laura José-María, José M. Blanco-Moreno,
Laura Armengot i F. Xavier Sans**

Agriculture, Ecosystems and Environment (2011)

doi:10.1016/j.agee.2010.12.020

Departament de Biologia Vegetal, Facultat de Biologia,
Universitat de Barcelona. Av. Diagonal, 645, 08028, Barcelona

De quina manera la intensificació agrícola modifica la composició de les comunitats vegetals?

RESUM

La intensificació de l'agricultura, a escala local i de paisatge, ha provocat canvis en la composició específica i una disminució de la diversitat vegetal dels camps de cereals. Per tal d'aprofundir en el paper de la complexitat del paisatge i el tipus de gestió sobre l'estructura de les comunitats vegetals resulta interessant analitzar els atributs morfològics i funcionals en lloc de la composició florística, ja que aquests poden ser rellevants a l'hora de revelar tendències en la dinàmica de la vegetació. En aquest estudi hem avaluat l'abundància relativa de diversos atributs morfològics i funcionals (diferents formes vitals i de creixement, i pol·linització i disseminació pel vent) en tres posicions contrastades (marge, vora i centre) en 29 camps de cereals de secà amb gestió ecològica i 29 amb gestió convencional, situats en 15 àrees agrícoles del NE de la península Ibèrica. La intensificació agrícola afecta les característiques de la vegetació dels cultius cerealistes; els factors locals (tipus de gestió i posició dins del camp) afecten la composició morfològica i funcional de la vegetació de manera més remarcable que el context paisatgístic. Els factors locals modifiquen les proporcions de les diferents formes vitals i de creixement i de les espècies pol·linitzades pel vent, mentre que la complexitat del paisatge afecta principalment la proporció d'espècies amb disseminació anemocora. Com que la complexitat del paisatge i la intensitat de les pràctiques agrícoles sovint estan relacionades, és important que la selecció d'atributs funcionals tingui en compte la seva sensibilitat a l'escala d'intensificació agrícola objecte d'estudi.

Paraules clau: trets funcionals; complexitat del paisatge; cultius de cereals mediterranis; agricultura ecològica; abundància relativa; marge, vora i centre del camp.

Capítol 3

Weed seedbanks in arable fields: effects of management practices and surrounding landscape

Laura José-María i F. Xavier Sans

Weed Research (2011)

doi: 10.1111/j.1365-3180.2011.00872.x

Departament de Biologia Vegetal, Facultat de Biologia,
Universitat de Barcelona. Av. Diagonal, 645, 08028, Barcelona

Els bancs de llavors en camps de conreu: efectes de les pràctiques agrícoles i el context paisatgístic

RESUM

En els camps de conreu, el banc de llavors del sòl és un reservori de diversitat, a la vegada que té un valor predictiu pel que fa a futurs problemes amb la flora arvensa. Per això, la seva gestió ha d'anar encaminada a compatibilitzar el manteniment de la diversitat i el control de les infestacions de les espècies arvenses. En aquest estudi es van avaluar els efectes del tipus de gestió (ecològica i convencional) i la complexitat del paisatge sobre la mida i la riquesa específica del banc de llavors al centre i la vora de conreus de cereals de secà mediterranis, i la relació entre les pràctiques agrícoles i el banc de llavors. A la vora dels camps hi ha més espècies i més llavors que al centre. La gestió ecològica afavoreix la diversitat i l'abundància de llavors respecte a la convencional, mentre que la complexitat del paisatge té un paper poc important sobre el banc de llavors. Per tant, una mesura efectiva per conservar la diversitat vegetal dels agrosistemes mediterranis, independentment del context paisatgístic, és promoure l'ús de tècniques agrícoles poc intenses, sobretot a les vores dels camps. Això no obstant, l'elevada densitat de llavors en els sòls dels camps amb gestió ecològica fa recomanable millorar-ne la gestió. L'anàlisi dels efectes de les diverses pràctiques agrícoles sobre el banc de llavors revela la importància de netejar les llavors recol·lectades de forma acurada abans de ressemar-les per reduir la mida del banc de llavors. A més, resulta apropiat establir rotacions complexes, ja que aquestes mantenen la riquesa d'espècies alhora que redueixen l'abundància de llavors que s'incorporen al sòl.

Paraules clau: diversitat; diversitat cultivada; vora del conreu; herbicides; complexitat del paisatge; agricultura ecològica; origen de les llavors; densitat del banc de llavors; grada de pues flexibles.

