

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria Agroalimentària

Títol: Estratègies de desherbatge en els cereals d'hivern: eficàcia, costos i impacte ambiental del control químic i mecànic de les adventícies

Document: Memòria i annexos

Alumna: Sílvia Cufí Aregay

Tutors: Pere Vilardell Coderch i Joan Serra Gironella

Departament: Enginyeria Química, Agrària i Tecnologia Agroalimentària

Àrea: Producció vegetal

Convocatòria (mes/any): Juny 2019

(Full en blanc)

(Full en blanc)

(Full en blanc)

ÍNDEX

RESUM	15
PARAULES CLAU.....	19
AGRAÏMENTS.....	21
1. INTRODUCCIÓ	23
1.1. Situació actual de la producció de cereals d'hivern.....	23
1.2. Característiques agronòmiques del cultiu	25
1.3. Efecte de les adventícies en la producció	26
1.4. Principals adventícies que afecten el cultiu.....	27
1.5. Mètodes de control de les adventícies	28
1.5.1. Mètodes culturals i mecànics	28
1.5.2. Mètodes químics.....	33
1.5.3. Elements de decisió	34
1.6. Resistència de les adventícies als herbicides	35
1.7. Perspectives de futur en el control d'adventícies	38
1.8. Objectius del treball.....	39
2. MATERIALS I MÈTODES	41
2.1. Ubicació dels assaigs.....	41
2.2. Material vegetal.....	45
2.2.1. Característiques de la varietat d'ordi Signora	45
2.2.2. Característiques de la varietat d'ordi RGT Planet.....	46
2.2.3. Característiques de la varietat de blat Florence Aurora	46
2.3. Tractaments dels assaigs	47
2.4. Maquinària i eines de desherbatge	49
2.4.1. Desherbatge químic.....	49
2.4.2. Desherbatge mecànic	51
2.5. Disseny experimental.....	52
2.6. Control del camp	56
2.7. Anàlisi estadístic	57
2.8. Anàlisi econòmic	58
2.9. Anàlisi d'impacte ambiental.....	61

3. RESULTATS	65
3.1. Control de les plantes adventícies	65
3.1.1. Identificació de les herbes	65
3.1.2. Eficàcia en el control de les adventícies	68
3.1.3. Fitotoxicitat dels herbicides	71
3.2. Costos del desherbatge	73
3.3. Anàlisi d'impacte ambiental.....	75
3.3.1. Toxicitat potencial (no cancerígena) pels humans	75
3.3.2. Toxicitat potencial pels organismes d'aigua dolça	80
3.3.3. Canvi climàtic potencial	83
3.3.4. Formació potencial de partícules en suspensió	86
4. DISCUSSIÓ.....	89
4.1. Control de les plantes adventícies	89
4.1.1. Identificació de les herbes	89
4.1.2. Eficàcia en el control de les adventícies	90
4.2. Costos del desherbatge	93
4.3. Anàlisi d'impacte ambiental.....	95
4.3.1. Toxicitat potencial (no cancerígena) pels humans	95
4.3.2. Toxicitat potencial pels organismes d'aigua dolça	96
4.3.3. Canvi climàtic potencial	97
4.3.4. Formació potencial de partícules en suspensió	98
4.4. Aplicabilitat	98
5. CONCLUSIONS	101
6. BIBLIOGRAFIA	103
ANNEX A: Dades per l'avaluació de l'impacte ambiental.....	109

ÍNDEX DE TAULES

Taula 1: Flora adventícia més comuna en els cereals d'hivern a Catalunya... 27	27
Taula 2: Eficàcia de la rascla de pues, la rascla rotativa d'estrelles i la binadora en el control d'adventícies segons el contingut d'humitat i la tipologia de sòl... 30	30
Taula 3: Relació de la posició de les pues de la rascla de pues flexibles respecte l'angle format amb la vertical..... 31	31
Taula 4: Condicions d'utilització de la rascla de pues flexibles en els cereals d'hivern segons l'estadi del cultiu i de les adventícies..... 32	32
Taula 5: Condicions d'utilització de la rascla rotativa d'estrelles en els cereals d'hivern segons l'estadi del cultiu i de les adventícies..... 32	32
Taula 6: Condicions d'utilització de la binadora en els cereals d'hivern segons l'estadi del cultiu. 33	33
Taula 7: Classificació segons HRAC dels mecanismes d'acció dels herbicides segons el procés cel·lular que alteren o inhibeixen..... 36	36
Taula 8: Flora adventícia més comuna en els cereals d'hivern a Catalunya en la que s'han detectat resistències a herbicides en l'Estat Espanyol..... 37	37
Taula 9: Característiques generals dels camps d'assaig de l'estudi. 41	41
Taula 10: Material vegetal sembrat en cada camp d'assaig..... 45	45
Taula 11: Característiques generals dels tractaments plantejats a les parcel·les de l'assaig. 47	47
Taula 12: Operacions de desherbatge realitzades en cada tractament del camp experimental de Torroella de Montgrí..... 48	48
Taula 13: Operacions de desherbatge realitzades en cada tractament del camp experimental de Monells. 48	48
Taula 14: Operacions de desherbatge realitzades en cada tractament del camp experimental de Riumors. 49	49
Taula 15: Especificacions tècniques de la rascla de pues flexibles utilitzada en el desherbatge mecànic. 52	52
Taula 16: Freqüència de les lectures d'adventícies al cultiu..... 56	56

Taula 17: Escala EPPO utilitzada per avaluar el nivell de fitotoxicitat que el tractament herbicida va provocar al cultiu.	57
Taula 18: Dades necessàries en els càlculs d'estimació dels costos de desherbatge.	60
Taula 19: Ús anual de la barra de polvorització i de la rascla de pues flexibles en cada tractament de les finques estudiades.	60
Taula 20: Preu dels productes herbicides utilitzats als assaigs.....	60
Taula 21: Consum de combustible estimat de les eines utilitzades.....	61
Taula 22: Categories d'impacte estudiades en l'anàlisi d'impacte ambiental i unitats en les que es van obtenir els resultats en cada cas.	63
Taula 23: Nivell de control de les adventícies aconseguit en cada tractament i finca estudiada.	71
Taula 24: Seguiment del nivell de dany causat pels productes herbicides en el cultiu del camp de Torroella de Montgrí.	71
Taula 25: Distribució dels elements causants de la toxicitat (no cancerígena) pels humans en el tractament testimoni de la finca de Torroella de Montgrí.	76
Taula 26: Distribució dels elements causants de la toxicitat (no cancerígena) pels humans en el tractament testimoni de la finca de Monells.	77
Taula 27: Distribució dels elements causants de la toxicitat (no cancerígena) pels humans en el tractament testimoni de la finca de Riumors.	77
Taula 28: Distribució dels elements causants de la toxicitat (no cancerígena) pels humans en el tractament de desherbatge químic de la finca de Torroella de Montgrí.	79
Taula 29: Distribució dels elements causants de la toxicitat (no cancerígena) pels humans en el tractament de desherbatge químic de la finca de Monells.	80
Taula 30: Distribució dels elements causants de la toxicitat pels organismes d'aigua dolça en el tractament de desherbatge químic de la finca de Torroella de Montgrí.	81
Taula 31: Distribució dels elements causants de la toxicitat pels organismes d'aigua dolça en el tractament de desherbatge químic de la finca de Monells.	82

Taula 32: Distribució dels elements causants d'efectes sobre el canvi climàtic en el tractament testimoni de la finca de Torroella de Montgrí.....	84
Taula 33: Distribució dels elements causants d'efectes sobre el canvi climàtic en el tractament testimoni de la finca de Monells.....	85
Taula 34: Distribució dels elements causants d'efectes sobre el canvi climàtic en el tractament testimoni de la finca de Riumors.....	85
Taula 35: Distribució dels elements causants de l'alliberació de partícules en suspensió en el tractament testimoni de la finca de Torroella de Montgrí.....	86
Taula 36: Distribució dels elements causants de l'alliberació de partícules en suspensió en el tractament testimoni de la finca de Monells.....	87
Taula 37: Distribució dels elements causants de l'alliberació de partícules en suspensió en el tractament testimoni de la finca de Riumors.....	87
Taula 38: Dades d'entrada (<i>inputs</i>) utilitzades en l'anàlisi d'impacte ambiental dels tractaments realitzats.....	109
Taula 39: Dades d'entrada (<i>outputs</i>) utilitzades en l'anàlisi d'impacte ambiental dels tractaments realitzats.....	111

ÍNDIX DE FIGURES

Figura 1: Fracció de la superfície destinada al cultiu de cereals d'hivern que ocupa cadascun d'ells a Espanya, Catalunya i a les Comarques Gironines (any 2016).	23
Figura 2: Distribució de la superfície de cultiu de cereals d'hivern a les províncies de Catalunya segons el sistema de producció (secà o regadiu) (any 2016). ...	24
Figura 3: Rascla de pues flexibles.....	30
Figura 4: Elements de les pues de la rascla de pues flexibles.	31
Figura 5: Rascla rotativa d'estrelles.....	32
Figura 6: Binadora amb dits desherbadors.....	33
Figura 7: Nombre d'espècies de plantes arvenses detectades amb resistència a herbicides en cada país.	37
Figura 8: Localització dels camps d'assaig.	41
Figura 9: Localització del camp d'assaig de Torroella de Montgrí.....	42
Figura 10: Finca de Torroella de Montgrí.	42
Figura 11: Localització del camp d'assaig de Monells.....	43
Figura 12: Finca de Monells.	43
Figura 13: Localització del camp d'assaig de Riumors.....	44
Figura 14: Finca de Riumors.	44
Figura 15: Desherbatge químic al camp de Torroella de Montgrí.....	49
Figura 16: Aplicació de productes herbicides en pre-emergència a la finca de Torroella de Montgrí.	50
Figura 17: Desherbatge mecànic amb la rascla de pues a la finca de Monells.	51
Figura 18: Rascla de pues flexibles.....	52
Figura 19: Localització dels assaigs dins el camp experimental de Torroella de Montgrí.	53

Figura 20: Distribució dels assaigs en el camp experimental de Torroella de Montgrí.	53
Figura 21: Localització dels assaigs dins el camp de Monells.	54
Figura 22: Distribució dels assaigs en el camp de Monells.	54
Figura 23: Localització dels assaigs dins el camp de Riumors.....	55
Figura 24: Distribució dels assaigs en el camp de Riumors.	55
Figura 25: Quadre de 0,1 m ² utilitzat per fer les lectures del nombre d'adventícies a camp.	56
Figura 26: Fracció de plantes adventícies mono i dicotiledònies identificades en els tractaments estudiats en cada camp experimental.	66
Figura 27: Margall (<i>L. rigidum</i>) identificat a la finca de Torroella de Montgrí en els primers estadis de creixement i en estadi d'espigat.	66
Figura 28: Plantes de fumària (<i>Fumaria sp.</i>) i de passacamins (<i>P. aviculare</i>) identificades al camp experimental de Torroella de Montgrí.	67
Figura 29: Adventícies dicotiledònies identificades a la finca de Monells. Exemplars de <i>L. amplexicaule</i> , <i>Chenopodium album</i> , i <i>S. media</i>	67
Figura 30: Adventícies dominants al camp experimental de Riumors. Plantes de <i>M. sativa</i> i de <i>A. fatua</i>	67
Figura 31: Nombre d'adventícies totals presents en cada tractament de la finca de Torroella de Montgrí..	68
Figura 32: Nombre d'adventícies totals presents en cada tractament de la finca de Monells.....	69
Figura 33: Nombre d'adventícies totals presents tots els tractaments de la finca de Riumors.....	70
Figura 34: Fitotoxicitat (nivell 4 en l'escala EPPO) en l'ordi tractat amb herbicides a la finca de Torroella de Montgrí.	72
Figura 35: Fitotoxicitat (nivell 1 en l'escala EPPO) en l'ordi tractat amb herbicides a la finca de Torroella de Montgrí.	72
Figura 36: Cultiu sembrat a la finca de Monells. En primer pla es mostra el tractament químic.....	73

Figura 37: Cost mitjà del desherbatge en els tractaments estudiats (químic, mecànic intensiu i mecànic simplificat).....	74
Figura 38: Distribució dels costos obtinguts en funció del tractament.....	74
Figura 39: Nombre potencial de casos de toxicitat pels humans (no cancerígena) que va poder provocar arreu del món una hectàrea de cultiu de cada tractament.	75
Figura 40: Toxicitat potencial que 1 ha de cada tractament va poder provocar sobre els organismes d'aigua dolça.	81
Figura 41: Efectes potencials que 1 ha de cada tractament va poder provocar sobre el canvi climàtic.	84
Figura 42: Quantitat potencial de partícules en suspensió (PM) que va poder alliberar a l'aire 1 ha de cada tractament.	86
Figura 43: Precipitació diària acumulada i temperatura mitjana diària registrada a l'estació meteorològica de la Tallada d'Empordà durant el període 01/11/2018 - 01/05/2019.	92
Figura 44: Cost mitjà del desherbatge en els tractaments estudiats (químic, mecànic intensiu i mecànic simplificat) considerant que l'amplada de treball de la rascla de pues fos de 8 m.	94
Figura 45: Distribució dels costos de desherbatge mecànic obtinguts considerant una amplada de treball de la rascla de pues de 8 m.	95

RESUM

Aconseguir un bon control de les plantes adventícies és un aspecte fonamental a tenir en compte en qualsevol cultiu. En el cas dels cereals d'hivern, als quals es destina prop del 25% de la superfície agrícola total de l'Estat Espanyol, actualment aquest control s'aconsegueix majoritàriament mitjançant productes herbicides, i sols unes poques explotacions, la majoria d'elles dedicades a l'agricultura ecològica, utilitzen mètodes de desherbatge mecànic (MAPA, 2018; Betbesé et al., 2012). Tot i això, factors com els elevats preus dels herbicides o l'aparició d'arvenses resistents a determinades matèries actives posen de manifest la necessitat d'aconseguir un control de les adventícies amb mètodes que puguin substituir o complementar els herbicides (Dorado & Fernandez-Quintanilla, 2017).

L'objectiu principal del treball va ser estudiar l'eficàcia del desherbatge mecànic en els cereals d'hivern, identificant i quantificant les poblacions de plantes adventícies presents al cultiu, realitzant un estudi econòmic del cost de les operacions de desherbatge, i avaluant l'impacte ambiental d'aquestes operacions.

Es van realitzar assaigs en 3 camps experimentals ubicats al nord-est de Catalunya, concretament a les comarques del Baix i Alt Empordà. A cada camp (o finca) s'hi van dur a terme 3 repeticions, formades per 4 tractaments cadascuna. A dos d'aquests camps, els quals seguien un sistema productiu convencional, s'hi va sembrar ordi, i la distribució dels tractaments va ser en forma de blocs a l'atzar. A la tercera finca, de producció ecològica, s'hi va sembrar blat, i els tractaments es van distribuir en forma de quadrat llatí. L'única diferència que hi va haver entre els tractaments d'una mateixa finca va consistir en el mètode de desherbatge. Els tractaments estudiats van ser:

1. Testimoni: no es va realitzar cap control de les adventícies.
2. Desherbatge químic: es va dur a terme un control de les herbes utilitzant únicament productes herbicides. Aquest tractament no es va dur a terme a la finca de cultiu ecològic.
3. Desherbatge mecànic intensiu: el control de les arvenses es va realitzar mitjançant la rascla de pues flexibles, fent tantes passades com es van considerar necessàries.
4. Desherbatge mecànic simplificat: es va realitzar el control de les adventícies mitjançant una sola passada amb la rascla de pues flexibles.

Es va estudiar l'evolució de les densitats de població de les plantes adventícies en cada tractament al llarg del temps, de manera que se'n va poder avaluar el nivell de control segons cada mètode de desherbatge en el moment en què el cultiu ja cobria completament el sòl. Per altra banda, també es va dur a terme

una estimació dels costos dels diferents mètodes de desherbatge emprats. Finalment, per cada tractament de cada finca es va realitzar un anàlisi de l'impacte ambiental generat en el conjunt d'operacions del cultiu.

Els resultats obtinguts van permetre confirmar que el desherbatge químic va ser el més eficaç en el control de les adventícies, assolint nivells de control superiors al 97%. Pel que fa al desherbatge mecànic, en els camps de cultiu convencional es va obtenir que en el tractament intensiu les eficàcies van ser properes al 80%, i aquest va permetre reduir la població d'arvenses fins a nivells que podien ser considerats acceptables per no tenir pèrdues econòmiques importants en la collita. El desherbatge mecànic simplificat va permetre un control inferior al 60%, el qual es va considerar insuficient. Cal destacar que a la finca de cultiu ecològic, els resultats obtinguts mitjançant el desherbatge mecànic no van diferir significativament del testimoni, tot i que aquest va presentar nivells poblacionals d'arvenses molt baixos. En el moment en què es va utilitzar la rascla de pues flexibles en aquesta finca, les adventícies es trobaven en estadis avançats de desenvolupament, de manera que la majoria d'elles no van poder ser arrencades del sòl. En canvi, en les altres dues finques la màquina es va utilitzar quan les adventícies es trobaven en etapa de naixença o en estadis inicials de desenvolupament foliar, de manera que disposaven d'un sistema radicular menys desenvolupat i, conseqüentment, el desherbatge mecànic va ser més eficaç.

En fer l'anàlisi econòmic es va obtenir que el desherbatge químic va tenir un cost mitjà de 53 €/ha, però que aquest podia ser molt variable (oscil·lant entre els 30 i 75 €/ha aproximadament) en funció del producte herbicida utilitzat. En el desherbatge mecànic intensiu el cost mitjà de l'operació va disminuir fins als 38 €/ha, i en el simplificat, fins als 17 €/ha. En aquests darrers casos, els valors mitjans van ser menys variables perquè aquests van dependre essencialment del cost de la mà d'obra.

Els resultats que es van obtenir en l'anàlisi d'impacte ambiental van mostrar com el desherbatge químic va tenir un elevat potencial de generar casos de toxicitat tant en humans com en organismes d'aigua dolça, podent esser molt variable el nombre de casos o d'espècies potencialment afectades segons la matèria activa utilitzada. Per altra banda, es va observar que els mètodes de desherbatge mecànic van tenir un impacte ambiental negligible en comparació amb altres operacions dutes a terme al conreu, tals com la fertilització o la preparació del sòl (aquesta darrera només va tenir una influència important en l'alliberació de partícules en suspensió).

Així doncs, es pot concloure que el desherbatge mecànic intensiu amb la rascla de pues flexibles pot ser una bona alternativa als mètodes convencionals pel control de les adventícies, ja que aquest resulta més econòmic i té un menor potencial de generar toxicitats respecte el desherbatge químic i, alhora, permet controlar les arvenses fins a densitats de població acceptables econòmicament.

Tot i això, per obtenir bons resultats amb aquest mètode de desherbatge es considera necessari fer un seguiment de l'evolució de les plantes (tant del cultiu com de les arvenses) a cada camp, així com de les condicions meteorològiques, per tal de determinar el moment òptim per realitzar les operacions de desherbatge.

Pel que fa al desherbatge mecànic simplificat, aquest no es considera adequat per ser utilitzat en el control de les arvenses ja que, tot i ser el mètode més econòmic i amb menor impacte ambiental, no va permetre un control suficient de les adventícies.

Malgrat les conclusions extretes, caldria complementar els resultats obtinguts en els assaigs amb els valors de producció obtinguda a cada tractament per comprovar que les estimacions (no numèriques) de la relació de control d'arvenses – rendibilitat econòmica fetes en els casos de desherbatge mecànic són encertades.

PARAULES CLAU

- Cereal d'hivern
- Ordi
- Blat
- Desherbatge mecànic
- Rascla de pues flexibles
- Anàlisi estadístic
- Costos desherbatge
- Anàlisi de Cicle de Vida (ACV)

AGRAÏMENTS

Als meus tutors, el Sr. Pere Vilardell Coderch i el Sr. Joan Serra Gironella per donar-me l'oportunitat de participar en aquest projecte, però també pels seus consells i el temps que han dedicat a ensenyar-me tot el necessari per seguir amb els assaigs i el treball dia a dia.

A tot el professorat del Grau en Enginyeria Agroalimentària de la Universitat de Girona, i als coneixements que m'han aportat durant els últims 4 anys. Especialment al Dr. Joan Pujol Planella per assessorar-me en el contingut d'alguns apartats del projecte, i al Dr. Miquel Duran Ros pels seus consells i suport.

A tot el personal del Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació de la Generalitat de Catalunya que ha participat en el projecte. En particular, al Sr. Josep M^a Llenes Espigares per ajudar-me en la identificació de les plantes arvenses i resoldre'm tots els dubtes referents a malherbologia. També al Sr. Alex Estadella Servalls i al Sr. Felip Gracia Aguila per facilitar-me tota la informació necessària referent a les eines de desherbatge.

A la Dra. Assumpció Anton Vallejo, la Dra. Nancy Peña Valbuena i la Sra. Erica Montemayor per la seva paciència i dedicació en introduir-me en el món dels Anàlisis de Cicle de Vida i facilitar-me totes les dades que fossin necessàries.

Als propietaris de les finques, el Sr. Ignasi Vilaseca, el Sr. Joan Dalmau i el Sr. Joan Serra per la seva bona disposició a facilitar els seus camps per poder-hi dur a terme els assaigs, així com tota la informació que n'han proporcionat.

A tot el personal de Mas Badia que m'ha ajudat durant el treball, ja sigui proporcionant informació, realitzant tasques a camp, o donant el seu punt de vista. Especialment a la Maria Roca, per la seva gran ajuda i suport en les tasques del dia a dia a camp i en la recopilació de dades.

Als meus pares Imma i Josep, i a la meva germana Gemma, tant pel seu suport moral i financer, com pels seus consells i paciència durant tota l'etapa d'estudis de grau.

A tots vosaltres, i als qui no he mencionat però que també han participat de manera directa o indirecta en aquest projecte, moltes gràcies.

1. INTRODUCCIÓ

1.1. Situació actual de la producció de cereals d'hivern

Els cereals d'hivern (blat, ordi, civada, sègol, triticale i barreges de cereals) són cultius que tenen una elevada importància a Catalunya i arreu d'Espanya degut a la superfície que s'hi destina i a les produccions obtingudes.

Concretament, en tot l'Estat es destinen al cultiu de cereals d'hivern més de 5.700.000 ha, les quals representen prop del 25% de la superfície agrícola total. Aquesta proporció és similar tant a Catalunya com a les Comarques Gironines, amb 290.000 i 38.500 ha respectivament. Analitzant els cultius, a la Figura 1 es pot veure com el blat i l'ordi són els més cultivats, ocupant conjuntament entre el 80 i el 95% de la superfície que es destina als cereals d'hivern (MAPA, 2018).

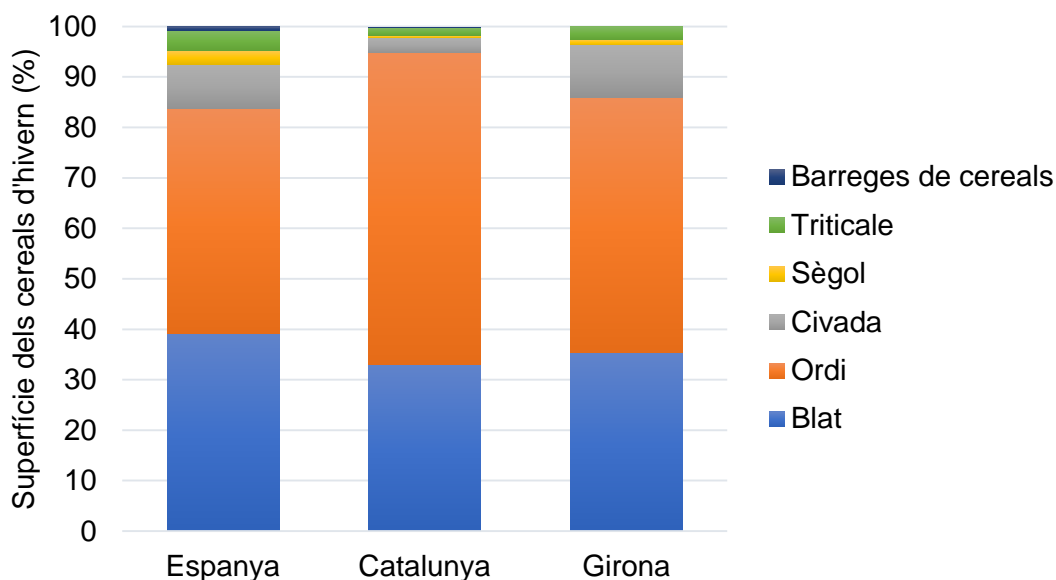


Figura 1: Fracció de la superfície destinada al cultiu de cereals d'hivern que ocupa cadascun d'ells a Espanya, Catalunya i a les Comarques Gironines (any 2016).
Font pròpia a partir de dades de MAPA (2018).

Els principals aprofitaments dels cereals d'hivern són com a farratge o com a gra. En aquest últim cas s'obté palla, la qual és un subproducte que es pot aprofitar en la producció ramadera com a farratge o jaç, o bé es pot deixar estesa al sòl i incorporar-la al terreny posteriorment.