Capítol 4

The conservation of arable plants at crop edges in Mediterranean cereal fields

**Laura José-María, Laura Armengot,
Lourdes Chamorro i F. Xavier Sans**

Biological Conservation (sotmès)

Departament de Biologia Vegetal, Facultat de Biologia,
Universitat de Barcelona. Av. Diagonal, 645, 08028, Barcelona

La conservació de la flora arvensa a les vores dels conreus de cereals mediterranis

RESUM

La intensificació agrícola de les darreres dècades ha causat una important pèrdua de biodiversitat en els agrosistemes. Per això, cal promoure mesures de conservació centrades en contrarestar aquesta tendència. A les vores dels conreus, l'efecte negatiu de les pràctiques agrícoles sobre la flora arvensa és més petit que a l'interior dels camps, fet que permet el desenvolupament d'un nombre d'espècies més elevat. Per tant, les vores poden tenir un paper rellevant per conservar la flora arvensa i contribuir, d'aquesta manera, al funcionament dels ecosistemes agrícoles. En aquest estudi avaluem, en vores de camps de cereals amb gestió convencional i ecològica, l'efecte del control de la vegetació arvensa (mitjançant herbicides en els camps convencionals i la grada de pues flexibles en els ecològics) i la fertilització (química i orgànica, respectivament) sobre la flora arvensa i la producció del cereal. Tot i que s'han dut a terme estudis similars en zones de clima temperat, les particularitats de la nostra zona d'estudi fan necessari avaluar de nou la relació entre les pràctiques agrícoles i la diversitat vegetal. L'escassa abundància de la vegetació arvensa a les vores dels camps convencionals i ecològics posa de relleu la necessitat d'adoptar mesures específiques per afavorir-ne la diversitat. Els resultats obtinguts subratllen la necessitat de limitar l'ús d'herbicides per incrementar la diversitat de la flora arvensa a les vores. D'altra banda, ni la fertilització, que afavoreix el rendiment del cultiu, ni el control mecànic de la vegetació afecten la flora arvensa i, per tant, no cal considerar-los a l'hora de proposar mesures de conservació.

Paraules clau: biodiversitat; fertilitzants sintètics; fems compostats; herbicides; espècies arvenses; grada de pues flexibles.

The conservation of arable plants at crop edges in Mediterranean cereal fields

ABSTRACT

Agricultural intensification over the last decades has caused a severe loss of biodiversity in agroecosystems and hence conservation efforts should focus on mitigating this tendency. Crop edges have a potential to conserve arable weeds and maintain agroecosystem functioning due to the reduced impact of farming practices on them compared to inner fields, which allows more species to thrive. Here we evaluate the effects of weed control practices (herbicides and weed harrowing) and fertilization (chemical and organic) on weed flora and on crops in conventional and organic Mediterranean cereal crop edges. Similar studies have already been performed under temperate climatic conditions, but the singularities of our study area make it necessary to ascertain *de novo* the relationship between farming practices and biodiversity. We found very low weed abundances in the conventional crop edges and also in the organic ones, which supports the idea that specific measures are needed to enhance their biodiversity. Our results highlight the fact that limiting the use of herbicides is crucial to enhancing arable diversity at crop edges but there is no need to focus on prescriptions for weed harrowing, as it did not affect weed flora. Besides, fertilization, which increased crop yield without having negative impacts on weeds, should not be limited.

Key-words: biodiversity; synthetic fertilizers; composted manure; herbicides; weeds; weed harrowing.

1. Introduction

Arable weed diversity within agroecosystems, besides its conservational and aesthetic value, offers a variety of ecological and agronomic services, i.e. favouring other trophic levels and nutrient recycling (Marshall et al., 2003). Moreover, weeds are considered appropriate indicators for evaluating management effects on biodiversity in arable fields because of their high sensitivity to cropping practices and strong relation to higher-order taxa (Albrecht, 2003). Unfortunately, arable weeds all over Europe have suffered a severe decline over the last decades (e.g. Fried et al., 2009; Hyvönen and Huusela-Veistola, 2008; Sutcliffe and Kay, 2000), which is mainly related to the intensification of land-use (i.e. larger external inputs, such as fertilizers and pesticides, and simplification of crop rotations), aimed at increasing crop yields. This loss of diversity affects the delivery of ecosystem services (Hooper et al., 2005) and, accordingly, there is widespread concern in prescribing management options that counteract this tendency. Hence, several agri-environment schemes, in which farmers receive compensation aid to modify their farming practices, have been promoted all over Europe for the maintenance and restoration of farmland biodiversity. A wide range of these measures are specific for crop edges (i.e. the first few meters of cultivated area adjacent to the boundary), because their higher weed levels, both in terms of biodiversity and abundance, as well as smaller yields than inner fields (Fried et al., 2009; José-María et al., 2010; Romero et al., 2008; Snoo, 1997; Wilson and Aebischer, 1995), result in greater cost-effectiveness. Such measures aim to benefit key farmland species by deliberate management, e.g. limiting the use of pesticides and/or fertilizers, regularly cultivating without crop sowing, or introducing wildflower strips.

Previous research has already assessed the suitability of different prescriptions in temperate Europe (e.g. Snoo, 1997; Walker et al., 2007), but its direct extrapolation to Mediterranean cereal agroecosystems could be misleading (Guerrero et al., 2010). The higher diversity of arable weed communities in Mediterranean areas (Holzner and Immonen, 1982) and the low rainfall and high year-to-year variation in water availability, which affect yields and competitive interactions among plants (Liancourt

et al., 2005), may modify responses to specific conservation measures. Therefore, there is a need for studies evaluating the effects of different management options under Mediterranean conditions.

Programmes aimed at increasing biodiversity at crop edges are usually restricted to conventional fields, because it is assumed that under organic farming, where applications of pesticides and synthetic fertilizers are forbidden, biodiversity is higher. However, organic farming *per se* does not always enhance biodiversity (see the review by Hole et al., 2005), since land-use intensity among organic farmers is highly variable and can even be as high as in some conventional fields (Armengot, 2010). Accordingly, conservation measures should also consider the effects of management practices in organic fields.

In this paper we present an experimental approach to assessing the effects of weed control (herbicides and weed harrowing) and fertilization (chemical and organic) at crop edges of Mediterranean cereal fields, both under organic and conventional farming systems. Treatments were applied in three consecutive years to take into account year-to-year rainfall variability and cumulative effects over time. We focused on weed and cereal biomass, as well as on species richness in order to discuss the effectiveness of different prescriptions for conservation purposes.

2. Methods

2.1. Site and climate

Field experiments were conducted over three seasons, from 2007 to 2010, in the Rural Parc of Gallecs (municipality of Mollet del Vallès), in north-eastern Spain (2° 12' 7.6" E, 41° 33' 42.8" N). It is an intensive agrarian area of 747 ha in the vicinity of Barcelona city. Most of its surface is covered by arable fields (ca 71 %), mainly cereals, which are managed conventionally (343 ha) and organically (202 ha). Soils are calcareous and climate is dry subhumid Mediterranean, with a mean annual temperature of 14.5°C and a mean annual rainfall of 602 mm. Total rainfall during the

cereal growth period, from November to May, varied considerably (2007-2008: 264.6 mm; 2008-2009: 404.6 mm; 2009-2010: 425.2 mm).

2.2. Experimental design

The experimental design was set up at 4 organic and 4 conventional nearby commercial fields, which were chosen to minimize environmental differences. Moreover, all fields had a loamy-clay texture soil, and, at the beginning of the experiment, they had similar organic matter content (organic fields: 1.45 % \pm 0.298, mean \pm SE; conventional fields: 1.53 % \pm 0.246), nitrogen Kjeldahl (organic: 0.09 % \pm 0.017, conventional: 0.08 % \pm 0.019) and C/N ratio (organic: 9.27 \pm 0.328, conventional: 10.35 \pm 0.650). Conventional fields were sown yearly with winter barley (*Hordeum distichon* L.), whereas organic ones followed a typical rotation in the area: barley - bitter vetch (*Vicia ervilia* (L.) Willd.) - barley. In each field a boundary was selected and parallel and adjacent to it, four 4 m \times 10 m permanent plots were evenly distributed at the crop edge. The selection of boundaries took into account the homogeneity in the structure of vegetation (a mixture of brambles and ruderal vegetation) and orientation. Crossed weed control (W: w, weeded; nw, non-weeded) and fertilization (F: f, fertilized; nf, non-fertilized) treatments were applied (2 farming systems \times 4 fields \times 2 fertilizer levels \times 2 weed control levels = 32 plots).