Segons dades de l'any 2016, la producció de gra de cereals d'hivern a Espanya és d'unes 19.000.000 t anuals, mentre que es recol·lecten prop 10.800.000 t de palla. A Catalunya la producció de gra i palla obtinguda representa el 5,8 i el 4,5% respectivament de l'espanyola. Més concretament, a les Comarques Gironines s'obtenen unes 135.000 t de gra, i prop de 53.000 t de palla (MAPA, 2018).

El gra es pot destinar al consum humà o bé al consum animal (per la producció de pinsos). També és habitual reservar en la pròpia explotació una part de la collita obtinguda per utilitzar-la com a llavor en la sembra de la campanya següent (aproximadament el 3% del gra obtingut s'utilitza com a llavor de sembra) (MAPA, 2018).

Per altra banda, la producció obtinguda es pot destinar a l'autoconsum o bé es pot vendre. El més habitual és la venda, a la qual es destina més del 90% de la producció de blat i ordi, i entre el 60 i 70% de la producció de civada, sègol, triticale i barreges de cereals. La fracció de producció que no es comercialitza es destina a l'autoconsum, ja sigui com a alimentació i/o jaç pels animals de la pròpia explotació, o bé com a llavor de sembra (MAPA, 2018).

De la producció total de cereals d'hivern obtinguda arreu de l'Estat, el 89% correspon a blat i ordi. A Catalunya aquesta proporció ascendeix fins el 96%, i a Girona representa el 92%. Aquestes elevades proporcions s'obtenen degut a la gran superfície de conreu que es destina a aquests cultius (Figura 1) (MAPA, 2018).

Pel que fa a la distribució dels cereals d'hivern a Catalunya (Figura 2), el 57% de la superfície que s'hi destina es situa a les comarques de Lleida (164.000 ha), el 22% a les de Barcelona (64.300 ha), el 13% a les de Girona (38.500 ha), i el 8% a les comarques de Tarragona (21.900 ha) (MAPA, 2018).

De la mateixa manera, la major producció de gra s'obté a la província de Lleida, que subministra el 55% del gra obtingut a tot Catalunya (605.700 t), seguida de Barcelona, que produeix el 24% del gra (261.100 t). A Girona se'n produeix el 12% (135.100 t), i a Tarragona el 9% (100.300 t) (MAPA, 2018).

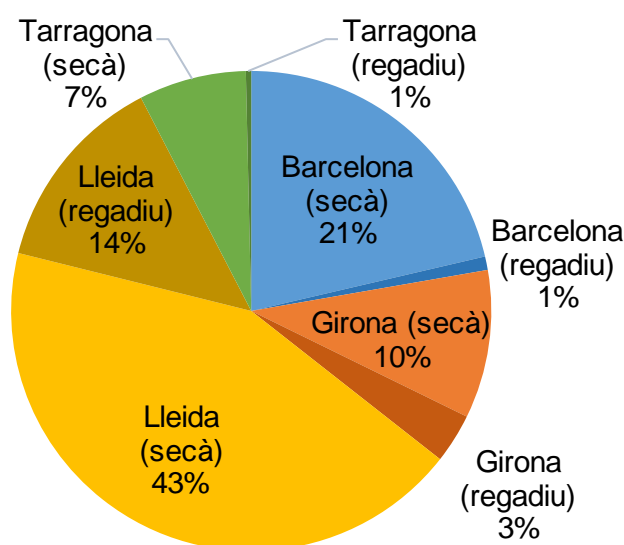


Figura 2: Distribució de la superfície de cultiu de cereals d'hivern a les províncies de Catalunya segons el sistema de producció (secà o regadiu) (any 2016).
Font pròpia a partir de dades de MAPA (2018).

1.2. Característiques agronòmiques del cultiu

Les operacions que es duen a terme són semblants en tots els cereals d'hivern.

Per una òptima naixença i desenvolupament del cultiu, s'han d'evitar sòls compactats. La **preparació del terreny** es pot realitzar amb mètodes tradicionals (fent una o dues passades d'arada, seguit de la rascla de pues i d'un roleu, per exemple), mínim laboreig (per exemple, fent una passada amb la xissel i una altra de més superficial amb la rascla de pues), o bé amb el no laboreig o sembra directa (Francés & Vilardell, 2018).

A Catalunya la **sembra** generalment es realitza als mesos d'octubre i novembre, tot i que es poden dur a terme sèmbrs més tardanes, fins a finals de gener. En les condicions de secà es sol sembrar abans que en regadiu per tal d'aprofitar la humitat del sòl generada amb les pluges de tardor per afavorir la naixença. S'utilitza una sembradora a línies, que treballa a una profunditat de 2 a 5 cm i una separació entre línies de 10 a 15 cm. La dosi de sembra sol ser de 100 a 200 kg/ha depenent del pes de la llavor per tal que el cultiu, una vegada establert, tingui una densitat de 250 a 300 plantes/m² (Francés & Vilardell, 2018).

Segons la disponibilitat d'**aigua**, els cereals d'hivern es poden cultivar en secà o en regadiu. A Catalunya el cultiu majoritàriament es realitza en condicions de secà, tal com mostra la Figura 2 (el 81% de la superfície destinada al cultiu de cereals d'hivern no té aportació d'aigua de reg). Tot i això, en condicions de baixa humitat al sòl seria favorable aportar aigua després de sembra i al final de l'encanyat per facilitar l'etapa de germinació-naixença i l'espigat respectivament (Francés & Vilardell, 2018).

Pel que fa a la **fertilització**, en aquests cultius es recomana aportar de 100 a 150 kg/ha de N (preferiblement de manera fraccionada al llarg del cicle del cultiu), de 40 a 60 kg/ha de P₂O₅, i de 150 a 200 kg/ha de K₂O (Francés & Vilardell, 2018).

Si el cultiu es destina a farratge, el **dall** es realitza a la primavera, en l'etapa d'espigat si s'aprofita en verd, o bé en l'estadi de gra lletós si es vol ensitjar. La producció, molt variable depenent de l'espècie, de les condicions climàtiques i del moment d'aprofitament, sol estar compresa entre 6000 i 14000 kg/ha de matèria seca (Francés & Vilardell, 2018).

En canvi, si l'aprofitament és el gra, la **recol·lecció** es realitza quan aquest conté un 12 – 15% d'humitat, als mesos de juny i juliol. La producció mitjana obtinguda a Catalunya és d'uns 3000 – 5000 kg/ha (MAPA, 2018).

1.3. Efecte de les adventícies en la producció

D'entre els agents biològics que provoquen danys als cultius (fauna, plagues, malalties i males herbes), les plantes arvenses són les que provoquen majors pèrdues a nivell mundial. Concretament, segons Oerke (citada per Recasens (2012)), les anomenades males herbes poden provocar unes pèrdues de fins el 35% de la producció si no s'apliquen mesures de control. En canvi, aplicant les mesures necessàries, la pèrdua de producció descendeix fins el 9% aproximadament (és a dir, les mesures de control tenen una eficàcia del 74%).

La major part de les llavors d'arvenses presents als camps de conreu (banc de llavors) es troben en la capa arable del sòl, distribuïdes d'una forma bastant homogènia en els primers 10 – 30 cm de profunditat. Es considera que un sòl agrícola està net d'adventícies quan conté entre 100 i 1.000 llavors/m²; en condicions normals quan conté entre 10.000 i 20.000 llavors/m²; i molt "brut" si conté entre 40.000 i 80.000 llavors/m² (Besnier, 1969).

Alguns dels danys que provoquen les adventícies en els conreus són (Mendiola, 2000):

- Disminució del rendiment dels cultius degut a la competència que es pot generar pels elements nutritius, l'aigua, la llum i l'espai; o bé degut a fenòmens d'al·lelopatia.
- Increment dels costos de producció degut a les operacions de control que s'han de dur a terme (segons Cabasés & Lloveras (2014), l'ús de productes herbicides en els cultius de blat i ordi té un cost d'uns 40 – 50 €/ha i any, els quals representen el 10% dels costos totals de producció d'aquests cultius en condicions de secà, i el 5% en condicions de regadiu).
- Possible reservori d'agents nocius pel cultiu, de manera que es dificulta el seu control.
- Disminució de la qualitat de la collita, que conté llavors de males herbes, les quals tenen menor qualitat alimentària i poden transmetre sabors estranys al pinso o al farratge, a més de possibles toxicitats per les persones i animals.
- Possible hibridació amb les espècies cultivades i conseqüent disminució de qualitat de la llavor obtinguda.

Tot i això, les plantes arvenses també tenen efectes positius sobre el cultiu i la parcel·la, els quals cal tenir en consideració en el moment de fer-ne el maneig. Alguns d'aquests efectes poden ser (García, 2012):

- Control de l'erosió: cobreixen el sòl ràpidament, de manera que permeten reduir l'erosió hídrica i eòlica en comparació amb un sòl nu.
- Fertilització del sòl: es poden utilitzar com a adob, incorporant-les al sòl en les tasques de preparació del terreny.
- Possible reservori d'agents de biocontrol de plagues i malalties.
- Possible font de caràcters genètics útils en millora vegetal (per exemple, resistència a determinades plagues o malalties, a la sequera, etc.)

1.4. Principals adventícies que afecten el cultiu

Les plantes arvenses que afecten més habitualment als cultius cerealístics d'hivern a Catalunya són les que es mostren a la Taula 1. S'han classificat segons si són de fulla estreta o de fulla ampla (monocotiledònies o dicotiledònies, respectivament), ja que aquest és un factor que condiciona l'elecció de les eines de desherbatge mecànic i/o dels productes herbicides.

Taula 1: Flora adventícia més comuna en els cereals d'hivern a Catalunya.
Fonts: DARPA (2017); HEAP (2019); Recasens (2000).

Nom comú	Nom(s) científic(s)	Classificació
Cua de guineu	<i>Alopecurus myosuroides</i> **	Monocotiledònies
Cugules	<i>Avena sterilis</i> ssp <i>ludoviciana</i> *	
	<i>A. sterilis</i> ssp <i>sterilis</i> *	
	<i>A. fatua</i> *	
	<i>A. barbata</i>	
Escaldaboques o estripasacs	<i>Bromus diandrus</i> *	
	<i>B. rigidus</i>	
	<i>B. madritensis</i>	
	<i>B. tectorum</i> **	
	<i>B. sterilis</i> *	
Margall	<i>B. rubens</i> *	
	<i>Lolium rigidum</i> **	
	<i>Hordeum murinum</i> *	

Taula 1, continuació.

Nom comú	Nom(s) científic(s)	Classificació
Ravenissa	<i>Diploaxis erucooides</i> *	Dicotiledònies
Fumàries	<i>Fumaria officinalis</i> <i>F. capreolata</i> <i>F. densiflora</i> *	
Cards	<i>Galactites tomentosa</i> <i>Cirsium arvense</i> * <i>Carduus tenuiflorus</i> <i>Sylibum marianum</i>	
Rèvola	<i>Galium aparine</i> *	
Rosella	<i>Papaver rhoeas</i> **	
Polígonum	<i>Polygonum aviculare</i> * <i>P. convolvulus</i> (= <i>Bilderykia convolvulus</i>)*	
Scandix	<i>Scandix pecten-veneris</i>	
Veronica	<i>Veronica persica</i>	

* Resistència a herbicides detectada en algun país del món.

** Resistència a herbicides detectada a Espanya. Informació ampliada a la Taula 8.

1.5. Mètodes de control de les adventícies

Per controlar la flora adventícia en els cereals d'hivern es poden emprar mètodes culturals, mecànics, químics (herbicides), o bé la combinació d'aquests.

1.5.1. Mètodes culturals i mecànics

En el control de les males herbes amb mètodes culturals i mecànics es poden diferenciar mesures preventives i mesures curatives. Generalment els mètodes culturals tenen caràcter preventiu, i els mecànics, curatiu.

Les mesures preventives més econòmiques i eficaces pel control d'adventícies en els cereals d'hivern són (Dorado & Fernandez-Quintanilla, 2017; INTIA, 2012; Lopez, 1991):

- a) **Rotació de cultius:** permet sotmetre la finca a una diversitat de condicions de cultiu que evita la selecció de les poblacions d'arvenses degut a la diversitat de tècniques de desherbatge i de grups químics d'herbicides que es poden utilitzar.
- b) **Treball del sòl previ a sembra:** els treballs profunds permeten enterrar les llavors d'adventícies, evitant que germinin; i les feines superficials ajuden en el control de les plàntules emergides quan aquestes es troben en estadis inicials de desenvolupament. Les eines més adequades per aquesta finalitat són (Arino et al., 2012):

- a. Grada: s'utilitza per destruir les restes del cultiu anterior i les adventícies desenvolupades posteriorment. Com que deixa el sòl amb poques terres, també afavoreix la germinació d'altres males herbes, les quals es podran eliminar més endavant amb altres passades mecàniques o químiques.
 - b. Arada: permet un treball profund del sòl, de manera que enfonsa les llavors ubicades en superfície, evitant-ne la germinació. Permet lluitar contra la majoria de llavors, les quals germinen en els primers 3 cm de profunditat. Tot i això, algunes poden entrar en fase de latència i germinar quan, amb altres treballs del sòl, tornin a quedar en superfície.
 - c. Falsa sembradora o rascla de pues: crea un llit de sembra que afavoreix la germinació de les llavors ubicades en la superfície del sòl, especialment si en els dies posteriors hi ha aportació d'aigua. Aquestes plantes arvenses es podran eliminar amb treballs posteriors abans de sembra, i evitar que competeixin amb el cultiu en l'etapa de germinació-naixença.
- c) **Maneig de la sembra**: la data de sembra, la densitat de sembra, l'ús de varietats de cereal vigoroses, la netedat o puresa de la llavor i el correcte manteniment de la sembradora són aspectes a tenir en compte en el control de les adventícies:
- a. Un endarreriment en la data de sembra permet el control de les plantes arvenses que germinen a la tardor, com els *Bromus* sp. o el margall, mitjançant els treballs del sòl previs a sembra.
 - b. Les elevades densitats de sembra i l'ús de varietats de cereal vigoroses poden contribuir a que el cultiu cobreixi el sòl amb major rapidesa i, per tant, crear condicions d'ombra que permeten una millor competència amb les adventícies.
 - c. La puresa de la llavor i la netedat de la sembradora també són aspectes a considerar per evitar incorporar al camp noves llavors d'arvenses.
 - d. En cas de voler realitzar un desherbatge mecànic posterior, és recomanable augmentar la profunditat de sembra en 1 cm respecte l'habitual per poder realitzar les passades amb les eines sense afectar la naixença del cultiu (Arino et al., 2012).

Algunes eines de treball del sòl també es poden utilitzar quan el cultiu està implantat per controlar les adventícies que han germinat (mesures curatives). En aquest cas, el moment ideal per passar l'eina depèn de l'estadi de desenvolupament del cultiu i de les males herbes (convé que el cultiu estigui ben implantat al sòl, i que les adventícies estiguin poc desenvolupades) i de l'estat

d'humitat del sòl, que es recomana que sigui sec per facilitar les passades i evitar que les plantes arrencades arrelin de nou (Taula 2). També cal tenir en compte factors com la velocitat o la profunditat de treball, que determinen el nivell d'agressivitat de la maquinària. Les eines que es consideren més adequades pel desherbatge mecànic en els cereals d'hivern són la rascla de pues flexibles, la rascla rotativa d'estrelles i la binadora (Arino et al., 2012).

Taula 2: Eficàcia de la rascla de pues, la rascla rotativa d'estrelles i la binadora en el control d'adventícies segons el contingut d'humitat i la tipologia de sòl. Font: Arino et al. (2012).

Condicions del sòl		Rascla de pues flexibles	Rascla rotativa d'estrelles	Binadora
NIVELL D'HUMITAT	Adhesiu	Insuficient	Insuficient	Insuficient
	No adhesiu	Mitja-baixa	Bona	Insuficient
	Fresc	Bona	Bona	Insuficient
	Mitjanament sec	Bona	Bona	Bona
	Sec	Bona	Mitja-baixa	Bona
TIPUS DE SÒL	Pedregós	Acceptable	Baixa	Acceptable
	Argilós	Mitja-acceptable	Mitja-acceptable	Bona
	Llimós hidromorf	Insuficient	Mitja-baixa	Mitja-acceptable
	Argil·lollimós amb sílex	Insuficient	Insuficient	Mitja-baixa
	Llimós	Bona	Mitja-acceptable	Bona
	Arenós	Bona	Mitja-baixa	Bona

La **rascla de pues flexibles** (Figura 3) treballa el sòl molt superficialment, de manera que és convenient utilitzar-la quan la flora adventícia està poc arrelada. La seva agressivitat està condicionada principalment pel grau d'inclinació de les pues, però també per la velocitat de treball (l'eina és més agressiva com major és la velocitat de treball). Tal com es mostra a la Taula 4, no es recomana passar-la en l'etapa de naixença i d'una fulla del cultiu, ja que podria provocar-ne grans pèrdues. Aquesta té una bona eficàcia en sòls argilosos, llimosos i arenosos, però també en sòls pedregosos. Tot i això, cal evitar els sòls llimosos amb elevats continguts d'humitat i els que contenen sílex (Taula 2). Si es vol utilitzar, es recomana augmentar la densitat de sembra en un 10 – 15% respecte l'habitual (Arino et al., 2012). Segons Betbesé et al. (2012), té una eficàcia aproximada del 80% en el control de dicotiledònies, però quasi nul·la en monocotiledònies i plantes perennes.



Figura 3: Rascla de pues flexibles.
Font pròpia.

Tal com s'ha exposat, un dels factors que determina el nivell d'agressivitat de la rascla de pues flexibles és el grau d'inclinació de les pues: com menor és l'angle que presenten respecte la vertical (angle d'incidència), més agressiva és l'eina pel cultiu i les adventícies. A la Figura 4 s'hi representen els elements que conformen les pues.

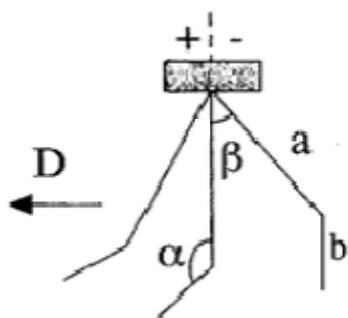


Figura 4: Elements de les pues de la rascla de pues flexibles. Els símbols +/- representen el nivell d'agressivitat; D indica la direcció d'avanç; a i b són les longituds dels segments de les pues, on b és el segment que està en contacte amb el sòl; β representa l'angle d'incidència; α és l'angle format entre a i b , el qual sol ser de 120° . Font: Llenes & Taberner (2013).

L'angle d'incidència de les pues és regulable. En cas de disposar d'una eina regulable en 10 posicions diferents (les quals estan directament relacionades amb el grau d'inclinació de les pues), la relació que hi hauria entre la posició i l'angle d'incidència podria ser la mostrada a la Taula 3. Pel que fa a la resta de paràmetres (Figura 4), el valors que prenen són: (a) 30 cm; (b) 10 cm; (α) 120° .

Taula 3: Relació de la posició de les pues de la rascla de pues flexibles respecte l'angle format amb la vertical. Com menor és l'angle d'incidència, major agressivitat té l'eina. Font pròpia.

Posició	Grau d'inclinació o angle d'incidència (β)
1,0	78
1,5	70
2,0	62
2,5	54
3,0	46
3,5	38
4,0	30
4,5	22
5,0	14
5,5	6

Taula 4: Condicions d'utilització de la rascla de pues flexibles en els cereals d'hivern segons l'estadi del cultiu i de les adventícies. Font: Arino et al. (2012).

Estadi del cultiu	Pre-emergència	Germinació – 1 fulla	2 – 3 fulles	Encanyat	Inici espigat	2 nusos – espigat
Estadi de adventícies	Germinació – afillament	No aconsellable	Jove – 2 a 3 fulles màxim			Floració
Velocitat d'avanç	8 – 12 km/h		4 km/h	6 – 8 km/h		8 – 10 km/h
Agressivitat (inclinació de pues)	Feble a mitjana		Feble	Mitjana a forta		Mitjana
Pèrdues del cultiu	Nules	Fortes	Febles	Nules		Nules

Pel que fa a la **rascla rotativa d'estrelles** (Figura 5), les condicions d'ús són similars a la rascla de pues, tot i que en aquest cas l'agressivitat no depèn del grau d'inclinació, sinó del nombre de discos i de la profunditat de treball, a més de la velocitat (entre 12 i 20 km/h). Tal com s'indica a la Taula 5, no es recomana passar-la en l'etapa de naixença i d'una fulla del cultiu, ni a partir de 2 nusos i espigat. Si el sòl té una crosta superficial, es pot utilitzar abans de la rascla de pues perquè aquesta última no perdi eficàcia. L'eficàcia de la grada rotativa d'estrelles és mitjanament acceptable en sòls argilosos i llimosos, però menor en altres tipus de terreny (Taula 2). Permet el control de plantes dicotiledònies anuals, però és poc eficaç en gramínies i vivaces. Si es vol utilitzar, es recomana augmentar la densitat de sembra en un 5% (Arino et al., 2012).



Figura 5: Rascla rotativa d'estrelles. Font pròpia.

Taula 5: Condicions d'utilització de la rascla rotativa d'estrelles en els cereals d'hivern segons l'estadi del cultiu i de les adventícies. Font: ITAB (2012).

Estadi del cultiu	Pre-emergència	Germinació – 1 fulla	2 – 3 fulles	Encanyat	Inici espigat	2 nusos – espigat
Estadi de adventícies	Germinació Estadi afillament	No aconsellable	Jove – 2 a 3 fulles màxim			No adaptada
Velocitat d'avanç	12 – 15 km/h		15 – 20 km/h			
Agressivitat	Feble		Feble	Mitjana a forta		
Pèrdues del cultiu	Nules	Fortes	Febles	Nules		

La **binadora** (Figura 6) té l'avantatge que permet treballar el sòl en estadis avançats del cultiu, quan la rascla de pues i la grada rotativa d'estrelles no són prou adequades, a més que pot actuar sobre adventícies més desenvolupades (Taula 6). No s'aconsella utilitzar-la abans de l'estadi d'encanyat, ja que pot provocar greus pèrdues al cultiu. S'adapta a qualsevol tipus de sòl, excepte en els argil·lollimosos amb sílex (Taula 2). Si es vol utilitzar, cal deixar una separació entre línies de cultiu de 30 cm com a mínim. Es recomana emprar sistemes d'autoguiat per una millor precisió de treball (en aquest cas, la separació entre files pot ser inferior a 20 cm). Permet el control de plantes dicotiledònies i gramínies anuals si s'utilitza en condicions òptimes, però és ineficaç en el control de vivaces (Arino et al., 2012).



Figura 6: Binadora amb dits desherbadors.
Font pròpia.

Taula 6: Condicions d'utilització de la binadora en els cereals d'hivern segons l'estadi del cultiu.
Font: ITAB (2012).

Estadi del cultiu	Pre-emergència	Germinació – 1 fulla	2 – 3 fulles	Encanyat	Inici espigat	2 nusos – espigat
Velocitat d'avanç	No aconsellable			2 – 5 km/h (sense autoguiat) 14 km/h (amb autoguiat)		
Pèrdues del cultiu	Fortes			Febles		

Si es vol dur a terme un desherbatge mecànic, el més recomanable és combinar-lo amb els mètodes culturals per aconseguir una major eficàcia (Arino et al., 2012).

1.5.2. Mètodes químics

L'ús de productes fitosanitaris pel control de la flora adventícia és molt habitual en el cultiu de cereals d'hivern. Al conjunt de l'Estat Espanyol, aquests productes (herbicides, desbrossadors i/o musguicides) van representar l'any 2013 un 84% (1.243.404 kg) i un 97% (1.941.594 kg) del total de productes fitosanitaris aplicats en els cultius de blat i d'ordi respectivament (MAPA, 2013).

Durant els últims anys, en algunes adventícies s'ha detectat l'aparició de resistències als herbicides, el cas del margall (*L. rigidum*) n'és un exemple (Taula 8). La majoria d'aquestes resistències afecten a les matèries actives utilitzades en els herbicides aplicats en post-emergència. Així doncs, per tal de controlar les

arvenses es recomana l'ús dels productes que s'apliquen en pre-emergència i en post-emergència precoç del cultiu (Montull, Llenes, & Taberner, 2018).

Tot i això, cal tenir en compte que factors com l'estat del sòl i les condicions ambientals poden influir en l'eficàcia dels herbicides aplicats en pre-emergència (AgroSalvi, 2017; INTIA, 2012; Montull, Llenes, & Taberner, 2018):

- En els herbicides d'absorció radicular, la presència de rostoll en disminueix l'eficàcia, ja que impedeix l'arribada del producte al sòl.
- També pels herbicides radiculars, convé preparar el llit de sembra de forma anticipada i evitar la presència de terrossos per tal de facilitar la germinació de la flora adventícia i la uniformitat d'aplicació de l'herbicida.
- Convé aplicar el producte en saó, especialment quan és de caràcter residual, ja que facilita la incorporació de la matèria activa a la solució del sòl i, conseqüentment, l'absorció d'aquesta per part de la planta. Els herbicides d'absorció foliar també requereixen que el sòl tingui una humitat adequada per evitar que la planta es trobi en condicions d'estrès i no sigui receptiva a l'absorció de l'herbicida.
- En la utilització d'herbicides foliars, una humitat relativa elevada induïx a l'obertura dels estomes de la planta, de manera que afavoreix l'absorció del producte a través d'aquests.