In the organic fields fertilized plots received composted manure before cereal sowing and weed control was carried out by harrowing with long-flex spring tines once a year. In the conventional fields, chemical fertilizer was applied yearly before sowing in the fertilized plots and weeds were controlled by means of herbicides in weeded plots. Agricultural practices (including treatment type, dose and timing) followed farmer and technical advice and are representative of the study site (see Appendix, Table A1).

2.3. Data collection

In spring 2008 and 2010 (before cereal harvest), species richness and barley and weed biomass of each plot were assessed at 2.5 m from the boundary. We randomly selected four 25 cm \times 25 cm squares in each plot to assess the aboveground dry weight

(g m⁻² after drying the biomass at 60°C for 48 h) of barley (separated in spikes and straw) and weeds. As barley and spike biomass were highly correlated (Spearman's correlation coefficient: $\rho = 0.96$, $P < 0.0001$), and both parameters followed similar trends, we hereafter only present and discuss the results regarding total aboveground barley biomass, which can be interpreted as a surrogate of crop yield.

Species composition of each plot was recorded as the list of all species present in 20 quadrats of 25 cm × 25 cm evenly distributed in each plot. We also identified beneficial species, i.e. those having the most potential biodiversity value as a resource for invertebrates and seed-eating birds and low competitive ability (see Appendix, Table A2), following the scheme for assigning arable plants to functional groups proposed by Storkey (2006).

2.4. Statistical analysis

The variability in barley and weed biomass (log-transformed) and species number (for all weeds and beneficial species) was analysed using mixed models, which account for non-independent errors that may occur due to hierarchically nested designs. As fertilization and weed control treatments were markedly different between organic and conventional fields, and hence we expected that the response to the treatments would vary between farming systems (simply because of their intrinsic differences), analyses were carried out for the organic and conventional fields separately. We tested, as fixed factors, the effect of weed control (W), fertilization (F), year (Y) and their two-level interactions; whereas field and plot, nested within field, were introduced as random factors. The models' suitability was assessed by checking normality and unbiasedness of residuals, and the predictive power of the model. The significance of the explanatory variables was estimated using Markov Chain Monte Carlo sampling, which is an efficient technique for evaluating fitted models that overcomes problems arising from approximating degrees of freedom in mixed-effect models (Baayen et al., 2008). Statistical analyses were conducted using R 2.11.1 (R Development Core Team, 2010).

3. Results

3.1. Barley and weed biomass

No marked effects of any of the studied factors on barley biomass in organic crop edges could be detected (Figure 1, Table 1). However, the interaction between fertilization and year (F×Y) was marginally significant, reflecting a tendency for greater yields in 2010 compared to 2008 in the fertilized plots, but not in the non-fertilized ones. Weed biomass in organic fields was low (ca 4 % of total biomass) and was not affected by any of the treatments applied. It only responded to the sampling year (Y), being greater under the more favourable climatic conditions occurring in 2010 (Figure 1, Table 1).

In conventional fields, barley biomass was significantly affected by Y and F×Y, which accounts for a clear reduction of yield in 2010 compared to 2008 in non-fertilized plots, and stable figures within the fertilized plots (Figure 1, Table 1). Weed biomass (under 11 % of total biomass) was clearly reduced in weeded plots and it also responded to sampling year (Figure 1, Table 1).

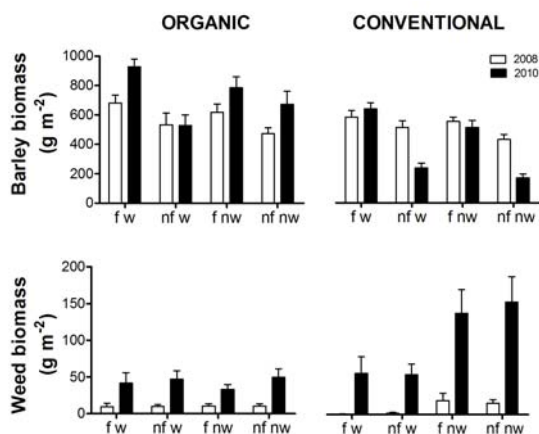


Fig.1 - Mean \pm SE barley and weed aboveground biomass in organic and conventional crop edges according to the different treatments and sampling years. f, fertilized; nf, non-fertilized; w, weeded; nw: non-weeded.