1.5.3. Elements de decisió

Hi ha alguns factors tals com el sistema de producció (producció convencional, integrada o ecològica), l'aparició de resistències als herbicides, el tipus d'adventícies que afecten a la finca (monocotiledònies o dicotiledònies) o la disponibilitat de maquinària a l'explotació que poden condicionar les estratègies de desherbatge utilitzades.

Tant en el cas d'utilitzar mètodes de desherbatge mecànics com químics, per determinar el moment òptim d'aplicació i aconseguir la major efectivitat, cal tenir en compte (RuralCat, 2005; Ris & ATALL, 2012):

- a) Estadi de desenvolupament del cultiu i de les adventícies.
- b) Espècies i/o tipologia d'adventícies a controlar.
- c) Nivell d'infestació de la parcel·la.
- d) Condicions climàtiques posteriors al tractament.

Per altra banda, en el moment de realitzar el desherbatge mecànic, també cal tenir en compte l'estat del sòl per determinar el nivell d'adequació de cada eina. Per exemple, pel que fa a la humitat, la rascla de pues té una bona eficiència si el sòl és sec, i la grada rotativa, si és fresc (en cap dels dos casos es recomana utilitzar l'eina quan l'estat d'humitat del sòl és elevat). El tipus de sòl també hi influeix: en sòls lleugers l'eficiència d'eines com la grada de pues o la grada rotativa és major que en sòls pesats (Montull, Llenes, & Taberner, 2018).

En el cas dels productes herbicides, un altre factor a considerar és la disponibilitat de matèries actives per controlar les adventícies, i la compatibilitat entre elles quan s'aplica més d'un producte alhora. També cal tenir en compte els principis actius i mode d'acció dels herbicides aplicats anteriorment en el camp per tal d'evitar repetir-los i disminuir el risc d'aparició de resistències (RuralCat, 2005).

1.6. Resistència de les adventícies als herbicides

La resistència de les plantes adventícies als herbicides es pot definir com la seva capacitat de tolerar un o varis dels modes d'acció que s'utilitzen en els productes herbicides per controlar-les, de manera que el producte perd eficàcia. Una manera de classificar aquests modes d'acció és segons la codificació del *Herbicide Resistance Action Committee* (HRAC), que els organitza en els grups mostrats a la Taula 7.

Quan un mateix individu és resistent a més d'un mode d'acció (és a dir, a més d'un grup químic), es parla de resistència múltiple. Aquest fet dificulta el seu control amb mètodes químics, ja que es pot veure afectada la diversitat de matèries actives eficaces contra la mala herba presents al mercat.

Els mecanismes de resistència d'una planta als herbicides es poden classificar en dos grups (HRAC, s.d.; Zapiola, 2017):

- A) Mecanismes de resistència relacionats amb el lloc d'acció de l'herbicida:
- a. Mutació puntual de l'enzim: degut a una modificació genètica, es produeix un canvi en la zona de l'enzim diana on s'hi hauria d'unir la matèria activa de l'herbicida, de manera que no s'hi pot acoblar i, conseqüentment, el producte perd eficàcia.
 - b. Sobreexpressió de l'enzim: no hi ha un canvi a nivell genètic, sinó una modificació en la intensitat de producció de l'enzim sobre el qual actua l'herbicida, de manera que es produeix més quantitat de proteïna respecte l'habitual i la quantitat d'herbicida aplicat no és suficient per inhibir-ne l'efecte. Aquesta sobreexpressió de l'enzim pot estar induïda per les condicions del medi.

- c. Increment del nombre de còpies del gen que codifica l'enzim: hi ha una major quantitat de gens que codifiquen l'enzim, de manera que, com en el cas anterior, es produeix més quantitat d'enzim respecte l'habitual.

B) Mecanismes de resistència no relacionats amb el lloc d'acció de l'herbicida (tenen un alt potencial de generar resistències múltiples):

- a. Resistència metabòlica: la planta degrada la matèria activa de l'herbicida abans que arribi a la zona d'acció, transformant-la a una forma no funcional.
- b. Translocació reduïda i/o exclusió: hi ha un impediment de l'arribada de l'herbicida a la zona d'acció degut a:
- i. Impediment de l'absorció a nivell de cutícula (pot ser degut a una major producció de ceres).
 - ii. Reducció i impediment de la translocació de l'herbicida.
 - iii. Segrest o immobilització del producte (pot quedar retingut als vacúols).

Els mecanismes de resistència més habituals són la mutació puntual a la zona d'acció i la resistència metabòlica (Zapiola, 2017).

Taula 7: Classificació segons HRAC dels mecanismes d'acció dels herbicides segons el procés cel·lular que alteren o inhibeixen. Fonts: HEAP (2019); Llorente (2018).

Mecanisme d'acció	Grup HRAC
Destrucció de la membrana cel·lular	L
Interferència en la fotosíntesi	C, D, E, F
Interferència en la respiració	M
Interferència en la síntesi de proteïnes, lípids o àcids nucleics	A, B, G, H, N
Pertorbació de la divisió cel·lular	K, I
Interferència en la síntesi o transport d'auxines	O, P

Al *International Survey of Herbicide Resistant Weeds* (HEAP) es recullen les plantes arvenses en les que s'han detectat resistències als herbicides arreu del món (Figura 7). Pel que fa al cultiu de cereals d'hivern a Catalunya, a la Taula 1 s'indiquen les espècies adventícies en les que s'han detectat resistències. A la Taula 8 se'n proporcionen més detalls, especificant el mecanisme d'acció (grup químic) i les matèries actives afectades per l'aparició de cada resistència.



Figura 7: Nombre d'espècies de plantes arvenses detectades amb resistència a herbicides en cada país. A Espanya se n'han detectat 38 (febrer de 2019). Font: HEAP (2019).

Taula 8: Flora adventícia més comuna en els cereals d'hivern a Catalunya en la que s'han detectat resistències a herbicides en l'Estat Espanyol. Font: HEAP (2019).

Espècie	Any de detecció	Mecanisme d'acció afectat	Matèries actives afectades
Cua de guineu (<i>A. myosuroides</i>)	1991	C2	Clortoluron
	2015	A, B, C2 (resistència múltiple)	Clortoluron Clodinafop-propargil Cloransulam-metil* Iodosulfuron-metil-sodi Isoproturon* Mesosulfuron-metil Pinoxaden
Estripasacs (<i>B. tectorum</i>)	1990	C2	Clortoluron
	1990	C1	Simazine*
Margall (<i>L. rigidum</i>)	1992	A, C2 (resistència múltiple)	Clortoluron Diclofop
	1992	A	Diclofop
	1992	C1	Simazine*
	2006	G	Glifosat
	2016	E, G (resistència múltiple)	Glifosat Oxifluorfen
Rosella (<i>P. rhoeas</i>)	1993	B, O (resistència múltiple)	2,4-D Tribenuron-metil

* No existent al Registre de Productes Fitosanitaris (febrer de 2019). (MAPA, 2019).

1.7. Perspectives de futur en el control d'adventícies

Actualment el control de la flora adventícia en els cereals d'hivern es realitza únicament a través de productes herbicides en la majoria d'explotacions. El control mecànic de les arvenses és minoritari, i pràcticament només és utilitzat en explotacions de producció ecològica (Betbesé et al., 2012).

Malgrat això, factors com els baixos preus dels cereals, els elevats costos dels productes herbicides, l'aparició de noves resistències, la major sensibilització de la població respecte l'ús de productes químics de síntesi, i normatives com la Directiva 2009/128/CE del Parlament Europeu i del Consell per la que s'estableix el marc d'actuació comunitari per aconseguir un ús sostenible dels plaguicides fan preveure que els mètodes mecànics de control de males herbes prendran més rellevància en el futur, i es tendirà a integrar l'ús de diferents tècniques de control (Dorado & Fernandez-Quintanilla, 2017).

Així doncs, les perspectives de futur en el control de les adventícies són (Dorado & Fernandez-Quintanilla, 2017; Taberner, 2004):

- a) Control integrat: combinació de diferents mètodes de control de les plantes arvenses (rotació de cultius, realització de falses sèmbrs, endarreriment de la data de sembra, rotació de matèries actives dels herbicides, etc.).
- b) En l'elecció dels productes herbicides, a més de considerar la seva eficàcia en el control de les adventícies, tenir en compte el seu perfil ecotoxicològic.
- c) Maneig localitzat de les adventícies: les noves tecnologies poden ajudar a localitzar les males herbes presents al camp (que sovint no es distribueixen d'una manera uniforme, sinó en rodals o clapes) i aplicar les mesures de control únicament a la zona afectada.
- d) Interessos de la societat: escollir el/s mètode/s de control de les plantes arvenses en funció de les exigències del consumidor i/o de les cadenes de distribució.
- e) Sistema productiu: alguns mètodes de cultiu com la producció ecològica, amb una creixent popularitat i on no s'admet el control químic de les herbes, requereixen aconseguir un bon control d'aquestes a través de mètodes culturals i mecànics.

1.8. Objectius del treball

L'objectiu principal del treball és estudiar l'eficàcia del desherbatge mecànic en els cereals d'hivern. Per assolir-lo, es plantegen tres objectius específics:

- a) Identificar i quantificar les poblacions de plantes adventícies presents al cultiu.
- b) Realitzar un estudi econòmic del cost de les operacions de desherbatge.
- c) Avaluar l'impacte ambiental d'aquestes operacions.

2. MATERIALS I MÈTODES

Es van desenvolupar 3 assaigs en camps de cereals d'hivern, dos en condicions de cultiu convencional i un en conversió ecològic, amb la finalitat de controlar les adventícies amb mètodes mecànics i comparar-los amb l'ús de productes herbicides i amb testimonis sense cap sistema de control.

2.1. Ubicació dels assaigs

Els assaigs de l'estudi es van ubicar als municipis de Torroella de Montgrí, Monells i Riumors (Figura 8). Les dades referents a cada finca són les que es mostren a la Taula 9.



Figura 8: Localització dels camps d'assaig. Escala 1:500.000. Font: Google Maps (2019).

Taula 9: Característiques generals dels camps d'assaig de l'estudi. Font: IRTA (2018a).

	TORROELLA DE MONTGRÍ	MONELLS	RIUMORS
Comarca	Baix Empordà	Baix Empordà	Alt Empordà
Referència cadastral	Polígon 27, parcel·la 57	Polígon 1, parcel·la 104	Polígon 12, parcel·la 56
Superfície	2,06 ha	1,75 ha	3,83 ha
Sistema productiu	Convencional	Convencional	En conversió (3r any)
Conreu precedent	Ordi (<i>Hordeum vulgare</i>)	Raigràs (<i>Lolium sp.</i>)	Userda (<i>Medicago sativa</i>)
Textura del sòl	Franco-llimosa	Franco-argil·lollimosa	Franco-argil·lollimosa
Observacions	Important presència de margall (<i>L. rigidum</i>)	Lleuger desnivell a la zona oest	Fàcilment inundable

A la Figura 9 i a la Figura 10 es mostra la localització de la finca de Torroella de Montgrí.

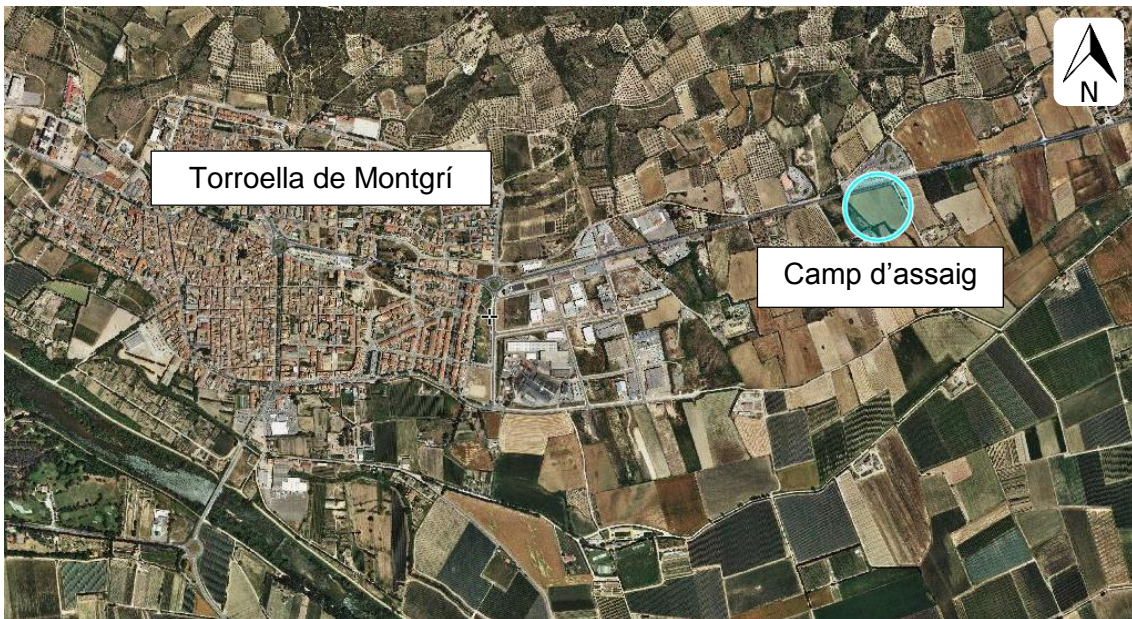


Figura 9: Localització del camp d'assaig de **Torroella de Montgrí**. Escala 1:25.000. Font: FEGA (2017).



Figura 10: Finca de **Torroella de Montgrí**. Escala 1:1.500. Font: FEGA (2017).

A la Figura 11 i a la Figura 12 es pot visualitzar la localització de la finca de Monells.



Figura 11: Localització del camp d'assaig de **Monells**. Escala 1:10.000. Font: FEGA (2017).



Figura 12: Finca de **Monells**. Escala 1:1.500. Font: FEGA (2019).

La Figura 13 i la Figura 14 mostren la ubicació de la finca de Riumors.

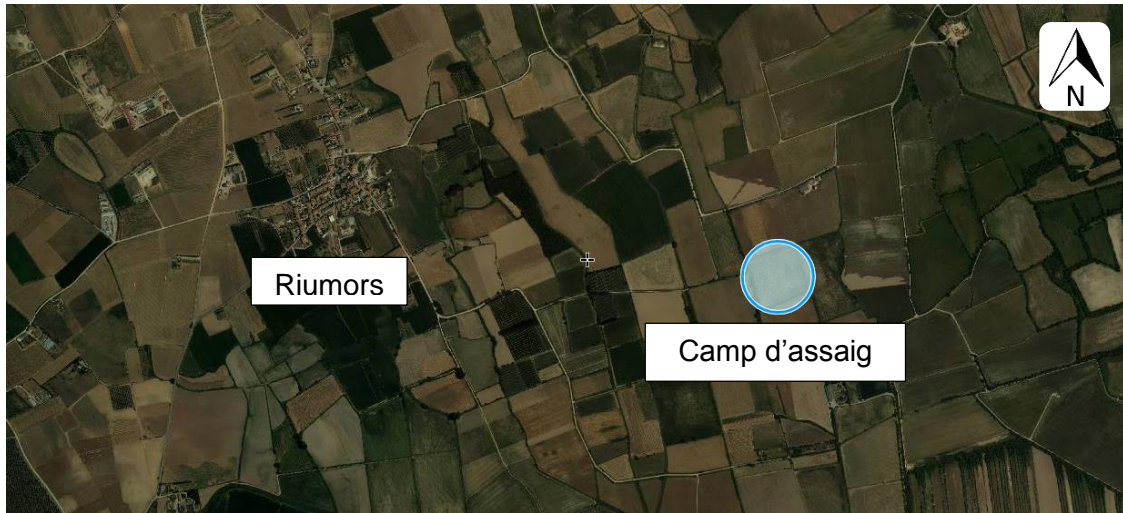


Figura 13: Localització del camp d'assaig de **Riumors**. Escala 1:25.000. Font: FEGA (2017).



Figura 14: Finca de **Riumors**. Escala 1:2.000. Font: FEGA (2019).

2.2. Material vegetal

El material vegetal en cada cas es va escollir en funció del que l'agricultor tenia previst sembrar al camp, amb l'únic condicionant que es tractés de cereals d'hivern (preferiblement ordi o blat). En les dues finques amb cultiu convencional s'hi va sembrar ordi (*H. vulgare*), i en la de cultiu ecològic s'hi va sembrar blat tou (*Triticum aestivum*). Les varietats escollides i les regulacions de la sembradora en cada cas es mostren a la Taula 10.

Taula 10: Material vegetal sembrat en cada camp d'assaig.

Camp d'assaig	Espècie i varietat	Procedència de la llavor	Data de sembra	Condicions de sembra
Torroella de Montgrí	<i>H. vulgare</i> (var. Signora)	Certificada ⁽¹⁾ R2	05/12/2018	200 kg/ha de llavor 12 cm entre línies 2 cm profunditat Sòl sense adventícies
Monells	<i>H. vulgare</i> (var. RGT Planet)	Certificada ⁽²⁾ R2	03/01/2019	225 kg/ha de llavor 12 cm entre línies 2 cm profunditat Sòl sense adventícies
Riumors	<i>T. aestivum</i> (var. Florence Aurora)	Pròpia ⁽³⁾	05/01/2019	300 kg/ha de llavor 12 cm entre línies 3 cm profunditat Sòl sense adventícies

(1) Tractada amb Difeconazol; (2) Tractada amb Tebuconazol; (3) Varietat tradicional no tractada.

2.2.1. Característiques de la varietat d'ordi Signora

Varietat de cicle curt, de manera que permet una sembra tardana. Va ser obtinguda per RAGT Semillas i va ser registrada l'any 2007. Es tracta d'un ordi de dues carreres, de baixa altura i port erecte. La varietat Signora té aptitud maltera, tot i que també és adequat destinar-la a la producció de pinso (GENVCE, 2010; RAGT Semillas, 2017).

Pel que fa a les característiques agronòmiques, és una varietat bastant resistent a l'ajagut i a l'oïdi (*Blumeria graminis*), però susceptible a la rincosporiosi (*Rynchosporium* spp.) (GENVCE, 2010). Es recomana realitzar la sembra entre finals de novembre i febrer, amb una dosi de 180 – 240 kg/ha (RAGT Semillas, 2017).

Té un elevat potencial productiu, d'uns 8600 kg/ha al 13% d'humitat a la zona del Baix Empordà (Girona litoral) (IRTA, 2018b).

2.2.2. Característiques de la varietat d'ordi RGT Planet

RGT Planet és una varietat de cicle curt obtinguda per RAGT Semillas, i registrada l'any 2014. És un ordi de dues carreres i altura mitjana, amb port erecte. Té aptitud maltera (RAGT Semillas, 2017).

Es tracta d'una varietat resistent a l'ajagut i a malalties foliars com l'oïdi (*B. graminis*), la rincosporiosi (*Rinchosporium* spp.), el rovell bru (*Puccinia* spp.) i l'helminthosporiosi (*Helminthosporium* spp.) (AGROSA semillas, 2015). Es recomana sembrar-la entre els mesos de novembre i febrer, utilitzant una dosi de 180 – 220 kg/ha (RAGT Semillas, 2017).

A la zona del Baix Empordà es poden assolir produccions d'uns 9700 kg/ha al 13% d'humitat (IRTA, 2018b).

2.2.3. Característiques de la varietat de blat Florence Aurora

És una varietat de blat tou local o tradicional de la zona de l'Empordà. El seu origen es remunta a França, als anys 50. És un blat panificable millorant, ja que té una gran força panadera, compresa entre 350 i 400 (es considera normal una força de 120 – 150) (Fruits del Secà, s.d.; Serra & Álvaro, 2017).

Pel que fa a les seves característiques agronòmiques, Florence Aurora és una varietat mitjanament susceptible a malalties foliars, i sensible a l'ajagut si la fertilització nitrogenada és superior als 150 kg/ha. En canvi, tolera elevades densitats de sembra (Serra & Álvaro, 2017). Es recomana sembrar-la a principis de tardor (Fruits del Secà, s.d.).

A la zona del Baix Empordà s'obté una producció aproximada de 4800 kg/ha al 13% d'humitat, la qual es considera mitjana entre les varietats més modernes (que tenen produccions superiors als 6000 kg/ha) i les tradicionals (amb produccions de 3000 – 4500 kg/ha) (Serra & Álvaro, 2017).

2.3. Tractaments dels assaigs

Els assaigs van constar de quatre tractaments, dos de desherbatge mecànic, anomenats intensiu i simplificat, comparats amb un tractament en el que es van utilitzar herbicides i un testimoni sense desherbar (Taula 11). Entre els 3 camps utilitzats a l'estudi es van produir variacions en l'aplicació dels tractaments, ja sigui en el nombre i moment de les passades de maquinària i/o en els productes herbicides utilitzats, en funció de l'historial de males herbes de cada finca.

La principal diferència entre els dos tractaments de desherbatge mecànic va ser en el nombre de passades de maquinària: en el desherbatge mecànic intensiu es van fer tantes passades com es van considerar necessàries durant l'etapa de pre-emergència i d'afillament del cultiu (estadis BBCH 00 – 07 i 12 – 30). En canvi, en el desherbatge mecànic simplificat tant sols es va passar una vegada l'eina de desherbatge, i es va realitzar durant l'etapa compresa entre l'estadi de dues fulles del cultiu fins a la d'inici d'encanyat (estadis BBCH 12 – 30).

Taula 11: Característiques generals dels tractaments plantejats a les parcel·les de l'assaig.

Tractament	Què s'utilitza pel control de les adventícies?	Criteris per l'elecció del producte o eina i el moment de l'operació
Testimoni	Res	No s'actua sobre les adventícies.
Desherbatge químic ⁽¹⁾	Productes herbicides	Historial d'arvenses de la finca. Estadi de desenvolupament del cultiu i de les herbes.
Desherbatge mecànic intensiu	Rascla de pues (2 o 3 vegades)	Nivell d'infestació de males herbes. Estadi de desenvolupament del cultiu (BBCH 00 – 07 i 12 – 30) i de les herbes.
Desherbatge mecànic simplificat	Rascla de pues (1 vegada)	Estadi de desenvolupament del cultiu (BBCH 12 – 30) i de les herbes.

(1) No es realitza aquest tractament en la parcel·la de cultiu ecològic (en conversió).

A la Taula 12 es detallen les operacions de desherbatge dutes a terme a la finca de Torroella de Montgrí; la Taula 13 s'hi detallen les operacions realitzades al camp de Monells; i a la Taula 14, les de la finca de Riumors. En totes elles també es disposa d'una parcel·la testimoni per cada repetició.

Taula 12: Operacions de desherbatge realitzades en cada tractament del camp experimental de **Torroella de Montgrí**.

Tractament	Data i estadi del cultiu	Eina o producte ⁽¹⁾ utilitzat	Característiques de l'operació ⁽²⁾
Químic ⁽³⁾	11/12/2019 (No emergit)	AUROS (Prosulfocarb 80% P/V)	Dosi de 4,0 l/ha aplicada a 3,5 km/h
		BEFLEX (Beflubutamida 50% P/V)	Dosi de 0,5 l/ha aplicada a 3,5 km/h
Mecànic intensiu	03/01/2019 (BBCH 12)	Rascla de pues	Angle d'incidència de 46° i velocitat de 6,0 km/h
	24/01/2019 (BBCH 13 – 21)	Rascla de pues	Angle d'incidència de 30° i velocitat de 3,0 km/h
	15/02/2019 (BBCH 23)	Rascla de pues	Angle d'incidència de 14° i velocitat de 5,0 km/h
Mecànic simplificat	24/01/2019 (BBCH 13 – 21)	Rascla de pues	Angle d'incidència de 30° i velocitat de 3,0 km/h

(1) S'especifica el nom comercial (en majúscules) i la matèria activa (entre parèntesis).

(2) Veure a la Taula 3 la relació entre la posició de les pues i l'angle d'incidència.

(3) Els dos productes es van aplicar conjuntament en un brou de 400 l/ha.

Taula 13: Operacions de desherbatge realitzades en cada tractament del camp experimental de **Monells**.

Tractament	Data i estadi del cultiu	Eina o producte ⁽¹⁾ utilitzat	Característiques de l'operació ⁽²⁾
Químic ⁽³⁾	27/02/2019 (BBCH 21)	BIATHLON 4D (Florasulam 5,4% + Tritosulfuron 71,4% P/P)	Dosi de 70 g/ha aplicada a 4,5 km/h
		SENCOR 600 SC (Metribuzina 60% P/V)	Dosi de 50 cc/ha aplicada a 4,5 km/h
		DASH HC (Metil oleat / Metil palmitat 34,8% P/V)	Dosi de 0,5 l/ha aplicada a 4,5 km/h
Mecànic intensiu	20/02/2019 (BBCH 13)	Rascla de pues	Angle d'incidència de 38° i velocitat de 5,0 km/h
	20/03/2019 (BBCH 31)	Rascla de pues	Angle d'incidència de 22° i velocitat de 4,0 km/h
Mecànic simplificat	20/02/2019 (BBCH 13)	Rascla de pues	Angle d'incidència de 38° i velocitat de 5,0 km/h

(1) S'especifica el nom comercial (en majúscules) i la matèria activa (entre parèntesis).