	Intercept	Weed Control (W)	Fertilization (F)	Year (Y)	W×F	W×Y	F×Y
Organic							
<i>Aboveground biomass</i>							
Barley [†]	6.17 ± 0.231	-0.10 ± 0.240	0.13 ± 0.240	0.13 ± 0.095	0.33 ± 0.330	-0.14 ± 0.110	<i>0.23 ± 0.110</i>
Weeds [†]	1.97 ± 0.234	0.05 ± 0.300	-0.08 ± 0.300	1.51 ± 0.300	-0.21 ± 0.347	-0.11 ± 0.347	-0.02 ± 0.347
<i>Species richness</i>							
All weed species	13.50 ± 2.905	-1.00 ± 1.333	-0.25 ± 1.333	4.25 ± 1.257	-0.50 ± 1.581	-0.25 ± 1.451	-0.25 ± 1.451
Beneficial species	5.66 ± 1.314	-0.06 ± 0.970	0.19 ± 0.970	0.19 ± 0.767	-0.13 ± 1.220	-0.13 ± 0.886	-0.63 ± 0.886
Conventional							
<i>Aboveground biomass</i>							
Barley [†]	6.03 ± 0.132	0.14 ± 0.176	0.25 ± 0.176	-1.06 ± 0.114	-0.10 ± 0.231	0.21 ± 0.131	0.93 ± 0.131
Weeds [†]	2.11 ± 0.559	-1.48 ± 0.493	-0.26 ± 0.493	2.42 ± 0.307	-0.24 ± 0.651	0.23 ± 0.354	-0.09 ± 0.354
<i>Species richness</i>							
All weed species	12.66 ± 1.883	-10.06 ± 2.032	-1.06 ± 2.032	4.44 ± 1.868	1.88 ± 2.436	5.88 ± 2.156	-0.38 ± 2.156
Beneficial species	5.16 ± 1.104	-3.81 ± 1.042	0.94 ± 1.042	0.44 ± 1.042	-0.88 ± 1.203	3.63 ± 1.203	-1.13 ± 1.203

Table 1 - Estimated parameters ± SE from mixed-effects models for aboveground biomass and species richness in organic and conventional crop edges. [†] log-transformed. In bold, significant terms ($P < 0.05$); in italics marginally significant terms ($P < 0.10$).

3.2. Biodiversity

A total of 60 species were recorded in organic crop edges during the two study years, and 17 of them were classified as beneficial (Appendix, Table A2). All weed species richness per plot was significantly higher in 2010 compared to 2008, whereas beneficial species did not respond to any of the studied factors (Table 1).

In conventional crop edges we found 46 species (17 beneficial). Species richness per plot for all weeds was affected by weed control (reduced when herbicides were applied), year (being greater in 2010) and the interaction $W \times Y$, which indicated that herbicides had a greater efficacy in reducing species in 2008 than in 2010 (Table 1). Beneficial species responded to W and $W \times Y$, following similar patterns (Table 1).

4. Discussion

4.1. Weed control effects

In organic crop edges, weed harrowing did not reduce weed biomass or specific richness, nor did it affect cereal yield, agreeing with Ulber et al. (2009). This could be related to the low weed infestation levels in the study fields, which would hinder appropriate assessment of its effectiveness, as weeds may be under the infestation threshold at which mechanical weed control could efficiently operate.

Herbicides in conventional crop edges, as previously known from temperate areas (Snoo, 1997), but contrary to the results of Walker et al. (2007), did have an important role in reducing weed biomass and plant biodiversity, and hence food availability for higher trophic levels. For instance, herbicide applications reduced beneficial species such as *Chenopodium album* L., *Polygonum aviculare* L. and *Veronica polita* Fries, which may in turn negatively affect the overall functional diversity of the agroecosystem (Storkey, 2006).

On the other hand, crop yields were similar in plots sprayed with herbicides and unsprayed. This pattern is opposed to the harvest reduction reported by Snoo (1997) on unsprayed field-edges. These results could be explained not only by the low occurrence

of weeds in the studied crop edges, but also by different competitive interactions between the crop and weeds under Mediterranean conditions. In this respect, previous studies in central Spain have reported that water availability is a much more important constraint for cereal development than weeds (García-Martín et al., 2007; Lacasta et al., 2003).

4.2. Fertilization effects

Fertilization at crop edges, both by means of composted manure in organic fields and synthetic fertilizers in conventional fields, did not affect any of the studied weed parameters. These results are opposite to the findings of Walker et al. (2007) and Kleijn and van der Voort (1997), who reported in England and the Netherlands, respectively, that unfertilized crop edges had larger weed abundance and more species richness than fertilized ones because weed-crop competition was tipped towards weeds, due to lower crop-cover. Nevertheless, our results are consistent with other studies under similar conditions (García-Martín et al., 2007; Guerrero et al., 2010), which point out that nutrients are unimportant in explaining weed biomass and richness in Mediterranean areas.

By contrast, fertilization was an important factor determining barley biomass, although its role depended on the study year, responding to differences in water availability (2010 was wetter than 2008) and cumulative effects. In organic crop edges, repetitive manure compost application allowed greater yields to be achieved in the third study-year (2010). The effect of chemical fertilization at conventional crop edges on barley biomass depended mainly on its interaction with year, but this time related to a loss of yield over time in non-fertilized plots and its stabilisation in fertilized ones. These results indicate that chemically-fertilized conventional cereal crops are highly dependant on yearly inputs, whereas organic ones would better benefit from mineralisation processes that occur from soil organic matter stocks. Nevertheless, regular manure compost applications help improving their yield, as organic manures under the action of soil microorganisms release nutrients slowly, raising soil fertility in the mid- and long-term (McLaughlin and Mineau, 1995).

4.3. Conclusions

The low weed levels encountered, both in the conventional and the organic crop edges, highlight the fact that both farming systems can present very low weed abundances, and therefore there is a need for promoting management practices that enhance their biodiversity. These should consider that weed control by means of herbicides is the main constraint for weed populations (Ryan et al., 2010), whereas other farming practices exert smaller influences on weeds.

Accordingly, for conservation purposes in Mediterranean crop edges under low weed infestation levels, efforts should focus on limiting herbicide applications, in order to allow the development of weed communities, which in turn would benefit associated fauna. Moreover such measures would hinder pesticide drift towards the field boundary, which has been identified as one of the main factors in reducing diversity within field boundaries (Bassa, unpublished results; Snoo, 1997). Interestingly, the fact that crop biomass was not affected by weeds in both years reinforces the feasibility of such prescriptions, as they appear to be economically compatible with farm management.

On the contrary, no efforts should be made in prescribing limitations to mechanical weed control, as it does not seem to have strong negative effects on weeds, at least within the small range of abundance of our study. Crop edges in Mediterranean areas do not need to limit fertilization levels for weed conservation either, which contradicts the suggestions of Fried et al. (2009). Indeed, fertilization not only had no effect on weeds, but it proved to be a limiting factor for crop yields, and thus recommendations should take into account these positive effects.

Further studies should consider a wider range of weed infestations under Mediterranean conditions to provide additional knowledge on crop-weed interactions and to assess potential negative effects in the long-term. Such studies would help in designing management policies to conserve agricultural biodiversity and overall ecosystem properties in Mediterranean areas without exposing farm productivity.

Acknowledgements

We thank the farmers for their cooperation and Gemma Safont for technical support. We are also grateful to the field and lab assistants who helped us with data collection and processing and to the staff of the Agroecology research group of the Universitat de Barcelona. This research was funded by the Spanish Ministry of Education and Science (project CGL2009-13497-C02-01 and fellowship to the first author), by the Research Section of the Government of Catalonia (project 2009SGR1058) and by the RED BIO project (EFA 10/08).

Supplementary material

Table A1: Dates and data of farming operations and sampling in the different crop seasons for organic and conventional fields.

Table A2: Presence of beneficial species (those having the most potential biodiversity value as a resource for invertebrates and seed-eating birds and low competitive ability) in organic and conventional crop edges.

REFERENCES

- Albrecht, H., 2003. Suitability of arable weeds as indicator organisms to evaluate species conservation effects of management in agricultural ecosystems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 98, 201-211.
- Armengot, L., 2010. Weed diversity of dryland cereal fields: effects of agricultural intensification. PhD thesis, Universitat de Barcelona, Barcelona.
- Baayen, R.H., Davidson, D.J., Bates, D.M., 2008. Mixed-effects modeling with crossed random effects for subjects and items. *J. Mem. Lang.* 59, 390-412.
- Fried, G., Petit, S., Dessaint, F., Reboud, X., 2009. Arable weed decline in Northern France: Crop edges as refugia for weed conservation? *Biol. Conserv.* 142, 238-243.
- García-Martín, A., López-Bellido, R.J., Coletto, J.M., 2007. Fertilization and weed control effects on yield and weeds in durum wheat grown under rain-fed conditions in a Mediterranean climate. *Weed Res.* 47, 140-148.