(2) Veure a la Taula 3 la relació entre la posició de les pues i l'angle d'incidència.

(3) Els tres productes es van aplicar conjuntament en un brou de 400 l/ha.

Taula 14: Operacions de desherbatge realitzades en cada tractament del camp experimental de Riumors.

Tractament	Data i estadi del cultiu	Eina o producte utilitzat	Característiques de l'operació ⁽¹⁾
Mecànic intensiu	14/03/2019 (BBCH 21)	Rascla de pues	Angle d'incidència de 30° i velocitat de 4,5 km/h
	28/03/2019 (BBCH 22 – 32)	Rascla de pues	Angle d'incidència de 6° i velocitat de 4,5 km/h
Mecànic simplificat	14/03/2019 (BBCH 21)	Rascla de pues	Angle d'incidència de 30° i velocitat de 4,5 km/h

(1) Veure a la Taula 3 la relació entre la posició de les pues i l'angle d'incidència.

El moment de realització de les tasques de desherbatge es va determinar en funció de l'estadi de desenvolupament del cultiu, però també es van considerar les condicions meteorològiques de precipitació i vent, el nivell d'infestació i tipus d'adventícies presents a la finca, el nivell d'humitat del sòl (preferiblement sec o en saó), i el temps transcorregut des de l'última operació (per exemple, en el tractament de desherbatge mecànic intensiu, en la mesura del possible es va deixar transcórrer un període d'unes 3 setmanes entre operacions).

2.4. Maquinària i eines de desherbatge

2.4.1. Desherbatge químic

El tractor que es va utilitzar per realitzar el desherbatge químic era de la marca Motor Ibérica S.A., model EBRO 160 D (Figura 15). Va ser fabricat l'any 1973, tenia una potència de 61 CV (45 kW) al motor i de 57 CV (42 kW) a la presa de força; i un consum de 0,78 L/ha en aplicar productes herbicides (Boto, Pastrana, & Cepeda, 2005; Motor Ibérica S.A., 1973).



Figura 15: Desherbatge químic al camp experimental de Torroella de Montgrí. El tractor és el que es va utilitzar en totes les tasques de desherbatge químic de l'estudi. Font pròpia.

Els tractaments herbicides es van realitzar mitjançant un polvoritzador hidràulic constituït per una barra de polvorització de 8 m de longitud on s'hi distribuïen de manera uniforme 16 broquets tipus ventall, de marca i model F-110 HARDI. Aquests van treballar a 2 bars de pressió, i a una altura i velocitat aproximades de 50 – 75 cm sobre el terreny i 3,5 – 4,5 km/h respectivament (Figura 16).



Figura 16: Aplicació de productes herbicides en pre-emergència a la finca de Torroella de Montgrí. Font pròpia.

Les característiques generals dels productes que es van utilitzar en els assaigs són (HRAC, s.d.; MAPA, 2019; University of Hertfordshire, 2019):

- AUROS (Prosulfocarb 80% P/V): s'utilitza pel control de males herbes anuals en els cultius d'ordi, blat, pèsol i mongetes per a gra, i patata. S'ha d'aplicar en pre o post-emergència, a una velocitat de 6 – 8 km/h. No es recomana aplicar-lo quan la temperatura ambiental supera els 20 – 25 °C i la humitat és inferior al 40%. Aquest compost pertany al grup químic dels tiocarbamats, té activitat herbicida i es classifica en el grup N de HRAC.
- BEFLEX (Beflubutamida 50% P/V): indicat pel control d'adventícies dicotiledònies en els cultius d'ordi, sègol, blat i tritcale. S'ha d'aplicar en pre-emergència del cultiu o en post-emergència fins a 2 – 3 fulles una sola vegada cada campanya. Si les condicions ambientals després del tractament són humides, s'afavoreix l'acció residual del producte. No s'ha d'aplicar quan les adventícies pateixen estrès hídric o les temperatures són massa baixes, ja que la seva eficàcia pot disminuir. Aquest compost pertany al grup químic de les amides, té activitat herbicida i es classifica en el grup F1 de HRAC.
- BIATHLON 4D (Florasulam 5,4% + Tritosulfuron 71,4% P/P): s'utilitza pel control d'herbes dicotiledònies en els cultius de civada, ordi, sègol i blat. S'ha d'aplicar en post-emergència, des de que el cultiu té 3 fulles desplegadas (estadi BBCH 13) fins a l'aparició de la fulla bandera. Aquests compostos pertanyen als grups químics de les triazolopirimidines i sulfonilurees respectivament, tenen activitat herbicida i es classifiquen en el grup B de HRAC.

- SENCOR 600 SC (Metribuzina 60% P/V): indicat pel control de males herbes anuals en els cultius d'ordi i blat de cycle llarg, espàrrec, patata i tomàquet. En el cas de l'ordi, es pot aplicar en pre-emergència i post-emergència del cultiu, i tan sols se'n pot fer una aplicació per campanya. Aquest compost pertany al grup químic de les triazines amb activitat herbicida i es classifica en el grup C1 de HRAC.
- DASH HC (Metil oleat / Metil palmitat 34,8% P/V): es tracta d'un coadjuvant que pot ser utilitzat per facilitar l'aplicació de productes herbicides. La concentració utilitzada no pot sobrepassar el 0,5% del brou de tractament. No s'ha d'utilitzar ni emmagatzemar a temperatures superiors als 40°C. Aquest compost, combinat amb una sulfonilurea (en aquest cas, amb l'herbicida BIATHLON 4D), es classifica en el grup B de HRAC.

2.4.2. Desherbatge mecànic

Les operacions de desherbatge mecànic es van realitzar amb un tractor de la marca comercial Fiat, model 666E (Figura 17). Va ser fabricat l'any 1982, i tenia una potència de 68 CV (50 kW) al motor i 61 CV (45 kW) a la presa de força (Fiat Trattori S.P.A., 1982). El seu consum de combustible en accionar l'eina utilitzada en els assaigs va ser de 2,1 L/ha (Estadella & Gracia, 2018).



Figura 17: Desherbatge mecànic amb la rascla de pues a la finca de Monells. El tractor és el que es va utilitzar en totes les tasques de desherbatge mecànic de l'estudi. Font pròpia.

L'eina que es va utilitzar per dur a terme el desherbatge mecànic va ser la rascla de pues flexibles (Figura 18). La seva descripció tècnica es mostra a la Taula 15.



Figura 18: Rascla de pues flexibles. Fonts: Generalitat de Catalunya (2018) (esquerra); pròpia (dreta).

Taula 15: Especificacions tècniques de la rascla de pues flexibles utilitzada en el desherbatge mecànic. Fonts: Generalitat de Catalunya (2018); Hatzenbichler (s.d.).

Any de fabricació	2018
Nº de sèrie	AB-17-1979
Amplada de treball	3,00 m
Pes	260 kg
Potència	11 kW
Estructura	2 seccions de 1,50 m
Altres	2 rodes de suport regulables. Pues de 6 mm de gruix flexibles. 10 posicions diferents (Taula 3).

Tal com indica la Taula 15, la rascla de pues que es va utilitzar en els assaigs es podia regular en 10 posicions diferents, les quals estan directament relacionades amb el grau d'inclinació de les pues. La relació entre el nombre de posició de l'eina utilitzada i l'angle d'incidència de les pues es mostra a la Taula 3.

2.5. Disseny experimental

El disseny dels assaigs de les finques de Torroella de Montgrí i de Monells va ser de blocs a l'atzar amb 3 repeticions i parcel·les elementals de 405 m², amb 9 m d'amplada i 45 m de llargada, excepte els testimonis, que van ser de 135 m², amb 3 m d'amplada i 45 m de llargada (Figura 19, Figura 20, Figura 21 i Figura 22). A la finca de Riumors les dimensions de les parcel·les elementals van ser les mateixes que als altres dos camps, però el disseny va ser d'un quadrat llatí amb 3 repeticions (Figura 23 i Figura 24).

En el disseny dels tractaments es va tenir en compte que la direcció de les passades amb les eines de desherbatge havia de ser la mateixa que la direcció de les línies de sembra.



Figura 19: Localització dels assaigs dins el camp experimental de **Torroella de Montgrí**. Escala: S/E. Font pròpia adaptada de IRTA (2018a).

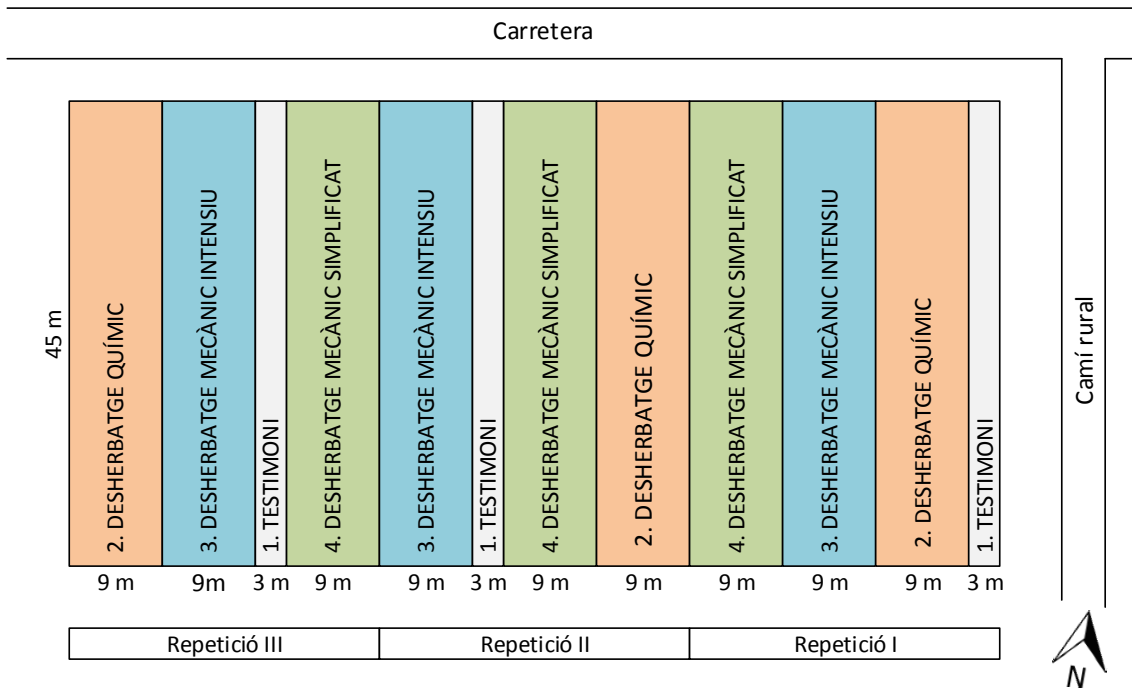


Figura 20: Distribució dels assaigs en el camp experimental de **Torroella de Montgrí**. Font pròpia adaptada de IRTA (2018a).



Figura 21: Localització dels assaigs dins el camp experimental de **Monells**.
Escala: S/E. Font pròpia adaptada de IRTA (2018a).

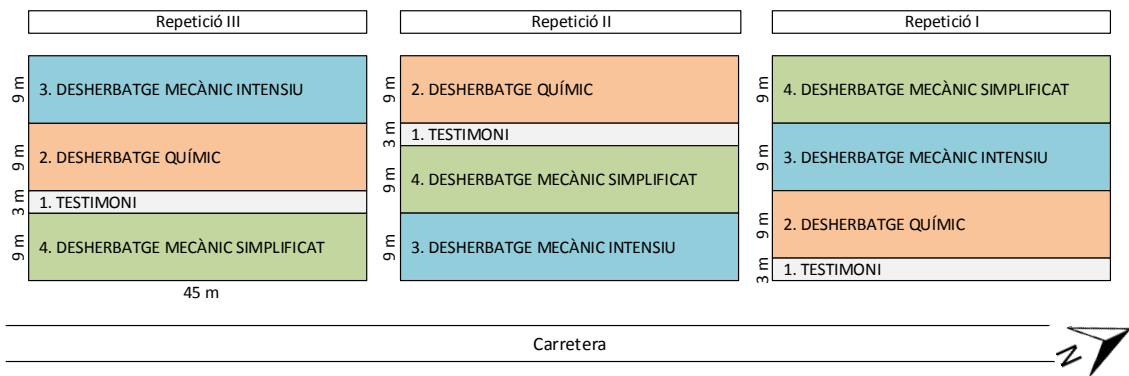


Figura 22: Distribució dels assaigs en el camp experimental de **Monells**.
Font pròpia adaptada de IRTA (2018a).



Figura 23: Localització dels assaigs dins el camp experimental de **Riumors**.
Escala: S/E. Font pròpia adaptada de IRTA (2018a).

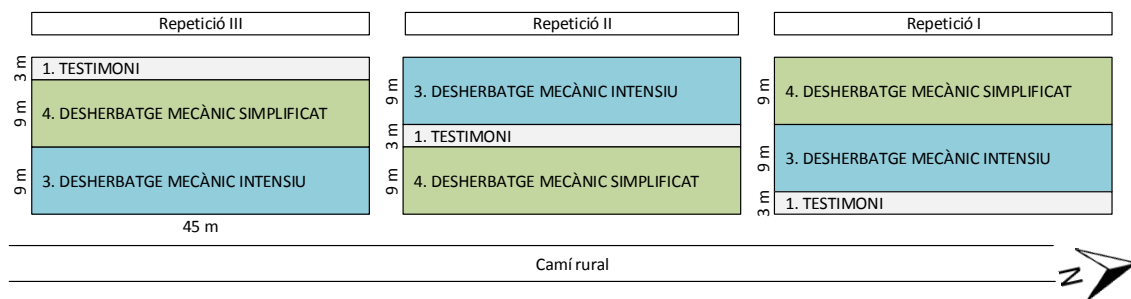


Figura 24: Distribució dels assaigs en el camp experimental de **Riumors**.
Font pròpia adaptada de IRTA (2018a).

2.6. Control del camp

La determinació del nombre i la tipologia de plantes arvenses presents a les parcel·les d'assaig es va realitzar llançant a l'atzar un quadre de 0,1 m² (Figura 25) diverses vegades. En cadascuna es va comptabilitzar el nombre d'adventícies presents en la superfície delimitada pel quadre, diferenciant entre monocotiledònies i dicotiledònies, i en la mesura del possible es van identificar a nivell de gènere i/o espècie segons Recasens & Conesa (2009).

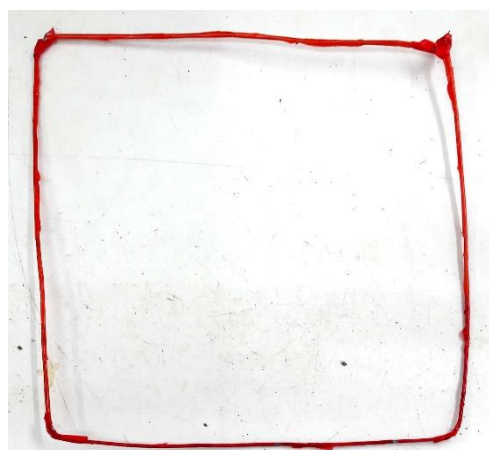


Figura 25: Quadre de 0,1 m² utilitzat per fer les lectures del nombre d'adventícies a camp. Font pròpia.

La periodicitat i el nombre de lectures (nombre de vegades que es va llençar el quadre) no va ser igual en tots els camps (Taula 16). A Torroella de Montgrí es va fer un seguiment setmanal de les herbes, fent 3 lectures a cada parcel·la elemental, i en les altres dues finques es va fer un control quinzenal, fent 6 lectures a cada parcel·la elemental. El control de camp es va iniciar en realitzar el primer desherbatge mecànic; i va finalitzar quan el cultiu va cobrir completament el sòl, es va disposar de lectures suficients per realitzar el tractament estadístic de les dades, i es van donar per finalitzats els treballs de control de les adventícies.

Taula 16: Freqüència de les lectures d'adventícies al cultiu.

Camp experimental	Data d'inici de les lectures	Data de finalització de les lectures	Periodicitat de les lectures	Nombre de lectures a cada parcel·la elemental
Torroella de Montgrí	03/01/2019	19/03/2019	Setmanal	3 lectures
Monells	20/02/2019	04/04/2019	Cada 2 setmanes	6 lectures
Riumors	14/03/2019	24/04/2019	Cada 2 setmanes	6 lectures

En cada data de control de les adventícies es va determinar l'estadi de desenvolupament del cultiu seguint l'escala BBCH, amb l'objectiu d'establir el moment idoni per dur a terme les feines de desherbatge que es mostren a la Taula 12, a la Taula 13 i a la Taula 14.

A la finca de Torroella de Montgrí també es va fer una avaluació setmanal del nivell de fitotoxicitat deguda als herbicides. Per fer-la es va utilitzar una escala EPPO d'onze nivells d'incidència compresos entre 0 i 10 (Taula 17).

Taula 17: Escala EPPO utilitzada per avaluar el nivell de fitotoxicitat que el tractament herbicida va provocar al cultiu.

Nivell de dany	Interpretació
0	No s'aprecien símptomes en el cultiu.
1	Pocs efectes apreciables. Lleugeres decoloracions (menys del 10% del cultiu afectat).
2	Alguns efectes apreciables (10 – 25% del cultiu afectat).
3	Efectes visibles (25% del cultiu afectat).
4	Efectes que comencen a ser importants (25 – 50% del cultiu afectat).
5	Efectes importants (més del 50% del cultiu afectat). Alguna planta morta.
6	Menys del 10% de mortalitat del cultiu.
7	10 – 25% de mortalitat del cultiu.
8	25 – 50% de mortalitat del cultiu.
9	50 – 75% de mortalitat del cultiu.
10	75 – 100% de mortalitat del cultiu.

2.7. Anàlisi estadístic

Les dades de camp es van analitzar de manera independent per cada assaig, ja que les finques presentaven diferències pel que fa a:

- a) Les tasques de desherbatge aplicades (Taula 12, Taula 13 i Taula 14).
- b) La tipologia i densitat d'adventícies.
- c) Les condicions meteorològiques prèvies i posteriors als tractaments.

El nivell d'ocupació d'herbes de cada assaig es va relacionar amb els tractaments i les dates de control mitjançant una regressió lineal múltiple, emprant el procediment GLM (*General Lineal Model*) del paquet estadístic SAS, i amb una hipòtesi nul·la que afirmava que les mitjanes de les dades obtingudes en els diferents tractaments realitzats eren iguals.

Es va utilitzar un procediment GLM perquè, a diferència de l'anàlisi de variàncies ANOVA, permetia estudiar l'evolució de les poblacions d'adventícies al llarg del temps, així com tractar dades amb graus de variabilitat molt heterogenis segons el tractament estudiat.

La variable depenent dels models la constituïa el nombre de plantes arvenses presents en cada unitat de superfície, i com a termes independents es va considerar el tractament, la data, la data² i la interacció del tractament amb la data. Mitjançant iteracions successives es va cercar el model explicatiu més simplificat amb el valor més alt del coeficient de determinació R² amb significació estadística (p-valor ≤ 0,05), de manera que en cada pas de la iteració es simplificava el model passant a l'error la variable no significativa del model anterior més complex. L'anàlisi es va fer a partir dels valors mitjans de poblament d'herbes de les tres repeticions en cada data.

Amb l'objectiu de disminuir la variabilitat de les dades, el tractament de desherbatge mecànic intensiu es va dividir en tantes etapes com vegades es va utilitzar la rascla de pues:

1. La primera etapa va comprendre les lectures realitzades des de la primera passada de la rascla de pues fins abans de la segona treballada.
2. La segona etapa va comprendre les lectures fetes després de la segona treballada, fins l'última lectura realitzada en concepte de seguiment de les adventícies (camps de Monells i Riumors), o bé fins abans de dur a terme la tercera treballada (camp de Torroella de Montgrí).
3. La tercera etapa (camp de Torroella de Montgrí) va comprendre les lectures fetes des de la tercera passada de la rascla de pues fins l'última lectura realitzada.

Finalment, els models obtinguts van permetre determinar el grau de control de les plantes arvenses que es va aconseguir en cada tractament a l'última data en la que es disposa de lectures. Per fer-ho, es va utilitzar l'equació:

$$Eficàcia tractament (\%) = \frac{N^{\circ} \text{ herbes testimoni} - N^{\circ} \text{ herbes tractament}}{N^{\circ} \text{ herbes testimoni}} \cdot 100$$

2.8. Anàlisi econòmic

Es va realitzar un anàlisi dels costos de desherbatge de cada tractament amb la finalitat de poder comparar-los a nivell econòmic.

Cal destacar que no es van estudiar tots els costos que caldria tenir en compte en el moment de comprar maquinària nova o d'analitzar el que representa per una explotació agrícola disposar de cada eina (amortitzacions, interessos, assegurances, impostos, allotjament, combustible, lubricants, reparacions i manteniment), sinó que l'anàlisi econòmic es va basar en comprar els costos que podien diferir més segons el tractament realitzat. Així doncs, els paràmetres estudiats van ser:

- a) **Amortització:** estimació de la pèrdua de valor de la màquina agrícola al llarg de la seva vida útil. Es va determinar mitjançant el valor d'adquisició de l'eina (Va), el valor residual al final de la vida útil (Vr) i el nombre d'hores de vida útil (Arbat, 2017):

$$Amortització \left(\frac{\text{€}}{h} \right) = \frac{Va \text{ (€)} - Vr \text{ (€)}}{Vida \text{ útil (h)}}$$

- b) **Combustible:** producte imprescindible pel funcionament del tractor que acciona les eines utilitzades en el desherbatge. El seu cost es va determinar de la següent manera:

$$Combustible \left(\frac{\text{€}}{h} \right) = Cost \text{ combustible} \left(\frac{\text{€}}{L} \right) \cdot Consum \left(\frac{L}{h} \right)$$

- c) **Mà d'obra:** la mà d'obra va ser necessària per regular les màquines i posar-les en funcionament a camp. El cost horari de la mà d'obra va correspondre's amb el sou del tractorista (€/h).
- d) **Productes fitosanitaris:** herbicides que es van utilitzar pel control de les adventícies en el desherbatge químic. El seu cost va dependre del preu dels productes i de les dosis utilitzades:

$$Productes \text{ fitosanitaris} \left(\frac{\text{€}}{ha} \right) = Preu \text{ producte} \left(\frac{\text{€}}{L} \right) \cdot Dosi \left(\frac{L}{ha} \right)$$

Les fórmules anteriors van permetre determinar el cost horari de les màquines (excepte la dels productes fitosanitaris, la qual determinava el cost dels herbicides per unitat de superfície). Per tal de comparar els costos entre tractaments, es van multiplicar per l'ús anual que es va fer de les eines en cada unitat de superfície, de manera que es va obtenir el cost del desherbatge per unitat de superfície (expressat en €/ha).

Les dades utilitzades en el càlcul dels costos de desherbatge van ser les que es mostren a la Taula 18, a la Taula 19 i a la Taula 20.

Taula 18: Dades necessàries en els càlculs d'estimació dels costos de desherbatge.

Paràmetre	Barra de polvorització	Rascla de pues	Font de la dada
Valor d'adquisició	7000 €	3000 €	Barra de polvorització: estimació pròpia. Rascla de pues: Estadella (2019)
Valor residual	1750 €	750 €	Estimació pròpia (25% del valor d'adquisició)
Vida útil	1000 h	3000 h	MAPA (2008)
Consum de combustible	1,01 L/ha	2,12 L/ha	Barra de polvorització: Boto, Pastrana, & Cepeda (2005) Rascla de pues: font pròpia.
Preu del combustible	0,952 €/L ⁽¹⁾		Diésel o Gasolina (2019)
Sou del tractorista	18,00 €/h		Serra (2019)

(1) Preu del combustible en el període d'utilització de les eines de desherbatge (febrer de 2019).

Taula 19: Ús anual de la barra de polvorització i de la rascla de pues flexibles en cada tractament de les finques estudiades. Font pròpia.

Tractament	Ús anual (h/ha)				
	Barra de polvorització		Rascla de pues		
	Torroella de Montgrí	Monells	Torroella de Montgrí	Monells	Riumors
Químic	0,31	0,25	0	0	0
Mecànic intensiu	0	0	2,26	1,52	1,49
Mecànic simplificat	0	0	1,06	0,66	0,75

Taula 20: Preu dels productes herbicides utilitzats als assaigs (IVA del 10% inclòs).
Font: IRTA Mas Badia (2019b).

Producte	Matèria activa	Unitats de mesura	Preu unitari (€/l o €/g)	Dosi (L/ha o g/ha)
AUROS	Prosulfocarb 80% P/V	Litres	10,45	4,0
BEFLEX	Beflubutamida 50% P/V	Litres	36,19	0,5
BIATHLON 4D	Florasulam 5,4% + Tritosulfuron 71,4% P/P	Grams	0,29	70
SENCOR 600 SC	Metribuzina 60% P/V	Litres	50,89	0,05
DASH	Metil oleat / Metil palmitat 34,8% P/V	Litres	15,87	0,5

2.9. Anàlisi d'impacte ambiental

L'impacte ambiental es pot definir com el conjunt de canvis mediambientals (positius o negatius) que han estat provocats per la intervenció humana al medi (Rosenbaum et al., 2018).

Es va realitzar un anàlisi d'impacte ambiental del conjunt d'operacions dutes a terme a tots els tractaments dels cultius estudiats, emprant el mètode d'Anàlisi de Cicle de Vida d'acord a ISO 14040 (2006). Com que, exceptuant mètode de desherbatge, es van realitzar les mateixes tasques (preparació del sòl, fertilització, sembra i collita) en tots els tractaments d'una mateixa finca, es va poder assumir que les diferències obtingudes a nivell d'impacte ambiental entre els tractaments de cadascuna d'elles van ser ocasionades únicament pel mètode de desherbatge utilitzat.

L'anàlisi es va realitzar utilitzant la base de dades d'inventari de cicle de vida creada per Ecoinvent (s.d.), i el programa SimaPro. Tots els càlculs i resultats obtinguts es van realitzar en base a una unitat funcional, la qual va permetre comparar els tractaments entre ells. La unitat funcional utilitzada va ser l'hectàrea de cereal cultivada. Les etapes de l'anàlisi de cicle de vida estudiades van ser les compreses des de l'operació de sembra fins a la collita del cereal.

Les dades utilitzades per avaluar l'impacte de les operacions de preparació del sòl, fertilització, sembra¹ i collita van ser estimades mitjançant el full de càlcul de costos de MAPA (s.d.). Concretament, aquestes dades van ser els consums de combustible (Taula 21) i les hores de treball (Taula 38 de l'ANNEX A) de cada operació per unitat de superfície.

Taula 21: Consum de combustible estimat de les eines utilitzades. Font: MAPA (s.d.).

Maquinària	Consum de combustible (l/ha)
Arada	16,00
Grada de discos	16,00
Xisel	8,00
Roleu	1,00
Sembradora	2,20
Abonadora suspesa (fertilització mineral)	3,00
Cisterna de purins (fertilització orgànica)	11,90
Rascla de pues	2,12 ⁽¹⁾
Barra de polvorització	1,01 ⁽²⁾
Recol·lectora	7,10

(1) Font pròpia a partir de dades mesurades per Estadella & Gracia (2018).

(2) Font: IDAE (2005).

¹ Les llavors de sembra no es van tenir en compte en l'anàlisi d'impacte ambiental perquè es va considerar que les condicions d'obtenció d'aquestes van ser les mateixes pels tres cultius estudiats.

Les dades entrades al programa (SimaPro) van ser les que es mostren a la Taula 38 i a la Taula 39 de l'ANNEX A. Els paràmetres avaluats van ser:

- Fertilització nitrogenada, fosfòrica i potàssica (kg/ha), considerant que a la finca de Torroella de Montgrí la fertilització va ser mineral (875 kg/ha de fertilitzant 8-6-15 aplicat en fons i 185 kg/ha de nitrat amònic càlcic aplicat en cobertora), i a la de Monells va ser orgànica (82,3 m³/ha de purí de vaca poc concentrat (1,5 UF N/m³) aplicat en fons).
- Dosi aplicada dels productes fitosanitaris (kg/ha).
- Maquinària utilitzada (h/ha i kg/ha). La massa utilitzada (kg/ha) es va determinar segons el full de càlcul de Montemayor (2019), el qual la determina segons el pes total de la màquina, la seva vida útil i les hores d'ús en l'operació estudiada, entre d'altres paràmetres.
- Emissions dels fertilitzants a l'aire (kg/ha): emissions d'òxid de dinitrogen (N₂O), amoníac (NH₃), nitrats (NO₃) i fòsfor (P). Es van calcular aplicant factors PEF (*Primary Energy Factor*) a les unitats de fertilitzant aplicades.
- Emissions de la maquinària a l'aire (kg/ha): es van estudiar les emissions de partícules de mida inferior a 2,5 µm i a 10 µm (PM_{2,5} i PM₁₀ respectivament) degudes al treball del sòl; i les emissions d'hidrocarburs (HC), òxids de nitrogen (NO_x) i monòxid de carboni (CO) degudes a l'ús de combustible pel funcionament de la maquinària.
- Emissions dels productes herbicides a l'aire (kg/ha)²: es va calcular la quantitat de la matèria activa que s'emetia a l'aire.
- Emissions dels productes herbicides a l'aigua (kg/ha)²: aquest és un factor que no es va estudiar, però que caldria fer-ho en cas de trobar-se amb alguna de les situacions següents (Anton & Peña, 2019):
 - a. Presència d'un curs d'aigua superficial (riu, estany...) proper a la parcel·la (a menys de 100 m).
 - b. Mode d'aplicació dels fitosanitaris amb els broquets no encarats directament al sòl (ús d'atomitzadors o polvoritzadors pneumàtics, per exemple).
 - c. Aplicació de productes fitosanitaris no herbicides (insecticides, fungicides, etc.). Aquests productes, en comparació amb els herbicides, suposen un risc més elevat pels ecosistemes aquàtics.

² Mitjançant el model d'estimació d'emissions OLCA-Pest (s.d.) es va determinar la fracció (percentatge) de cada matèria activa que s'alliberava a l'aire, a l'aigua i al sòl. A partir d'aquesta dada es va poder calcular la quantitat (kg/ha) de matèria activa alliberada en cada cas.

- Emissions dels productes herbicides al sòl (kg/ha)²: es va calcular la quantitat de la matèria activa aplicada al sòl, la qual va dependre de la cobertura que el cultiu feia al sòl en el moment de l'aplicació del producte.

En entrar les dades al programa (SimaPro), aquestes es van classificar en diferents categories d'impacte³. Això va permetre associar cada dada a un factor de caracterització, el qual va ser obtingut de models específics i va permetre tenir en compte la mobilitat, la persistència, els patrons d'exposició i la toxicitat de les substàncies alliberades al medi (Rosenbaum et al., 2018). A més, el factor de caracterització va permetre la conversió de cada dada a les unitats en les que es van mostrar els resultats. Les categories d'impacte estudiades i les seves unitats de mesura van ser les que mostra la Taula 22.

Taula 22: Categories d'impacte estudiades en l'anàlisi d'impacte ambiental i unitats en les que es van obtenir els resultats en cada cas.

Categoria d'impacte	Unitats/ha
Toxicitat (no cancerígena) pels humans	Nombre de casos de malaltia
Toxicitat pels organismes d'aigua dolça	Fracció d'espècies potencialment afectades per cada unitat de volum i temps (PAF·m ³ ·dia)
Canvi climàtic	Kg de CO ₂ equivalent (kg CO ₂ -eq)
Formació de partícules en suspensió (PM) ⁴	Kg de PM de mida inferior a 2,5 µm equivalents (kg PM _{2,5} -eq)

Finalment, el programa (SimaPro) va permetre combinar les dades de partida (ANNEX A) amb els factors de caracterització, i classificar-les de tal manera que es va poder estudiar el potencial d'impacte ambiental individual de cada element (maquinària, productes fitosanitaris, fertilitzants, etc.), però també comparar l'impacte potencial total entre tractaments i entre finques per cada categoria d'impacte.

³ Les categories d'impacte són temes mediambientals que es consideren d'interès i, per tant, s'estudien en l'Anàlisi de Cicle de Vida (per exemple, el canvi climàtic, l'acidificació del sòl, l'escassetat hídrica, la toxicitat pels humans, etc.).

⁴ Les partícules en suspensió van ser considerades d'interès perquè poden provocar problemes respiratoris i cardiovasculars molt diversos i, segons la OMS (2018), "afecten a més persones que qualsevol altre contaminant". Les PM₁₀ afecten principalment a la tràquea, mentre que les PM_{2,5} tenen com a òrgan diana els alvèols pulmonars (de manera que es consideren de major risc).

3. RESULTATS

3.1. Control de les plantes adventícies

3.1.1. Identificació de les herbes

Als camps d'assaig es van identificar diferents espècies d'adventícies, però tan sols unes poques eren dominants en comparació amb la resta.

Tal com es pot veure a la Figura 26, en el tractament testimoni de la finca de **Torroella de Montgrí** el 78% de les arvenses van ser monocotiledònies. Aquesta proporció va augmentar gairebé en un 10% en els tractaments de desherbatge mecànic. En canvi, en el mètode de desherbatge químic va disminuir fins el 44%.

Cal destacar que la totalitat de monocotiledònies identificades en aquesta finca van ser margalls (*L. rigidum*), els quals es mostren a la Figura 27. Pel que fa a les dicotiledònies, principalment es van detectar plantes del gènere *Fumaria* sp. (Figura 28), però també roselles (*P. rhoeas*), algunes plantes de la família de les compostes, i exemplars de passacamins (*P. aviculare*).

Pel que fa a la finca de **Monells**, la Figura 26 mostra com en tots els tractaments les plantes dicotiledònies van representar més del 85% del total d'adventícies identificades. Cal destacar que en el tractament de desherbatge mecànic simplificat, aquesta proporció va ascendir fins el 96%.

En aquest camp experimental, la majoria d'adventícies dicotiledònies identificades van ser peus de gall (*Lamium amplexicaule*), blets (*Chenopodium* sp.) i cues de gallina (*Stellaria media*), tal com es mostra a la Figura 29. Tot i això, també es van identificar bosses de pastor (*Capsella bursa-pastoris*) i ravenisses blanques (*D. eruroides*). Les poques monocotiledònies observades van ser margalls (*L. rigidum*).

De la mateixa manera que al camp de Monells, a la finca de **Riumors** les adventícies dicotiledònies també van predominar respecte les monocotiledònies (Figura 26). En aquest cas, prop del 86% de les plantes identificades van ser dicotiledònies, la majoria de les quals van ser userdes (*M. sativa*) que presentaven estadis avançats de desenvolupament en el moment de realitzar el desherbatge mecànic (Figura 30). Tot i això, també es va observar alguna verònica (*V. persica*) i alguna cua de gallina (*S. media*).

Pel que fa a les monocotiledònies, la majoria d'elles van ser cugules (*A. fatua*) que, com la userda, en el moment de realitzar el desherbatge mecànic presentaven estadis avançats de desenvolupament. També es va identificar alguna planta de margall (*L. rigidum*).

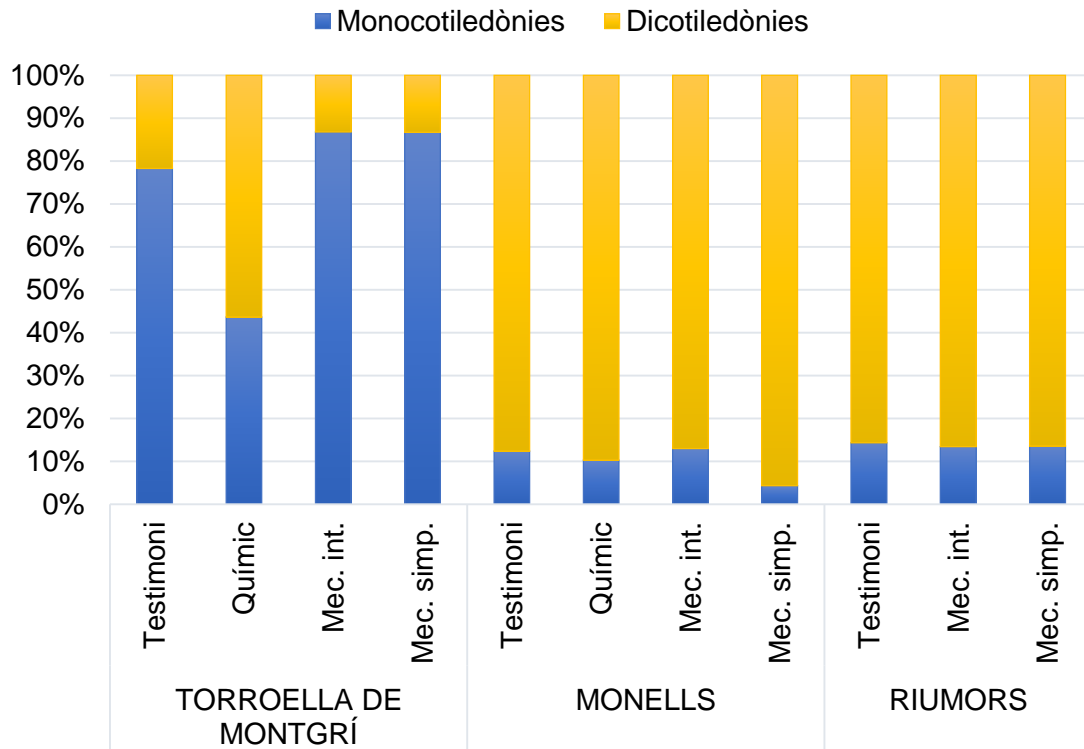


Figura 26: Fracció de plantes adventícies mono i dicotiledònies identificades en els tractaments estudiats en cada camp experimental.



Figura 27: Margall (*L. rigidum*) identificat a la finca de Torroella de Montgrí en els primers estadis de creixement (esquerra) i en estadi d'espigat (dreta).



Figura 28: Plantes de fumària (*Fumaria sp.*) (esquerra i centre) i de passacamins (*P. aviculare*) (dreta) identificades al camp experimental de Torroella de Montgrí.

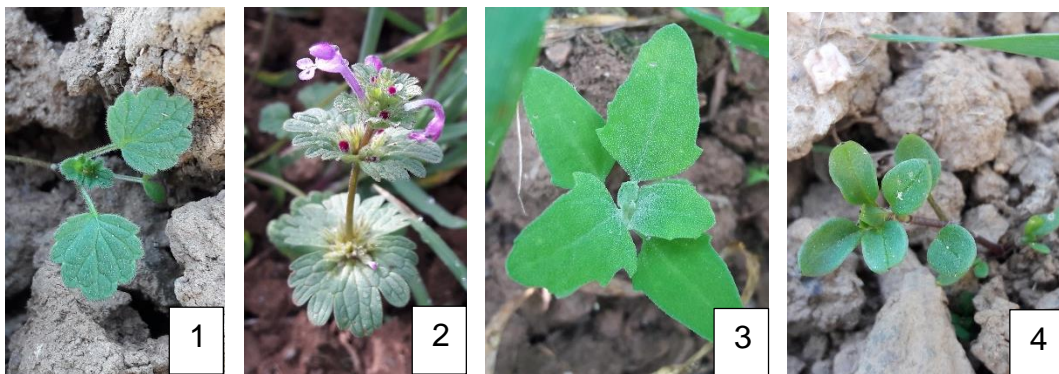


Figura 29: Adventícies dicotiledònies identificades a la finca de Monells. Exemplers de *L. amplexicaule* (imatges 1 i 2), *Chenopodium album* (imatge 3), i *S. media* (imatge 4).



Figura 30: Adventícies dominants al camp experimental de Riumors. Plantes de *M. sativa* (imatges 1 i 2) i de *A. fatua* (imatges 3 i 4).

3.1.2. Eficàcia en el control de les adventícies

Torroella de Montgrí

L'evolució de les adventícies segons el model obtingut es mostra a la Figura 31. El model, amb un nivell de significació (p-valor) inferior a 0,0001, va permetre explicar el 94% de la variabilitat, observant que les diferències obtingudes entre els tractaments estudiats van ser provocades pel tractament realitzat. En canvi, el temps va ser un factor que, en aquest cas, sembla que no va tenir una influència significativa en el desenvolupament de les adventícies.

Per altra banda, també es va observar que tots els tractaments de desherbatge estudiats van permetre el control de més d'un 50% de les herbes en comparació amb el testimoni, en el qual es van detectar, de mitjana, 131 plantes/m². El tractament químic va ser el que va tenir major eficàcia, seguit del desherbatge mecànic intensiu i, finalment, del simplificat (Figura 31, Taula 23).

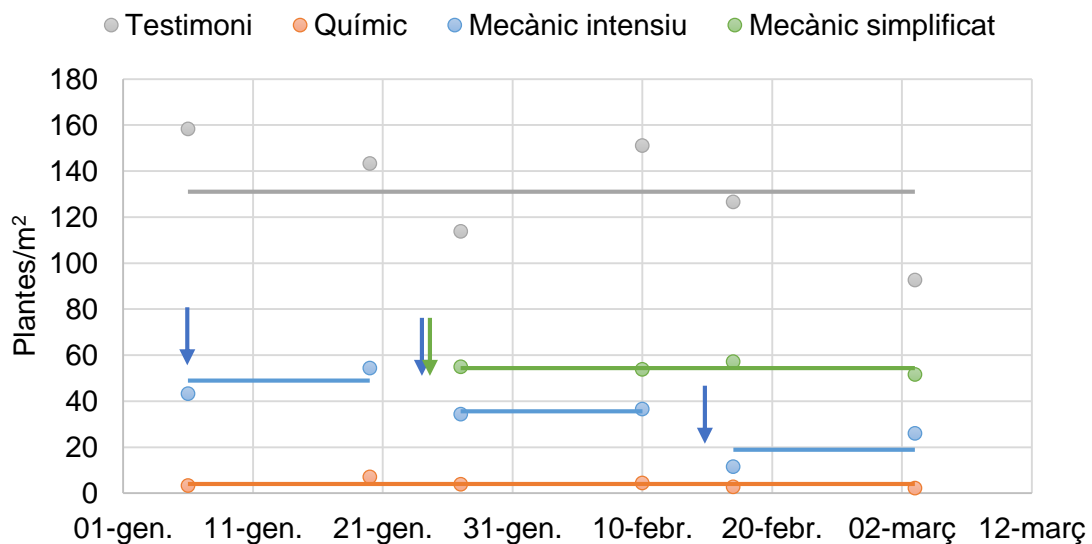


Figura 31: Nombre d'adventícies totals presents en cada tractament de la finca de Torroella de Montgrí. Les fletxes indiquen el moment en el que es va realitzar el desherbatge mecànic amb la rascla de pues. Les rectes expressen els resultats obtinguts segons el model utilitzat (p-valor < 0,0001; R² = 0,942), i els punts representen el valor mitjà de les lectures fetes al llarg del temps.

Monells

El model obtingut per representar l'evolució de les adventícies es mostra a la Figura 32. Aquest va tenir un nivell de significació de 0,0006, i va permetre representar el 88% de les dades. Es pot veure com el nombre d'arvenses presents a la finca va dependre del tractament realitzat, i la seva població va poder ser variable al llarg del temps. En els tractaments testimoni i de desherbatge mecànic sembla que la població va tendir a augmentar al llarg del temps. En canvi, en el tractament de desherbatge químic s'intueix com, des del moment de l'aplicació dels productes herbicides, la població d'adventícies va disminuir fins assolir valors molt propers a zero.

En aquest camp experimental, amb un nivell de població d'arvenses de 49 plantes/m² en el tractament testimoni en el moment de finalitzar les lectures, es pot veure com el desherbatge mecànic simplificat va ser molt poc eficaç en el control de les plantes adventícies (Taula 23). En canvi, els tractaments de desherbatge mecànic intensiu i químic van tenir una eficàcia superior al 75% (essent el tractament químic el més eficaç).

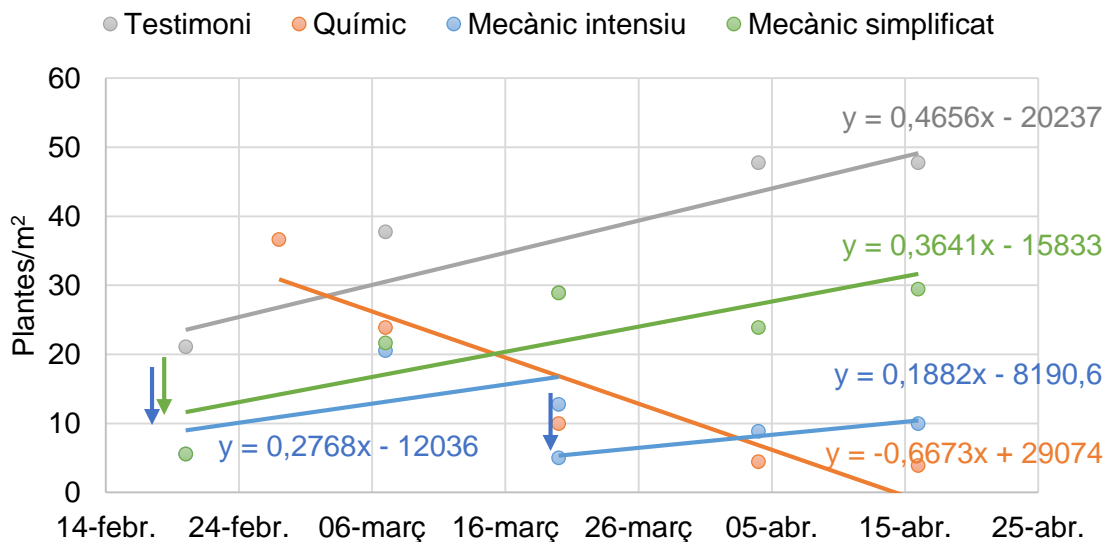


Figura 32: Nombre d'adventícies totals presents en cada tractament de la finca de Monells. Les fletxes indiquen el moment en el que es va realitzar el desherbatge mecànic amb la rascla de pues. Les rectes expressen els resultats obtinguts segons el model utilitzat (p-valor = 0,0006; R² = 0,883), i els punts representen el valor mitjà de les lectures fetes al llarg del temps.

Riumors

En aquesta finca, en realitzar l'anàlisi estadístic de les dades es va acomplir la hipòtesi nul·la, de manera que es va obtenir que el model, amb un nivell de significació de 0,0513 i R^2 de 0,989, no representava millor les dades que la mitjana de totes elles. La quantitat mitjana d'adventícies presents en cada unitat de superfície, independentment del tractament realitzat i del temps, va ser de 12 plantes/m² (Figura 33).

Observant les dades de cada tractament per cada data de lectura (es representen en forma de punts a la Figura 33) es pot veure com en el tractament de desherbatge mecànic intensiu la quantitat d'adventícies es va mantenir per sota del testimoni, de manera que es pot intuir que aquest mètode de desherbatge va poder tenir una lleugera eficàcia en el control de les arvenses. En canvi, el desherbatge mecànic simplificat sembla que va tenir un efecte positiu en el desenvolupament de les adventícies.

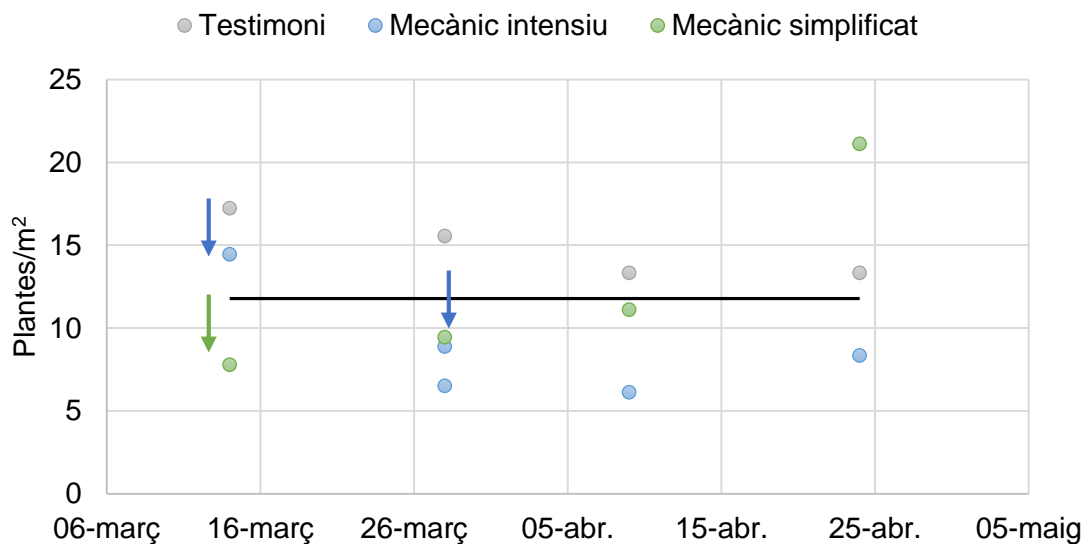


Figura 33: Nombre d'adventícies totals presents tots els tractaments de la finca de Riumors. Les fletxes indiquen el moment en el que es va realitzar el desherbatge mecànic amb la rascla de pues. La recta expressa el valor mitjà de tots els resultats obtinguts. Els punts representen el valor mitjà de les lectures fetes al llarg del temps en cada tractament.

Eficàcia dels tractaments

El nivell d'eficàcia que es va aconseguir en el control de les adventícies de cada tractament i en cada camp experimental estudiat es mostra a la Taula 23, on es pot observar que l'ús de productes herbicides va ser el més efectiu pel control de les herbes. Els mètodes de desherbatge mecànic van tenir eficàcies menors, essent el tractament intensiu el que va permetre un major control de les arvenses.

Taula 23: Nivell de control de les adventícies aconseguit en cada tractament i finca estudiada. S'expressa el percentatge de plantes arvenses totals eliminades al final dels tractaments en comparació amb el Testimoni, segons els models obtinguts.