Guerrero, I., Martínez, P., Morales, M.B., Oñate, J.J., 2010. Influence of agricultural factors on weed, carabid and bird richness in a Mediterranean cereal cropping system. *Agric. Ecosyst. Environ.* 138, 103-108.

Hole, D.G., Perkins, A.J., Wilson, J.D., Alexander, I.H., Grice, F., Evans, A.D., 2005. Does organic farming benefit biodiversity? *Biol. Conserv.* 122, 113-130.

Holzner, W., Immonen, R., 1982. Europe an Overview. in: Holzner, W. and Numata, M. (Eds.), *Biology and Ecology of Weeds*. Dr.W.Junk Publishers, the Hague, pp. 203-226.

Hooper, D.U., Chapin, E.S., III, Ewel, J.J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Lawton, J.H., Lodge, D.M., Loreau, M., Naeem, S., Schmid, B., Setälä, H., Symstad, A.J., Vandermeer, J., Wardle, D.A., 2005. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge. *Ecol. Monogr.* 75, 3-35.

Hyvönen, T., Huusela-Veistola, E., 2008. Arable weeds as indicators of agricultural intensity - A case study from Finland. *Biol. Conserv.* 141, 2857-2864.

José-María, L., Armengot, L., Blanco-Moreno, J.M., Bassa, M., Sans, F.X., 2010. Effects of agricultural intensification on plant diversity in Mediterranean dryland cereal fields. *J. Appl. Ecol.* 47, 832-840.

Kleijn, D., van der Voort, L.A.C., 1997. Conservation headlands for rare arable weeds: The effects of fertilizer application and light penetration on plant growth. *Biol. Conserv.* 81, 57-67.

Lacasta, C., García-Rojas, L., Estalrich, E., Meco, R., 2003. Weed and productivity study in a cereal agrosystem under different agricultural strategies. *Actas IX Congreso 2003 Sociedad Española de Malherbología*, Barcelona, pp 207-211.

Liancourt, P., Callaway, R.M., Michalet, R., 2005. Stress tolerance and competitive-response ability determine the outcome of biotic interactions. *Ecology* 86, 1611-1618.

Marshall, E.J.P., Brown, V.K., Boatman, N.D., Lutman, P.J.W., Squire, G.R., Ward, L.K., 2003. The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields. *Weed Res.* 43, 77-89.

McLaughlin, A., Mineau, P., 1995. The impact of agricultural practices on biodiversity. *Agric. Ecosyst. Environ.* 55, 201-212.

Romero, A., Chamorro, L., Sans, F.X., 2008. Weed diversity in crop edges and inner fields of organic and conventional dryland winter cereal crops in NE Spain. *Agric. Ecosyst. Environ.* 124, 97-104.

R Development Core Team, 2010. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>.

Ryan, M.R., Smith, R.G., Mirsky, S.B., Mortensen, D.A., Seidel, R., 2010. Management Filters and Species Traits: Weed Community Assembly in Long-Term Organic and Conventional Systems. *Weed Sci.* 58, 265-277.

Snoo, G.R.d., 1997. Arable flora in sprayed and unsprayed crop edges. *Agric. Ecosyst. Environ.* 66, 223-230.

Storkey, J., 2006. A functional group approach to the management of UK arable weeds to support biological diversity. *Weed Res.* 46, 513-522.

Sutcliffe, O.L., Kay, Q.O.N., 2000. Changes in the arable flora of central southern England since the 1960s. *Biol. Conserv.* 93, 1-8.

Ulber, L., Steinmann, H.H., Klimek, S., Isselstein, J., 2009. An on-farm approach to investigate the impact of diversified crop rotations on weed species richness and composition in winter wheat. *Weed Res.* 49, 534-543.

Walker, K.J., Critchley, C.N.R., Sherwood, A.J., Large, R., Nuttall, P., Hulmes, S., Rose, R., Mountford, J.O., 2007. The conservation of arable plants on cereal field margins: An assessment of new agri-environment scheme options in England, UK. *Biol. Conserv.* 136, 260-270.