Tipus de desherbatge	Eficàcia del tractament (grau de control de les herbes)		
	Torroella de Montgrí	Monells	Riumors
Químic	97%	100%	-
Mecànic intensiu	85%	79%	0%
Mecànic simplificat	58%	36%	0%

3.1.3. Fitotoxicitat dels herbicides

El dia 1 de gener de 2019, després de l'emergència del cultiu, es van observar símptomes de fitotoxicitat dels productes herbicides en l'ordi sembrat a Torroella de Montgrí. L'evolució dels nivells de fitotoxicitat que presentava el cultiu en les següents dates es mostren a la Taula 24.

Taula 24: Seguiment del nivell de dany causat pels productes herbicides en el cultiu del camp de Torroella de Montgrí.

Data	Estadi del cultiu ⁽¹⁾ (tractament químic)	Estadi del cultiu ⁽¹⁾ (testimoni)	Nivell de fitotoxicitat ⁽²⁾
03-gener ⁽³⁾	12	12	4
09-gener	13	13	4
17-gener	13	13	3
24-gener	13	13 – 21	2 – 3
30-gener	13 – 21	21	2
05-febrer ⁽⁴⁾	21	22	1
15-febrer	21	22 – 24	1
20-febrer	22	23	1
27-febrer	22 – 23	23 – 24	0
07-març	31	31	0

(1) Avaluat segons l'escala BBCH; (2) Avaluada segons l'escala EPPO (Taula 17);

(3) Veure la Figura 34; (4) Veure la Figura 35.



Figura 34: Fitotoxicitat (nivell 4 en l'escala EPPO) en l'ordi tractat amb herbicides a la finca de Torroella de Montgrí. Font: IRTA Mas Badia (2019a).



Figura 35: Fitotoxicitat (nivell 1 en l'escala EPPO) en l'ordi tractat amb herbicides a la finca de Torroella de Montgrí. Font pròpia.

Al camp experimental de Monells no es va observar que els productes fitosanitaris haguessin resultat tòxics pel cultiu (Figura 36).



Figura 36: Cultiu sembrat a la finca de Monells. En primer pla es mostra el tractament químic. Fotografia presa una setmana després de l'aplicació dels productes herbicides. Font pròpia.

3.2. Costos del desherbatge

A la Figura 37 es pot visualitzar el cost total mitjà dels mètodes de desherbatge que es van dur a terme en els assaigs. La proporció que cada paràmetre estudiat (amortització, combustible, mà d'obra i productes fitosanitaris) va representar sobre el cost final es mostra a la Figura 38.

Es pot veure com el mètode de desherbatge que va resultar més costós va ser l'ús d'herbicides, tot i que aquest també va presentar una gran variabilitat (Figura 37). Per altra banda, els mètodes de desherbatge mecànics van resultar ser els més econòmics, essent el desherbatge simplificat prop d'un 50% més barat que l'intensiu.

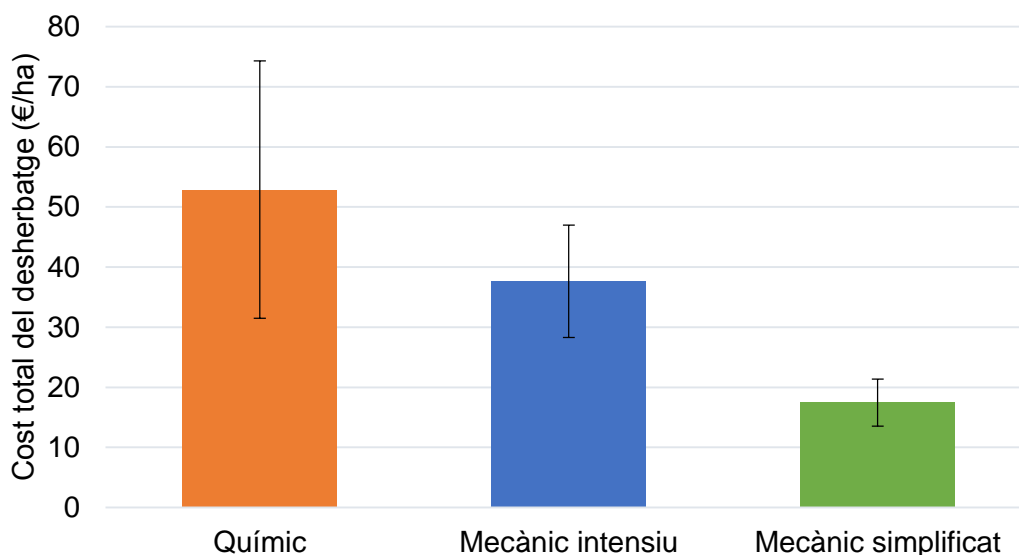


Figura 37: Cost mitjà del desherbatge en els tractaments estudiats (químic, mecànic intensiu i mecànic simplificat). La mitjana es va calcular a partir dels resultats obtinguts en cada camp experimental. Les barres d'error indiquen la desviació estàndard dels valors.

A la Figura 38, referent a la composició dels costos, es pot veure com en el desherbatge mecànic el cost principal va ser el de la mà d'obra, essent d'uns 32 €/ha en el cas del desherbatge mecànic intensiu, i d'uns 15 €/ha en el simplificat. Pel que fa al desherbatge químic, els costos van ser deguts principalment a l'ús dels productes fitosanitaris, que van representar prop de 45 €/ha. En canvi, en aquest cas la mà d'obra va tenir un cost considerablement inferior al desherbatge mecànic; concretament va representar 5 €/ha.

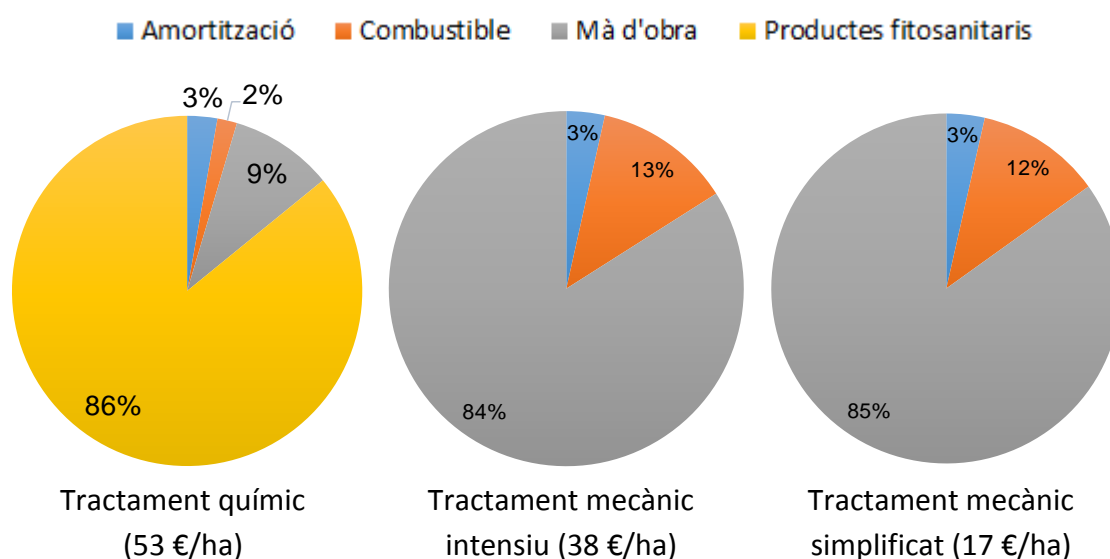


Figura 38: Distribució dels costos obtinguts en funció del tractament. S'indica també el cost total mitjà (€/ha) de realitzar cada tractament.

3.3. Anàlisi d'impacte ambiental

3.3.1. Toxicitat potencial (no cancerígena) pels humans

Els resultats que es van obtenir en els tractaments realitzats a cada camp pel que fa a la toxicitat pels humans no cancerígena es mostren a la Figura 39, on s'observen grans diferències entre els casos de toxicitat potencial generats al cultiu de la finca de Torroella de Montgrí i la resta de camps experimentals. Per tal de determinar els elements causants d'aquests resultats, es van analitzar les dades del tractament testimoni dels 3 camps experimentals amb major detall (Taula 25, Taula 26, i Taula 27)

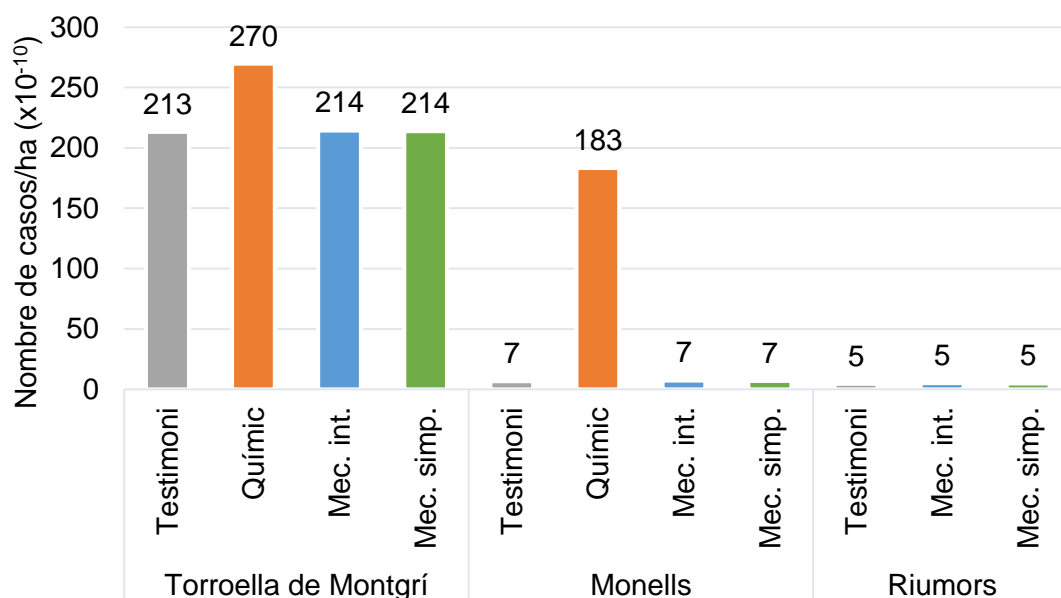


Figura 39: Nombre potencial de casos de toxicitat pels humans (no cancerígena) que va poder provocar arreu del món una hectàrea de cultiu de cada tractament. Les dades es van obtenir amb el programari SimaPro.

La Taula 25 mostra com el 91% dels casos de toxicitat que es van obtenir en el tractament testimoni (on no es va fer un control de les herbes) del camp experimental de Torroella de Montgrí van ser deguts a l'acroleïna⁵. Tal com es mostra a la taula, aquest compost va ser alliberat principalment en la producció i transport dels fertilitzants minerals utilitzats.

⁵ Segons ToxGuide (2007), l'acroleïna és un líquid molt utilitzat com un intermediari en la fabricació de substàncies químiques. També s'utilitza com a plaguicida. És un compost que es pot formar en cremar matèria orgànica (fustes, tabac...), plàstics, gasolina, petroli, etc.

Taula 25: Distribució dels elements causants de la toxicitat (no cancerígena) pels humans en el tractament **testimoni** de la finca de **Torroella de Montgrí**. Es ressalten els valors que van poder tenir major contribució en la toxicitat total. Les dades es van obtenir amb el programari SimaPro.

Substància ⁽¹⁾	Quantitat (%)				
	Total	Fertilitzants minerals			Maquinària agrícola
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Acroleïna	90,84	28,31	22,91	37,51	2,10
Àcid acrílic	0,79	0,47	0,07	0,24	0,00
Benzè	1,48	0,92	0,12	0,34	0,11
Carbofuran ⁽²⁾	0,42	0,03	0,38	0,00	0,00
Formaldehid	1,58	1,13	0,13	0,31	0,01
Hexà	2,05	1,09	0,61	0,32	0,03
Fenols	0,58	0,21	0,05	0,11	0,21
Toluè	0,77	0,47	0,08	0,21	0,01
Xilè	0,60	0,27	0,09	0,21	0,02
Altres substàncies	0,90	0,46	0,18	0,20	0,06
Total	100	33,37	24,61	39,46	2,56

(1) Si no s'indica el contrari, la substància es va alliberar a l'aire; (2) Alliberada al sòl.

A la Taula 26 es mostren els principals elements causants de toxicitats en humans obtinguts en el tractament testimoni de Monells, i a la Taula 27, els obtinguts en el mateix tractament de la finca de Riumors. De la mateixa manera que a la finca de Torroella de Montgrí, a la de Monells el principal compost que va generar toxicitats va ser l'acroleïna. En aquest cas, l'acroleïna no va ser alliberada en la fertilització, la qual va ser d'origen animal (purí de vaca), sinó en l'ús de la maquinària agrícola. En canvi, al camp de Riumors el compost que va contribuir més al potencial de generar toxicitats va ser l'arsènic alliberat en el tractor i en les tasques de recol·lecció, seguit del mercuri, zinc i plom. Tot i això, cal destacar que, tal com es mostra a la Figura 39, el tractament testimoni de les finques de Monells i de Riumors van generar un nombre de casos de toxicitat gairebé nul en comparació amb el mateix tractament del camp de Torroella de Montgrí.

Taula 26: Distribució dels elements causants de la toxicitat (no cancerígena) pels humans en el tractament **testimoni** de la finca de **Monells**. Es ressalten els valors que van poder tenir major contribució en la toxicitat total. Les dades es van obtenir amb el programari SimaPro.

Substància ⁽¹⁾	Quantitat (%)						
	Total	Maquinària agrícola					
		Tractor 65-94 kW	Arada/ grada discos	Xisel	Sembra-dora	Cisterna purins	Recol-lectora
2,4-D ⁽²⁾	0,18	0,02	0,01	0,00	0,01	0,07	0,07
Acroleïna	81,81	10,08	7,80	3,99	3,22	27,27	29,45
Benzè	4,37	0,46	0,43	0,22	0,18	1,48	1,60
Formaldehid	0,53	0,08	0,05	0,03	0,02	0,17	0,19
Furà	0,25	0,02	0,01	0,01	0,01	0,09	0,10
Hexà	0,98	0,18	0,07	0,04	0,04	0,31	0,34
Monocrotofós ⁽²⁾	1,07	0,11	0,05	0,03	0,05	0,40	0,43
Fenols	8,69	0,70	0,86	0,44	0,36	3,04	3,29
Toluè	0,44	0,07	0,04	0,02	0,02	0,14	0,15
Xilè	0,76	0,12	0,07	0,04	0,03	0,24	0,26
Altres substàncies	0,93	0,18	0,06	0,03	0,04	0,30	0,33
Total	100	12,01	9,46	4,84	3,96	33,52	36,20

(1) Si no s'indica el contrari, la substància es va alliberar a l'aire; (2) Alliberada al sòl.

Taula 27: Distribució dels elements causants de la toxicitat (no cancerígena) pels humans en el tractament **testimoni** de la finca de **Riumors**. Es ressalten els valors que van poder tenir major contribució en la toxicitat total. Les dades es van obtenir amb el programari SimaPro.

Substància ⁽¹⁾	Quantitat (%)					
	Total	Maquinària agrícola				
		Tractor 65-94 kW	Arada/ grada discos	Roleu	Sembra-dora	Recol-lectora
Arsènic ⁽²⁾	39,88	7,67	4,95	3,98	2,19	20,00
Mercuri	19,57	1,88	3,32	2,67	1,32	12,03
Plom	13,57	2,31	1,93	1,55	0,76	6,99
Zinc ⁽²⁾	17,54	3,11	2,40	1,93	0,98	8,93
Cadmi ⁽²⁾	6,64	1,53	0,71	0,57	0,33	3,03
Altres substàncies	2,80	0,36	0,44	0,35	0,18	1,62
Total	100	16,86	13,75	11,05	5,75	52,59

(1) Si no s'indica el contrari, la substància es va alliberar a l'aire; (2) Alliberada a l'aire i a l'aigua.

Per altra banda, es va fer un anàlisi detallat dels compostos amb potencial de generar toxicitat en realitzar un desherbatge químic, ja que es va observar (Figura 39) que aquest tractament va poder generar més casos de toxicitat que la resta de tractaments realitzats a un mateix camp experimental (concretament, a la finca de Torroella de Montgrí el desherbatge químic va generar $5,6 \cdot 10^{-11}$ casos de toxicitat més que el testimoni de la mateixa finca; i al camp de Monells hi va haver $1,8 \cdot 10^{-8}$ casos més en comparació amb el testimoni corresponent). Els resultats obtinguts es mostren a la Taula 28 i a la Taula 29.

A la Taula 28 (la qual fa referència a la finca de Torroella de Montgrí) es pot observar com l'acroleïna va provocar el 75% dels casos de toxicitat mostrats a la Figura 39 (tractament químic), i aquesta va ser generada principalment en la fabricació dels fertilitzants minerals. També cal destacar que la mateixa taula mostra com la beflubutamida (assimilable a la pendimetalina), el cloroform i el toluè són els compostos que van causar, conjuntament, gairebé l'11% dels casos de toxicitat en el tractament de desherbatge químic de la finca estudiada. En aquest sentit, es pot observar que:

- a) La beflubutamida va ser una de les matèries actives utilitzades en el desherbatge químic, i les emissions d'aquesta durant la seva aplicació a camp van produir més del 5% del total de casos de toxicitat.
- b) El cloroform es va alliberar degut a la producció d'acetamida-anillida, compost utilitzat en l'obtenció de la matèria activa beflubutamida.
- c) La major part del toluè alliberat va tenir origen en la producció de prosulfocarb (matèria activa utilitzada en el desherbatge químic).

Taula 28: Distribució dels elements causants de la toxicitat (no cancerígena) pels humans en el tractament de desherbatge **químic** de la finca de **Torroella de Montgrí**. Es ressalten els valors que van poder tenir major contribució en la toxicitat total. Les dades es van obtenir amb el programari SimaPro.

Substància ⁽¹⁾	Quantitat (%)							
	Total	Emissions aplicac. PPP ⁽²⁾	Fertilitzants minerals			Producció prosulfo-carb	Producció acetamida-anillida	Maquinària agrícola
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O			
Acroleïna	75,03	0,00	22,40	18,13	29,68	2,51	0,59	1,72
Àcid acrílic	0,64	0,00	0,38	0,05	0,19	0,02	0,00	0,00
Benzè ⁽³⁾	3,03	0,00	0,77	0,10	0,29	0,03	1,75	0,09
Carbofuran ⁽⁴⁾	0,33	0,00	0,03	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00
Cloramina ⁽³⁾	1,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,19	0,00
Cloroform	2,98	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	2,97	0,00
Formaldehid	1,30	0,00	0,89	0,10	0,24	0,03	0,02	0,01
Hexà	1,69	0,00	0,86	0,49	0,25	0,06	0,01	0,02
Metà	3,46	0,00	0,02	0,01	0,02	0,25	3,17	0,00
Pendimetalina ⁽⁵⁾	5,65	5,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fenols	0,50	0,00	0,16	0,04	0,09	0,01	0,02	0,17
Toluè ⁽³⁾	2,68	0,00	0,38	0,06	0,17	1,72	0,33	0,01
Xilè	0,50	0,00	0,22	0,07	0,17	0,02	0,01	0,02
Altres substàncies	1,01	0,00	0,29	0,12	0,11	0,02	0,43	0,04
Total	100	5,65	26,40	19,47	31,22	4,68	10,49	2,09

(1) Si no s'indica el contrari, la substància es va alliberar a l'aire; (2) *Plant Protection Products*; (3) Alliberada a l'aire i a l'aigua; (4) Alliberada al sòl; (5) Assimilable a la Bflubutamida (la qual no estava disponible a la base de dades de Ecoinvent (s.d.)).

Pel que fa a la finca de Monells, a la Taula 29 es pot veure com el 73% dels casos de toxicitat en humans generats en el tractament de desherbatge químic van ser deguts a les emissions de metribuzina al sòl i a l'aire durant la seva aplicació al cultiu. També es pot observar com el 16% del total de casos van ser provocats pel benzè, compost generat en la producció de difenileter per obtenir el metil oleat / metil palmitat.

Taula 29: Distribució dels elements causants de la toxicitat (no cancerígena) pels humans en el tractament de desherbatge **químic** de la finca de **Monells**. Es ressalten els valors que van poder tenir major contribució en la toxicitat total. Les dades es van obtenir amb el programari SimaPro.

Substància ⁽¹⁾	Quantitat (%)					
	Total	Emissions aplicació a camp	Producció sulfonil-urea	Producció triazina	Producció difenileter	Maquinària agrícola
Acroleïna	4,22	0,00	0,12	0,15	0,85	3,12
Benzè ⁽²⁾	16,05	0,00	0,81	0,00	15,05	0,17
Florasulam ⁽³⁾	4,86	4,86	0,00	0,00	0,00	0,00
Metribuzina ⁽³⁾	72,60	72,60	0,00	0,00	0,00	0,00
Fenols ⁽²⁾	0,66	0,00	0,00	0,00	0,31	0,33
Toluè ⁽²⁾	0,80	0,00	0,00	0,00	0,80	0,00
Altres substàncies	0,82	0,00	0,16	0,03	0,45	0,19
Total	100	77,46	1,09	0,18	17,46	3,81

(1) Si no s'indica el contrari, la substància es va alliberar a l'aire; (2) Alliberada a l'aire i a l'aigua; (3) Alliberada a l'aire i al sòl.

3.3.2. Toxicitat potencial pels organismes d'aigua dolça

Els resultats que es van obtenir en els tractaments realitzats en cada camp experimental pel que fa a la toxicitat provocada als organismes d'aigua dolça es mostren a la Figura 40. S'hi pot veure que, en totes les finques estudiades, els mètodes de desherbatge mecànics i el tractament testimoni van provocar una toxicitat molt baixa sobre els organismes d'aigua dolça. En canvi, el desherbatge químic va poder tenir uns efectes potencials en la toxicitat visiblement superiors a la resta de tractaments.

A la Taula 30 i a la Taula 31 es mostren els elements que van poder provocar toxicitat pels organismes d'aigua dolça en les finques de Torroella de Montgrí i Monells respectivament.

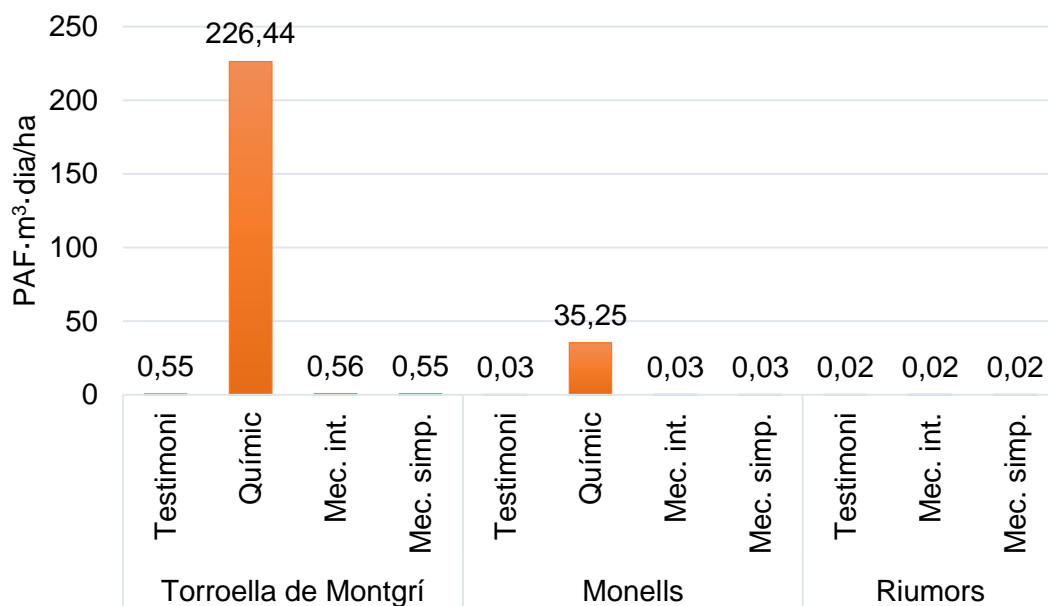


Figura 40: Toxicitat potencial que 1 ha de cada tractament va poder provocar sobre els organismes d'aigua dolça. Les unitats de mesura expressen la fracció d'espècies potencialment afectades (*Potentially Affected Fraction of species (PAF)*) en un volum de medi aquàtic al llarg del temps. Les dades es van obtenir amb el programari SimaPro.

Taula 30: Distribució dels elements causants de la toxicitat pels organismes d'aigua dolça en el tractament de desherbatge **químic** de la finca de **Torroella de Montgrí**. Es ressalten els valors que van poder tenir major contribució en la toxicitat total. Les dades es van obtenir amb el programari SimaPro.