Wilson, P.J., Aebischer, N.J., 1995. The Distribution of Dicotyledonous Arable Weeds in Relation to Distance from the Field Edge. *J. Appl. Ecol.* 32, 295-310.

Table A1: Dates and data of farming operations and sampling in the different crop seasons for organic and conventional fields.

<i>Crop</i>	Conventional			Organic		
	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2007-2008	2008-2009	2009-2010
<i>Sowing</i>						
date	28/11/2007	07/12/2008	11/12/2009	29/11/2007	07/05/2009	11/12/2009
rate	260 kg ha ⁻¹	260 kg ha ⁻¹	260 kg ha ⁻¹	260 kg ha ⁻¹	75 kg ha ⁻¹	260 kg ha ⁻¹
	barley	barley	barley	barley	bitter vetch	barley
<i>Fertilization</i>						
date	07/11/2007	28/11/2008	02/12/2009	31/10/2007	-	09/12/2009
type	NPK 20-5-7	NPK 20-5-7	NPK 20-5-7	composted manure	-	composted manure
rate	400 kg ha ⁻¹	400 kg ha ⁻¹	400 kg ha ⁻¹	13 000 kg ha ⁻¹	-	13 000 kg ha ⁻¹
<i>Weed Control</i>						
date	29/02/2008	25/03/2009	19/04/2010	11/03/2008	-	21/04/2010
type	herbicide ¹	herbicide ²	herbicide ³	weed harrow	-	weed harrow
<i>Sampling</i>						
species richness	04/05/2008	-	24/05/2010	04/05/2008	-	26/05/2010
biomass	4/06/2008	-	15/06/2010	05/06/2008	-	16/06/2010

[1] Tribenuron (28 g ha⁻¹); [2] 2,4D (437.5 g ha⁻¹) - MCPA (375 g ha⁻¹) - picloran (36 g ha⁻¹); [3] iodosulfuron-methyl sodium (8.75 g ha⁻¹).

Table A2: Presence (x) of beneficial species* (those having the most potential biodiversity value as a resource for invertebrates and seed-eating birds and low competitive ability) in organic (ORG) and conventional (CON) crop edges.

Species name	ORG	CON
<i>Ammimajus</i> L.		x
<i>Atriplex patula</i> L.	x	x
<i>Calendula arvensis</i> L.	x	x
<i>Cerastium glomeratum</i> Thuill.	x	
<i>Chenopodium album</i> L.	x	x
<i>Chenopodium vulvaria</i> L.	x	x
<i>Diploaxis erucoides</i> (L.) DC.	x	x
<i>Filago pyramidata</i> L.	x	x
<i>Fumaria parviflora</i> Lam.	x	x
<i>Herniaria hirsuta</i> L. subsp. <i>cinerea</i> (DC.) Arcang.		x
<i>Hypocoum procumbens</i> L.		x
<i>Lactuca serriola</i> L.	x	x
<i>Medicago polymorpha</i> L.	x	
<i>Polygonum aviculare</i> L.	x	x
<i>Polygonum convolvulus</i> L.	x	x
<i>Reseda phyteuma</i> L.	x	x
<i>Senecio vulgaris</i> L.	x	x
<i>Setaria</i> sp.	x	x
<i>Veronica hederifolia</i> L.		x
<i>Veronica polita</i> Fries	x	
<i>Xanthium spinosum</i> L.	x	

*Beneficial species were identified following the scheme for assigning arable plants to functional groups proposed by Storkey (2006), which takes into account life form, timing of germination, maximum height, seed size and flowering time. They were considered as being: i) annuals, germinating in autumn, with their maximum height below the crop and early flowering, or ii) annuals, germinating in spring, with their maximum height above the crop. Nomenclature, life form, maximum height and flowering time followed de Bolòs et al. (2005¹). Information on timing of germination was obtained from bibliography (Recasens and Conesa, 2009²; Villarias, 1986³). When no information was available about germination we classified species according to personal observations.

[1] de Bolòs, O., Vigo, J., Masalles, R.M., Ninot, J.M., 2005. Flora manual dels Països Catalans, third ed. Pòrtic, Barcelona.

[2] Recasens, J., Conesa, J.A., 2009. Malas hierbas en plàntula: guia de identificació. Universitat de Lleida, Lleida.

[3] Villarias Moradillo, J.L., 1986. Control de Malas Hierbas I: Atlas de Malas Hierbas, second ed. Mundi-Prensa. Madrid.