Substància ⁽¹⁾	Quantitat (%)							
	Total	Emissions aplicació de PPP ⁽²⁾	Fertilitzants minerals			Producció prosulfo-carb	Producció acetamida	Maquinarària agrícola
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O			
Benzè ⁽⁴⁾	0,75	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,74	0,00
Cloramina ⁽³⁾	13,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,93	0,00
Àcid cloroacètic ⁽⁴⁾	36,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,61	0,00
Dipropilamina ⁽⁴⁾	2,63	0,00	0,00	0,00	0,00	2,63	0,00	0,00
Pendimetalina ⁽⁵⁾	12,64	12,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Prosulfo-carb ⁽⁶⁾	32,69	32,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Toluè ⁽³⁾	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,01	0,00
Altres substàncies	0,53	0,00	0,11	0,06	0,04	0,03	0,28	0,01
Total	100	45,34	0,12	0,07	0,05	2,86	51,56	0,01

(1) Si no s'indica el contrari, la substància es va alliberar a l'aire; (2) *Plant Protection Products*; (3) Alliberada a l'aire i a l'aigua; (4) Alliberada a l'aigua; (5) Assimilable a la Beflubutamida (la qual no estava disponible a la base de dades de (Ecoinvent, s.d.)); (6) Alliberada a l'aire i al sòl.

Taula 31: Distribució dels elements causants de la toxicitat pels organismes d'aigua dolça en el tractament de desherbatge **químic** de la finca de **Monells**. Es ressalten els valors que van poder tenir major contribució en la toxicitat total. Les dades es van obtenir amb el programari SimaPro.

Substància ⁽¹⁾	Quantitat (%)					
	Total	Emissions aplicació de PPP ⁽²⁾	Producció sulfonilurea	Producció triazina	Producció difenileter	Maquinària agrícola
Benzè ⁽³⁾	34,60	0,00	1,80	0,00	32,80	0,00
Àcid cloroacètic ⁽³⁾	0,25	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00
Cumè ⁽³⁾	0,76	0,00	0,00	0,00	0,74	0,01
Florasulam ⁽⁴⁾	10,66	10,66	0,00	0,00	0,00	0,00
Metribuzina ⁽⁴⁾	42,56	42,56	0,00	0,00	0,00	0,00
Fenols ⁽³⁾	0,95	0,00	0,00	0,00	0,93	0,01
Toluè ⁽³⁾	0,20	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00
Tritosulfuron ⁽⁴⁾	9,65	9,65	0,00	0,00	0,00	0,00
Altres substàncies	0,38	0,00	0,12	0,08	0,13	0,06
Total	100	62,87	2,17	0,08	34,80	0,09

(1) Si no s'indica el contrari, la substància es va alliberar a l'aire; (2) *Plant Protection Products*; (3) Alliberada a l'aigua; (4) Alliberada a l'aire i al sòl.

Si s'analitzen detalladament les substàncies que en el desherbatge químic realitzat a Torroella de Montgrí van poder provocar toxicitats en els organismes d'aigua dolça (Taula 30), es pot veure que les més rellevants van ser:

- a) Àcid cloroacètic alliberat a l'aigua: va provocar gairebé un 37% de la toxicitat potencial total sobre els organismes d'aigua dolça. Es pot observar com aquest va ser alliberat degut a la producció d'acetamida, un compost utilitzat per l'obtenció de pendimetalina (matèria activa que es va considerar assimilable a la beflubutamida).
- b) Prosulfocarb alliberat degut a l'ús dels herbicides: va provocar prop d'un 23% de la toxicitat potencial total.
- c) Cloramina alliberada a l'aigua: de la mateixa manera que l'àcid cloroacètic, la cloramina es va alliberar degut a la producció d'acetamida, compost utilitzat per l'obtenció de la pendimetalina (considerada assimilable a la beflubutamida). La cloramina va provocar gairebé un 14% de la toxicitat potencial total estimada al desherbatge químic de la finca de Torroella de Montgrí.
- d) Beflubutamida alliberada a l'aire durant la seva aplicació a camp: va provocar un 13% de la toxicitat total sobre els organismes d'aigua dolça.

Pel que fa al desherbatge químic realitzat a la finca de Monells, a la Taula 31 es pot veure que:

- a) El 41% de la toxicitat total va ser provocada per la metribuzina alliberada al sòl durant l'aplicació dels productes herbicides al camp.
- b) Prop del 35% de la toxicitat potencial total va ser provocada pel benzè (alliberat a l'aigua), compost generat en la producció de difenileter, el qual va ser necessari per la producció de metil oleat / metil palmitat (utilitzat com a coadjuvant).
- c) El 10% de la toxicitat sobre els organismes d'aigua dolça generada al tractament químic de la finca de Monells va ser provocada pel florasulam alliberat el sòl.
- d) El 9% de la toxicitat potencial total va ser provocada pel tritosulfuron alliberat al sòl.

3.3.3. Canvi climàtic potencial

A la Figura 41 es mostren els resultats que es van obtenir en cada cultiu i tractament pel que fa als efectes sobre el canvi climàtic del conjunt d'operacions realitzades. Es pot veure com, tot i que el tractament químic va tenir un impacte sobre el canvi climàtic lleugerament superior a la resta de tractaments de la mateixa finca, no hi va haver diferències importants entre tractaments. En canvi, sí que s'aprecien diferències entre les finques estudiades.

A la Taula 32 es poden observar els elements causants del canvi climàtic alliberats al tractament testimoni del camp de Torroella de Montgrí, a la Taula 33 els generats en les operacions que es van dur a terme al tractament testimoni a Monells, i a la Taula 34 els generats al tractament testimoni a Riumors.

Pel que fa a la finca de Torroella de Montgrí, a la Taula 32 s'observa que el monòxid de dinitrogen (N_2O) és la substància que va provocar major impacte en el canvi climàtic. Aquesta va ser alliberada majoritàriament pel nitrogen mineral després de ser aplicat al cultiu, tot i que també (en menor mesura) durant la seva fabricació. Per altra banda, el diòxid de carboni d'origen fòssil és una altra substància que va poder contribuir de manera important en el canvi climàtic. Tal com es pot observar, aquesta substància va ser alliberada durant la fabricació i transport dels fertilitzants minerals aplicats, especialment del nitrogen.

Pel que fa a les emissions generades al camp experimental de Monells (Taula 33), es pot observar com el N_2O alliberat a camp degut a l'aplicació del fertilitzant orgànic va generar el 98% de les emissions amb efecte sobre el canvi climàtic.

A Riumors, on les emissions de CO₂ equivalent al tractament testimoni van ser de 12 kg/ha (Figura 41), a la Taula 34 es pot veure com el 87% d'aquestes van ser provocades per l'alliberació de CO₂ d'origen fòssil degut a la utilització de la maquinària, principalment de la recol·lectora.

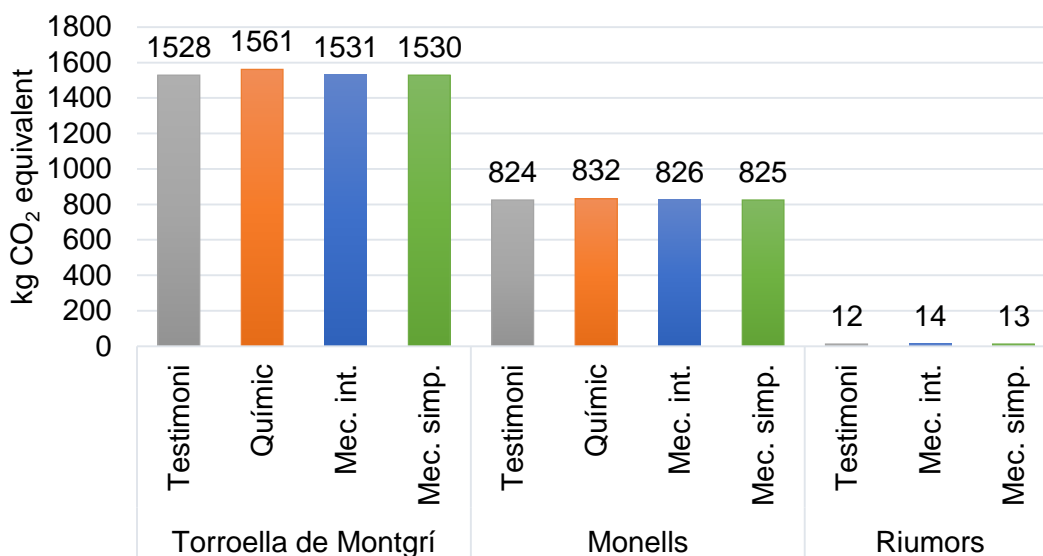


Figura 41: Efectes potencials que 1 ha de cada tractament va poder provocar sobre el canvi climàtic. Les dades es van obtenir amb el programari SimaPro.

Taula 32: Distribució dels elements causants d'efectes sobre el canvi climàtic en el tractament **testimoni** de la finca de **Torroella de Montgrí**. Es ressalten els valors que van poder tenir major efecte sobre el canvi climàtic. Les dades es van obtenir amb el programari SimaPro.

Substància ⁽¹⁾	Quantitat (%)					
	Total	Emissions aplicació de PPP ⁽²⁾	Fertilitzants minerals			Maquinària agrícola
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Diòxid de carboni, biogènic	0,56	0,00	0,29	0,09	0,17	0,02
Diòxid de carboni, fòssil	28,10	0,00	18,54	3,07	5,70	0,80
Monòxid de dinitrogen	69,47	51,07	18,30	0,03	0,07	0,01
Metà, fòssil	1,76	0,00	1,04	0,20	0,42	0,08
Altres substàncies	0,11	0,00	0,05	0,03	0,02	0,00
Total	100	51,07	38,22	3,42	6,38	0,90

(1) Si no s'indica el contrari, la substància es va alliberar a l'aire; (2) Plant Protection Products.

Taula 33: Distribució dels elements causants d'efectes sobre el canvi climàtic en el tractament **testimoni** de la finca de **Monells**. Es ressalten els valors que van poder tenir major efecte sobre el canvi climàtic. Les dades es van obtenir amb el programari SimaPro.

Substància ⁽¹⁾	Quantitat (%)		
	Total	Emissions aplicació de PPP ⁽²⁾	Maquinària agrícola
Diòxid de carboni, fòssil	1,82	0,00	1,82
Monòxid de dinitrogen	97,97	97,95	0,01
Metà, fòssil	0,19	0,00	0,19
Altres substàncies	0,02	0,00	0,02
Total	100	97,95	2,05

(1) Si no s'indica el contrari, la substància es va alliberar a l'aire; (2) *Plant Protection Products*.

Taula 34: Distribució dels elements causants d'efectes sobre el canvi climàtic en el tractament **testimoni** de la finca de **Riumors**. Es ressalten els valors que van poder tenir major efecte sobre el canvi climàtic. Les dades es van obtenir amb el programari SimaPro.

Substància ⁽¹⁾	Quantitat (%)					
	Total	Maquinària agrícola				
		Tractor 65-94 kW	Arada/ grada discos	Roleu	Sembradora	Recol·lectora
Diòxid de carboni, biogènic	2,29	0,51	0,33	0,27	0,12	1,07
Diòxid de carboni, fòssil	87,29	16,87	12,11	9,73	4,79	43,80
Diòxid de carboni, cultiu	0,21	0,04	0,02	0,02	0,01	0,12
Monòxid de dinitrogen	0,63	0,14	0,08	0,07	0,03	0,31
Metà, fòssil	9,29	1,77	1,30	1,04	0,51	4,68
Altres substàncies	0,29	0,08	0,03	0,03	0,01	0,13
Total	100	19,33	13,88	11,16	5,49	50,15

(1) Si no s'indica el contrari, la substància es va alliberar a l'aire.

3.3.4. Formació potencial de partícules en suspensió

Els resultats que es van obtenir pel que fa a l'emissió de partícules en suspensió en els tractaments estudiats es mostren a la Figura 42, on no s'observen diferències entre els tractaments d'un mateix camp experimental, però sí entre camps. Així doncs, es va analitzar detalladament quins van ser els possibles factors causants de l'alliberació d'aquestes partícules en els testimonis de cada camp. Els resultats que es van obtenir en cada cas es mostren a la Taula 35, a la Taula 36, i a la Taula 37.

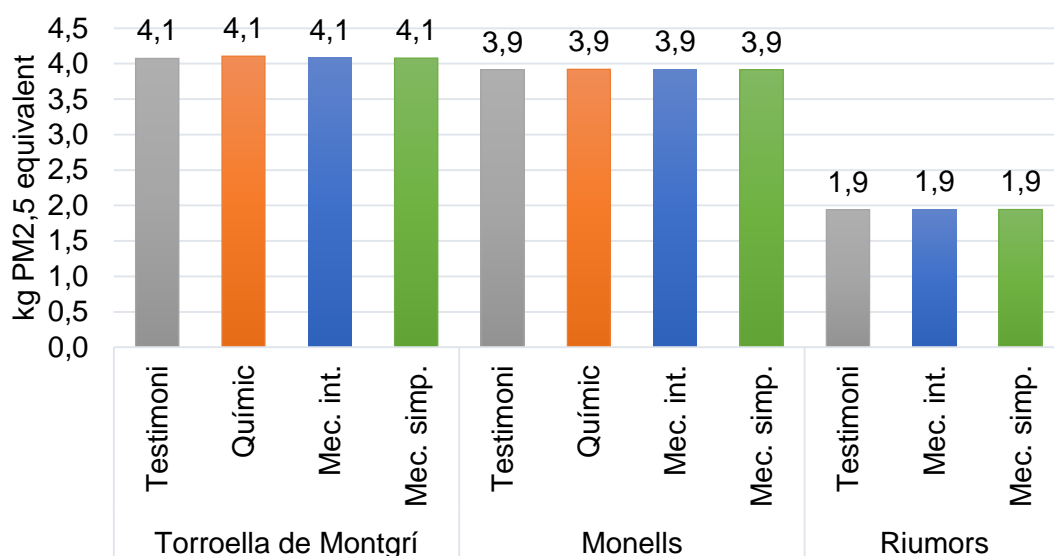


Figura 42: Quantitat potencial de partícules en suspensió (PM) que va poder alliberar a l'aire 1 ha de cada tractament. Les dades es van obtenir amb el programari SimaPro.

Taula 35: Distribució dels elements causants de l'alliberació de partícules en suspensió en el tractament **testimoni** de la finca de **Torroella de Montgrí**. Es ressalten els valors que van poder tenir major efecte en l'alliberació de partícules fines. Les dades es van obtenir amb el programari SimaPro.

Substància ⁽¹⁾	Quantitat (%)					
	Total	Emissions aplicació de PPP ⁽²⁾	Fertilitzants minerals			Maquinària agrícola
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Amoni	24,39	23,57	0,80	0,02	0,01	0,00
Òxids de nitrogen	0,47	0,23	0,17	0,03	0,03	0,00
Partícules <10 µm	51,47	51,47	0,00	0,00	0,00	0,00
Partícules <2,5 µm	21,55	11,24	7,96	1,32	0,78	0,25
Diòxid de sofre	2,11	0,00	0,91	0,73	0,40	0,07
Altres substàncies	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100	86,51	9,84	2,10	1,22	0,33

(1) Si no s'indica el contrari, la substància es va alliberar a l'aire; (2) *Plant Protection Products*.

Taula 36: Distribució dels elements causants de l'alliberació de partícules en suspensió en el tractament **testimoni** de la finca de **Monells**. Es ressalten els valors que van poder tenir major efecte en l'alliberació de partícules fines. Les dades es van obtenir amb el programari SimaPro.

Substància ⁽¹⁾	Quantitat (%)		
	Total	Emissions aplicació a camp	Maquinària agrícola
Amoni	50,27	50,27	0,00
Òxids de nitrogen	0,20	0,20	0,01
Partícules <10 µm	40,48	40,48	0,00
Partícules <2,5 µm	8,95	8,63	0,32
Altres substàncies	0,09	0,00	0,09
Total	100,00	99,58	0,42

(1) Si no s'indica el contrari, la substància es va alliberar a l'aire.

Taula 37: Distribució dels elements causants de l'alliberació de partícules en suspensió en el tractament **testimoni** de la finca de **Riumors**. Es ressalten els valors que van poder tenir major efecte en l'alliberació de partícules fines. Les dades es van obtenir amb el programari SimaPro.

Substància ⁽¹⁾	Quantitat (%)		
	Total	Emissions aplicació de PPP ⁽²⁾	Maquinària agrícola
Òxids de nitrogen	0,31	0,30	0,01
Partícules <10 µm	81,68	81,68	0,00
Partícules <2,5 µm	17,87	17,42	0,45
Altres substàncies	0,14	0,00	0,13
Total	100	99,41	0,59

(1) Si no s'indica el contrari, la substància es va alliberar a l'aire; (2) *Plant Protection Products*.

A la Taula 35 (referent a la finca de Torroella de Montgrí) es pot observar que la formació de partícules en suspensió va ser ocasionada principalment per les partícules de mida inferior a 10 µm (PM10) alliberades durant les tasques de preparació del terreny, però també per les partícules de mida inferior a 2,5 µm (PM2,5) (degudes a les tasques de preparació del terreny i en la fabricació del fertilitzant nitrogenat). A la mateixa finca, l'amoni és una altra substància que va tenir influència (concretament en un 24%) sobre les emissions de partícules en suspensió. Aquest va ser alliberat principalment pel fertilitzant nitrogenat després de ser aplicat al camp.

Pel que fa al camp de Monells, a la Taula 36 es pot observar com la substància que va tenir major influència sobre les emissions de partícules fines va ser l'amoni, el qual va provenir del nitrogen orgànic aplicat a la finca. Per altra banda, les partícules PM10 alliberades durant les tasques de preparació del sòl també van formar una part important del total de partícules fines formades.

Finalment, pel que fa a la finca de Riumors, les partícules PM10 van ser les responsables de gairebé el 82% de les emissions de partícules fines a l'aire, seguides de les partícules PM2,5, que van representar el 18% del total (Taula 37). Totes elles van ser generades durant les tasques de preparació del sòl.

4. DISCUSSIÓ

4.1. Control de les plantes adventícies

4.1.1. Identificació de les herbes

A la Figura 26 es mostra com al camp experimental de **Torroella de Montgrí** la majoria de les arvenses comptabilitzades van ser margalls (*L. rigidum*). Tot i això, cal destacar que en el tractament químic la quantitat de plantes de margall emergides va ser similar a la de dicotiledònies. Aquest fet va poder ser degut a dos motius: en primer lloc, la quantitat d'adventícies totals emergides a la finca després de l'aplicació dels productes herbicides va ser gairebé nul·la (Figura 31), de manera que la proporció de mono i dicotiledònies es va fer sobre un nombre de plantes totals molt baix. Per altra banda, el tractament herbicida va permetre utilitzar productes específics per la tipologia d'adventícies que es volien combatre, de manera que l'eficàcia que aquests van tenir sobre el margall va ser superior que els mètodes de desherbatge no selectius utilitzats, és a dir, els tractaments de desherbatge mecànic.

Per altra banda, a la Figura 26 s'observa que en els tractaments de desherbatge mecànic la proporció de margall respecte les adventícies dicotiledònies va ser superior que al testimoni de la mateixa finca. En aquest cas, tot i que també cal tenir en compte que el nombre d'arvenses presents en els tractaments de desherbatge mecànic va ser inferior al testimoni, de manera que les proporcions entre mono i dicotiledònies en cada tractament no es van obtenir sobre una mateixa població d'individus, es pot intuir com possiblement la rascla de pues flexibles va ser lleugerament menys eficaç en el control de monocotiledònies que en el control de dicotiledònies (l'eficàcia en el control de les adventícies es discuteix amb major detall a l'apartat 4.1.2. *Eficàcia en el control de les adventícies*).

Pel que fa a la finca de **Monells**, a la Figura 26 es pot observar com la major part d'adventícies identificades van ser dicotiledònies. La proporció d'aquestes va ser similar en tots els tractaments, excepte en el cas del desherbatge mecànic simplificat, on va ser entre un 5 i un 10% superior a la resta de tractaments del mateix camp. Es creu que aquest fet no va ser degut al tractament de desherbatge realitzat, sinó a la distribució heterogènia de les adventícies dins el camp.

Finalment, pel que fa al camp experimental de **Riumors**, a la Figura 26 es mostra com, de la mateixa manera que a la finca de Monells, la majoria de plantes identificades van ser dicotiledònies. En aquest cas, es pot explicar que la majoria d'elles fossin userdes (*M. sativa*) perquè el conreu anterior va ser d'aquesta espècie, de manera que, malgrat el treball del sòl realitzat abans de sembra, algunes plantes van poder rebrotar i esdevenir males herbes pel cultiu de blat.

4.1.2. Eficàcia en el control de les adventícies

Les dades obtingudes en l'anàlisi estadístic dels camps experimentals de Torroella de Montgrí i de Monells mostren com el mètode de desherbatge químic va ser el més eficaç pel control de les plantes adventícies (Figura 31 i Figura 32), eradicant gairebé totes les plantes arvenses que podien ser presents al cultiu (Taula 23). Pel que fa als mètodes de desherbatge mecànic estudiats, els resultats obtinguts en les dues finques mostren com aquests també van permetre un determinat control de les arvenses, però van ser menys eficaços que l'ús d'herbicides.

Desherbatge químic

Malgrat que el tractament químic va ser el més eficaç pel control de les arvenses (Figura 31 i Figura 32), a la finca de Torroella de Montgrí es va observar que els herbicides, aplicats en estadis de pre-emergència del cultiu i de les herbes, van resultar tòxics pel cultiu, tal com es mostra a la Figura 34.

Tot i això, es va observar que la fitotoxicitat, expressada en forma de taques blanques que recobrien els extrems del limbe de les fulles, va desaparèixer gradualment a mesura que el cultiu es desenvolupava i generava noves fulles (Figura 35). D'aquesta manera, els símptomes de fitotoxicitat es van mostrar molt lleus després d'1,5 mesos d'haver-se detectat, i van desaparèixer completament al cap de 2 mesos (Taula 24). Tal com es mostra a la mateixa taula, també es va observar que les plantes del tractament químic van presentar un estadi de desenvolupament lleugerament endarrerit respecte el testimoni. Aquests símptomes es van detectar a partir de l'inici d'afillament, però es van esvaïr en iniciar-se l'etapa d'encanyat, de manera que aparentment no van afectar al desenvolupament del cultiu.

Segons INTIA (2012), és habitual que la matèria activa prosulfocarb, combinada amb diflufenican per combatre també les adventícies de fulla ampla, provoqui símptomes de fitotoxicitat en cultius de blat i ordi, però aquests generalment desapareixen al cap d'un mes de la seva aplicació. Així doncs, probablement la fitotoxicitat a la finca de Torroella de Montgrí va ser provocada pel prosulfocarb (aplicat en una dosi de 4 l/ha), i no per la beflubutamida (aplicada en una dosi de 0,5 l/ha).

A la finca de Monells, on també es va realitzar un tractament de desherbatge químic, no es van observar símptomes de fitotoxicitats provocats pels productes herbicides en el cultiu (Figura 36). En aquest cas, les matèries actives utilitzades van ser diferents de les emprades a Torroella de Montgrí, i aquestes es van aplicar en estadis de post-emergència del cultiu.

Desherbatge mecànic

A la finca de **Torroella de Montgrí**, segons el model obtingut, el desherbatge mecànic intensiu va permetre el control del 85% de les arvenses (Taula 23), assolint nivells propers a les 20 plantes/m². Considerant que el llindar d'intervenció en el cas del margall (*L. rigidum*) es situa a les 15 plantes/m² (Martín & Lezáun, 2015), es pot afirmar que, en aquest cas, el desherbatge mecànic intensiu va permetre reduir la densitat de població d'arvenses fins a nivells acceptables per no perdre rendibilitat en la producció.

Pel que fa al desherbatge mecànic simplificat, el model obtingut mostra que va permetre reduir la població d'adventícies fins a les 54 plantes/m² (Figura 31). Establint el mateix llindar d'intervenció que en el desherbatge mecànic intensiu, en aquest cas es pot considerar que el nivell de control de les adventícies va ser insuficient, i possiblement aquestes van provocar pèrdues econòmiques en la producció.

A la finca de **Monells** el desherbatge mecànic intensiu va permetre assolir un nivell de població d'adventícies proper a les 10 plantes/m² en el moment de finalitzar les lectures (Figura 32). Segons Martín & Lezáun (2015), el llindar d'intervenció estimat de població d'adventícies (en general) es situa a les 5 plantes/m². Així doncs, de la mateixa manera que en el cas de la finca de Torroella de Montgrí, es pot afirmar que en el camp estudiat el desherbatge mecànic intensiu va permetre reduir la població d'arvenses a nivells acceptables econòmicament. En canvi, pel que fa al desherbatge mecànic simplificat, es pot considerar que el nivell de control de les arvenses no va ser suficient, i possiblement va provocar pèrdues econòmiques.

Segons un estudi de desherbatge mecànic en cereal d'hivern realitzat a Soria (Moyano, Benito, Carramiñana, & Ciria, 1998), el nivell de control de les adventícies aconseguit amb la rascla de pues flexibles pot ser d'entre el 50 i el 70%. En els presents assaigs es van obtenir eficàcies properes al 80% en el cas del desherbatge mecànic intensiu, i d'altres més variables en el cas del simplificat. Aquesta diferència en les eficàcies va poder ser deguda a múltiples factors, tals com l'estadi de desenvolupament del cultiu i de les adventícies en el moment d'ús de la rascla de pues, les condicions meteorològiques de després de la realització del desherbatge, l'estat d'humitat del sòl, el nivell d'agressivitat assolit amb la rascla de pues, etc.

Per altra banda, fonts com, per exemple, Betbesé et al. (2012), afirmen que la rascla de pues flexibles pot resultar eficaç pel control de plantes dicotiledònies, però no pel control de monocotiledònies. Els resultats obtinguts a la finca de Torroella de Montgrí mostren com la rascla de pues va tenir elevades eficàcies en el control de les arvenses, la majoria de les quals van ser margalls (Figura 26).

Tot i això, cal atribuir part d'aquests bons resultats a les condicions meteorològiques (Figura 43), ja que:

- Es va realitzar una sembra tardana dels cultius degut a les pluges de tardor, que van retardar la sembra fins als mesos de desembre i gener. Això va poder afectar a les poblacions d'adventícies que generalment es trobaven a les finques en fer una sembra durant l'octubre i novembre.
- Després de sembra hi va haver un període perllongat de sequera. Es creu que aquesta va ser favorable per les tasques de desherbatge mecànic, ja que va permetre mantenir un nivell baix d'humitat al sòl i, per tant, dificultar l'arrelament de les adventícies arrencades amb la rascla de pues.

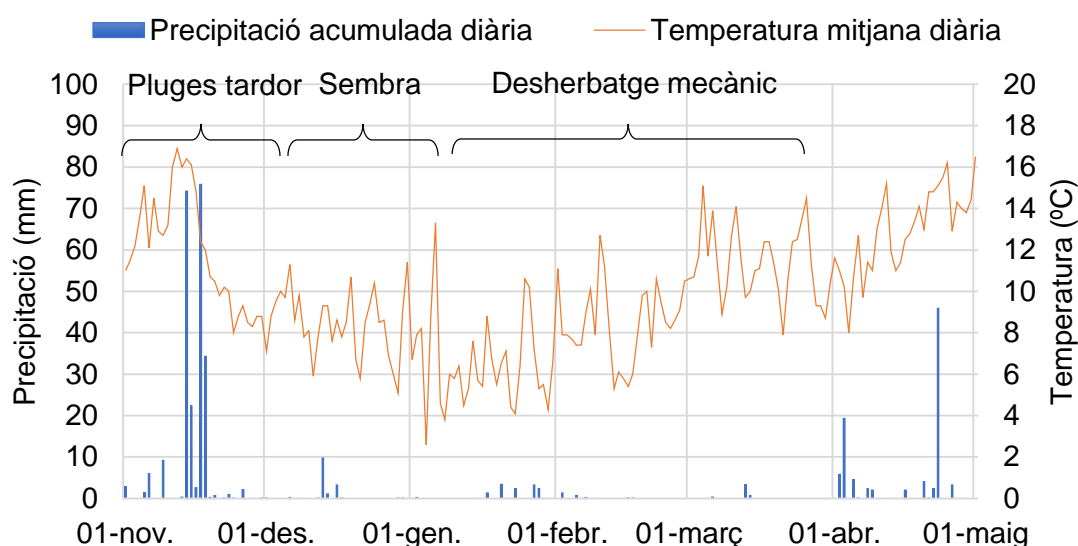


Figura 43: Precipitació diària acumulada i temperatura mitjana diària registrada a l'estació meteorològica de la Tallada d'Empordà durant el període 01/11/2018 - 01/05/2019.
Font: RuralCat (2019).

Cal destacar que els resultats obtinguts al camp experimental de **Riumors** no van permetre obtenir un model de relació lineal. Possiblement els mètodes de desherbatge emprats no van ser eficaços degut a que, a diferència de les finques de Torroella de Montgrí i Monells, es va passar la rascla de pues flexibles quan les adventícies es trobaven en estadis avançats de desenvolupament (i no en etapa de naixença), de manera que disposaven d'un sistema radicular prou desenvolupat com per resistir el pas de la màquina de desherbatge. Tot i això, a la Figura 33 es pot observar com, de mitjana, la població d'arvenses a la finca va ser de 12 plantes/m². Considerant un llindar d'intervenció de 5 plantes/m² (Martín & Lezáun, 2015), es pot estimar que les adventícies presents al camp no van provocar pèrdues econòmiques importants.

La baixa població d'arvenses de la finca de Riumors es pot atribuir, principalment, a dos motius:

- a) Historial del camp: la finca va provenir d'un cultiu plurianual d'usurda, de manera que es creu que la capacitat de colonització del camp d'aquest cultiu i els dalls periòdics van permetre reduir el banc de llavors de la finca.
- b) Bona competència de la varietat de blat cultivada amb les adventícies: segons Vila (2019), en anteriors assajos realitzats a la zona de l'Empordà es va observar que la varietat de blat Florence Aurora té una bona capacitat de competència amb les males herbes, de manera que és possible que aquest factor també hagi contribuït a la baixa presència d'arvenses al camp.

4.2. Costos del desherbatge

En comparar a nivell econòmic els mètodes de desherbatge utilitzats, a la Figura 38 es pot observar que el cost de la mà d'obra en el desherbatge químic va ser inferior que en els mètodes de desherbatge mecànics. Probablement aquest abaratiment en el cost de la mà d'obra va ser degut principalment per l'amplada de treball de les eines: treballant a la mateixa velocitat, la barra de polvorització, en ser més ampla que la rascla de pues, va permetre tractar tot el camp en menys temps, de manera que les hores de feina del tractorista es van reduir en comparació amb el desherbatge mecànic. Pel que fa al cost del combustible, aquest va dependre del consum que en va fer el tractor en accionar les eines, però també del nombre de vegades que es va treballar el cultiu. Així doncs, tal com mostra la Figura 38, el desherbatge amb herbicides és el que va tenir menor despesa en combustible (0,96 €/ha), ja que el consum d'accionar la barra de polvorització va ser inferior que el d'accionar la rascla de pues. Per altra banda, el tractament amb major despesa en combustible va ser el mecànic intensiu, ja que es va treballar el camp més vegades que en el simplificat.

Cal destacar la gran variabilitat que es va observar en els costos del desherbatge químic (Figura 37). Tal com s'ha comentat, entre el 80 i 90% dels costos del control químic de les adventícies van ser degut als productes fitosanitaris. Així doncs, es pot veure com el cost de desherbar químicament va ser molt variable en funció del preu dels herbicides i de les dosis utilitzades. En aquest cas, a la finca de Torroella de Montgrí el cost total del desherbatge químic va ser de 60 €/ha, mentre que al camp de Monells va ser de 31 €/ha. Segons dades de Cabasés & Lloveras (2014), el cost aproximat de realitzar un desherbatge amb productes herbicides en el conreu d'ordi de secà és de 40 €/ha, tot i que pot oscil·lar entre els 38 i els 70 €/ha. Així doncs, tenint en compte aquestes dades i els resultats mostrats a la Figura 37, s'observa que el cost del desherbatge

químic, en cas d'utilitzar productes herbicides econòmics, va ser similar al cost de realitzar un desherbatge mecànic intensiu.

Per altra banda, també es van estudiar els costos de desherbatge en cas que l'amplada de treball de la rascla de pues fos la mateixa que la barra de polvorització (és a dir, 8 m), de manera que el nombre de passades de maquinària necessàries per tractar cada vegada la finca fos igual en tots els casos⁶. Així, tal com mostra la Figura 44, els costos del desherbatge mecànic intensiu s'haurien pogut reduir en 15 €/ha respecte els obtinguts amb una amplada de treball de la rascla de pues de 3 m, i els del desherbatge mecànic simplificat, en 7 €/ha. Com que les hores necessàries per controlar les herbes mecànicament també quedarien reduïdes, el cost de la mà d'obra perdria rellevància respecte el total, tot i que seguiria essent el majoritari (Figura 45), i guanyaria importància el cost del combustible, ja que en disposar de major amplada de treball, el seu consum també augmentaria. Pel que fa al cost d'amortització, aquest no presentaria un increment important.

Així doncs, disposant de la mateixa amplada de treball en totes les eines, el mètode de desherbatge més costós seria el tractament químic (de 31 a 60 €/ha), seguit del tractament mecànic intensiu (amb un cost d'uns 23 €/ha) i del desherbatge mecànic simplificat (amb un cost d'uns 10 €/ha).

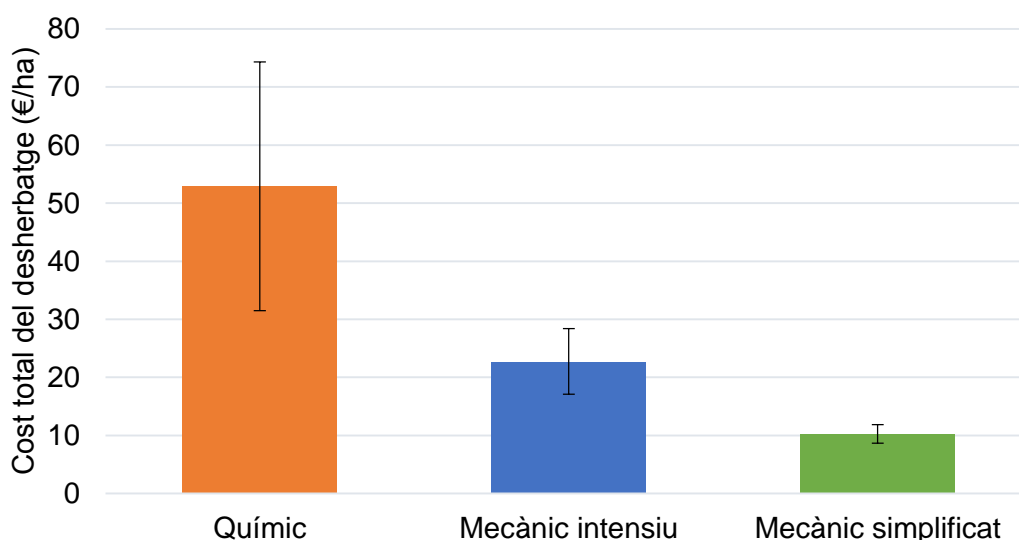


Figura 44: Cost mitjà del desherbatge en els tractaments estudiats (químic, mecànic intensiu i mecànic simplificat) considerant que l'amplada de treball de la rascla de pues fos de 8 m. Les barres d'error indiquen la desviació estàndard entre els valors obtinguts en cada parcel·la.

⁶ Es va assumir que la rascla de pues de 8 m d'amplada la subministrava el mateix fabricant de la rascla utilitzada (de 3 m), de manera que requeriria d'una potència a la presa de força de 37 kW (Hatzenbichler, s.d.). Per altra banda, es va considerar un valor d'adquisició de l'eina de 9000 €, un valor residual de 2250 €, i un consum de combustible de 4,24 L/h. Es va assumir que l'ús anual de l'eina seria 2,67 vegades inferior a l'obtingut en els assaigs. La resta de paràmetres (vida útil, preu del combustible i sou del tractorista) es van considerar iguals que els mostrats a la Taula 18.

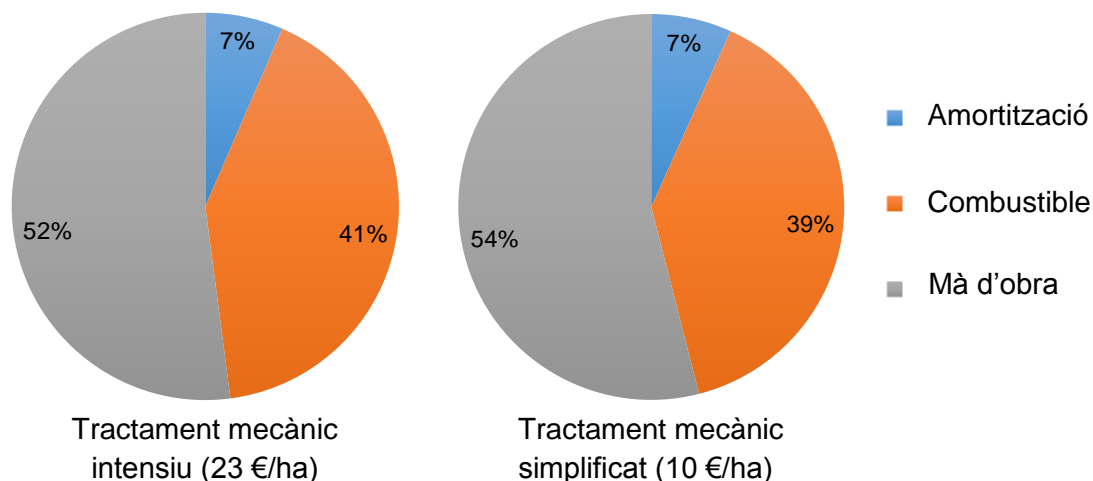


Figura 45: Distribució dels costos de desherbatge mecànic obtinguts considerant una amplada de treball de la rascla de pues de 8 m. S'indica també el cost total mitjà (€/ha) de realitzar cada tractament.

4.3. Anàlisi d'impacte ambiental

Després de dur a terme un Anàlisi del Cicle de Vida de les operacions realitzades a cada tractament estudiat, es va obtenir que el mètode de desherbatge químic va ser el que va tenir major potencial d'impacte, sobretot pel que fa a generació de toxicitats. En aquest apartat es discuteixen detalladament els resultats obtinguts per cada categoria d'impacte estudiada.

4.3.1. Toxicitat potencial (no cancerígena) pels humans

A la Figura 39 es pot veure que el nombre de casos de toxicitat potencial pels humans va ser més elevada al camp experimental de Torroella de Montgrí que a la resta de finques. Aquesta diferència es pot atribuir al mètode de fertilització, ja que a Torroella de Montgrí es van utilitzar fertilitzants minerals, els quals en la seva producció i transport van alliberar acroleïna, substància que va tenir major impacte en els resultats obtinguts de toxicitat potencial pels humans (Taula 25). En canvi, a Monells (Taula 26) l'impacte de l'adob va ser nul perquè aquest va ser d'origen orgànic, el qual va ser considerat com un residu, l'impacte ambiental del qual es va atribuir a la granja i no al cultiu, i no va rebre cap tractament previ a la seva aplicació a camp (compostatge, generació de biogàs...). Per altra banda, la finca de Riumors (Taula 27) no es va fertilitzar.

En l'estudi de Oliveira (2013), d'un cultiu de blat ecològic en el que es va realitzar un adobat orgànic, la fertilització va provocar entre un 70 i un 75% de la toxicitat total pels humans. La Taula 25 mostra com el 97% de la toxicitat en el tractament testimoni de Torroella de Montgrí va ser provocada pels fertilitzants (d'origen mineral). Les dades obtingudes tant en els presents assaigs com en Oliveira

(2013) permeten afirmar que l'ús de fertilitzants, ja siguin minerals o bé orgànics que han estat tractats, tenen un elevat potencial de provocar casos de toxicitats (no cancerígenes) en humans.

Per altra banda, a la Figura 39 es pot observar que el desherbatge emprant mètodes químics va tenir potencial de generar un nombre de casos de toxicitat més elevat que la resta de tractaments. També mostra com en el cultiu de Monells l'increment en el nombre de casos de toxicitat respecte el testimoni de la mateixa finca va ser superior que a Torroella de Montgrí. Aquesta diferència es pot atribuir a les matèries actives utilitzades en el desherbatge químic, ja que depenent de la mobilitat, persistència, biodisponibilitat i toxicitat de la substància, el seu impacte ambiental pot ser més o menys elevat.

Del total de matèries actives utilitzades en el desherbatge químic a Torroella de Montgrí, a la Taula 28 es pot observar que la que va tenir major incidència sobre la salut humana va ser la beflubutamida, la qual pot provocar problemes reproductius o de desenvolupament als humans (University of Hertfordshire, 2019). En el cas de la finca de Monells (Taula 29), la matèria activa que va tenir major influència en la toxicitat va ser la metribuzina. Aquesta és una matèria que, segons les dades obtingudes per Toledo et al. (1997), té una persistència al sòl d'entre 6 i 29 dies, la qual es pot considerar mitjana-baixa, però que resulta tòxica per la salut humana a partir de dosis baixes (Maya, 2000).

Pel que fa al desherbatge mecànic, a la Figura 39 es pot veure com l'impacte que aquest va tenir sobre la toxicitat (no cancerígena) en humans va ser similar al testimoni de la mateixa finca. Així doncs, segons les dades obtingudes, es pot afirmar que el mètode de desherbatge mecànic utilitzat (rascla de pues flexibles) va tenir un impacte menyspreable pel que fa al seu potencial de provocar toxicitats en humans.

4.3.2. Toxicitat potencial pels organismes d'aigua dolça

Segons els resultats obtinguts als assaigs, es pot observar com el mètode de desherbatge químic és l'únic d'entre els estudiats que va presentar potencial per provocar toxicitat als organismes d'aigua dolça (Figura 40). A diferència de la toxicitat (no cancerígena) pels humans, en aquest cas el mètode de fertilització no va tenir influència sobre la toxicitat pels organismes aquàtics (Taula 30 i Taula 31).

Per altra banda, a la Figura 40 també s'observa que la toxicitat potencial generada en el desherbatge químic de Torroella de Montgrí va ser molt més elevada que en el cas de Monells (en el primer cas hi va haver una toxicitat potencial de $226 \text{ PAF} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{dia}$, i en el segon, $35 \text{ PAF} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{dia}$). Aquest fet pot ser degut a les matèries actives utilitzades, ja que no totes presenten el mateix potencial de toxicitat pels organismes aquàtics. De la mateixa manera que en la

toxicitat (no cancerígena) pels humans, en el cas de Torroella de Montgrí la matèria activa que va contribuir en major proporció a la toxicitat total va ser la beflubutamida i, a Monells, la metribuzina. Tot i això, en aquesta última finca el metil oleat/metil palmitat va provocar una toxicitat potencial pels organismes d'aigua dolça similar a la metribuzina. Així doncs, es pot considerar que la beflubutamida, la metribuzina i el metil oleat/metil palmitat van ser les matèries actives utilitzades en els assaigs que van tenir major potencial de toxicitat en els organismes d'aigua dolça.

En un estudi realitzat en cultius de blat al nord-est de França (Berthoud, Maupu, Huet, & Poupart, 2011) es van obtenir toxicitats mitjanes d'entre 15.000 i 20.000 PAF·m³·dia (a més de productes herbicides, els cultius també es van tractar amb fungicides i insecticides), tot i que els resultats oscil·laven entre els 1.000 i 29.000 PAF·m³·dia. Així doncs, en comparació amb l'estudi esmentat, els resultats de toxicitat potencial en els organismes d'aigua dolça obtinguts en els mètodes de desherbatge químic es poden considerar molt baixos.

4.3.3. Canvi climàtic potencial

Les dades obtingudes a la Figura 41 mostren que els mètodes de desherbatge utilitzats gairebé no van tenir impacte en l'emissió de gasos d'efecte hivernacle (i, per tant, sobre el canvi climàtic). Per altra banda, a la mateixa figura s'observen diferències entre els camps d'assaig. Segons les dades aportades a la Taula 32, a la Taula 33 i a la Taula 34, aquestes diferències es poden atribuir als fertilitzants utilitzats: en les finques estudiades, la fertilització mineral va ser la que va emetre una major quantitat de gasos d'efecte hivernacle (més de 1500 kg CO₂-eq/ha), seguida de la fertilització orgànica (prop de 800 kg CO₂-eq/ha). En canvi, la no fertilització gairebé no va contribuir en el canvi climàtic.

Així doncs, segons les dades obtingudes, es pot observar que l'element més important pel que fa a efectes sobre el canvi climàtic en els cultius de blat i ordi estudiats va ser la realització o no de fertilització, i en cas afirmatiu, el tipus de fertilitzant utilitzat (orgànic o mineral).

En altres estudis realitzats en cereals d'hivern (Brentrup, Küsters, Lammel, Barraclough, & Kuhlmann, 2003; Ahlgren, 2004; Bartzas, Zaharaki, & Komnitsas, 2015) es van obtenir emissions de gasos d'efecte hivernacle (del conjunt d'operacions del cultiu) que es situaven entre els 900 i els 1900 kg CO₂-eq/ha, la major part de les quals van ser generades pels fertilitzants. Així doncs, es pot afirmar que els resultats obtinguts en els assaigs es van situar dins un rang d'emissions normal.

4.3.4. Formació potencial de partícules en suspensió

En els resultats mostrats a la Figura 42 no es van observar diferències entre els tractaments de desherbatge estudiats, però sí entre finques. Aquest fet és indicatiu que el mètode de desherbatge utilitzat gairebé no va tenir influència sobre l'emissió de partícules en suspensió, i que aquestes es van generar en altres operacions del cultiu.

Una de les operacions que va tenir major potencial de formació de partícules en suspensió va ser la preparació del sòl (Taula 35, Taula 36 i Taula 37), en la qual va prendre més rellevància el nombre de vegades que es va treballar el sòl que la maquinària utilitzada. Això pot ser degut a que cada vegada que es treballa el terreny s'alliberen partícules fines que poden quedar suspeses a l'aire.

Per altra banda, la fertilització va ser una altra operació del cultiu que va tenir un elevat potencial d'alliberació de partícules en suspensió, principalment amoni procedent de l'adob nitrogenat.

Així doncs, si es té en consideració que en el camp experimental de Riumors les tasques de preparació del sòl van ser menors que en les altres dues finques estudiades, i que aquest no es va fertilitzar, s'explica el motiu pel qual el potencial d'impacte ambiental pel que fa a la formació de partícules en suspensió d'aquesta finca va ser la meitat que l'obtingut a les altres dues.

Segons Oliveira (2013), les tasques de fertilització poden provocar més del 90% de les emissions de partícules en suspensió en un cultiu de blat ecològic (sobre unes emissions totals de 25 kg PM10-eq/ha (equivalents a 82 kg PM2,5-eq/ha)), la major part de les quals degudes a l'amoníac. En canvi, en els assaigs realitzats es van obtenir prop de 4 kg PM2,5-eq/ha (a Torroella de Montgrí i a Monells), i les emissions degudes a la fertilització orgànica van representar-ne el 50% en el cas de la finca de Monells. Aquestes diferències poden ser degudes principalment al tipus de fertilització realitzada, ja que en l'estudi de Oliveira (2013), la fertilització orgànica provenia de fems que havien estat prèviament compostats (en el procés de compostatge es pot haver alliberat gran part de l'amoníac estimat en l'estudi), a diferència de la fertilització orgànica realitzada al camp experimental de Monells.

4.4. Aplicabilitat

Els resultats que es van obtenir als assaigs poden ser aplicables de forma immediata pels productors de cereals d'hivern, ja sigui en agricultura convencional o ecològica. Cal destacar que són resultats que poden ser molt variables en funció de la tipologia d'arvenses de la finca, de les condicions meteorològiques, i del moment de realització de les tasques de desherbatge, sobretot pel que fa als mètodes de desherbatge mecànic.

Tot i això, cal destacar que seria convenient complementar les dades obtingudes en els assaigs amb els resultats de collita de cadascun dels tractaments per tal d'estudiar si hi ha hagut diferències entre ells, tant pel que fa a la producció expressada en kg/ha, com a la qualitat de la collita en forma d'una major o menor presència d'impureses, per exemple.

L'estudi pot permetre la incorporació d'una tècnica de desherbatge que, tot i que no es considera innovadora, ja que després de parlar amb agricultors del sector s'ha observat és coneguda i utilitzada pels productors de cereal ecològic, pot permetre un bon control de les plantes adventícies fins a nivells poblacionals acceptables que permetin assolir produccions similars a les obtingudes mitjançant el desherbatge convencional. Tot i això, podria ser interessant veure quina és l'evolució dels nivells de població de les plantes adventícies d'una finca al llarg del temps després de realitzar-ne el control mitjançant únicament mètodes mecànics durant anys, i avaluar com afecta aquest mètode de desherbatge al banc de llavors del camp, per exemple. A més, s'ha observat que el desherbatge mecànic pot permetre reduir els costos de producció en comparació amb el convencional, i generar un menor impacte ambiental, sobretot pel que fa a les toxicitats potencials sobre la salut humana i els organismes d'aigua dolça.

Per obtenir una bona taxa d'èxit en el mètode de desherbatge mecànic amb la rascla de pues flexibles, es creu imprescindible realitzar un bon maneig de la finca i escollir adequadament el moment de desherbatge seguint de manera regular l'evolució de les arvenses de cada camp durant l'etapa d'establiment del cultiu. Així doncs, es recomana:

- a) Dur a terme una rotació de cultius que permeti que la tipologia d'arvenses de la finca sigui variable al llarg dels anys per evitar que una espècie domini sobre les altres.
- b) Treballar superficialment el sòl just abans de la sembra per tal d'arrencar les adventícies que hagin germinat, facilitant l'establiment del cultiu i permetent que disposi d'un estadi de desenvolupament més avançat que les arvenses.
- c) Utilitzar la rascla de pues per a desherbar quan les adventícies estiguin en etapa de naixença i disposin d'un sistema radicular poc desenvolupat per tal de poder-les arrencar. Regular l'eina amb un nivell d'agressivitat que permeti controlar les arvenses però no afectar al cultiu.
- d) Consultar la previsió meteorològica procurant, en la mesura del possible, que els dies posteriors al tractament de desherbatge amb la rascla de pues hi hagi una climatologia favorable per l'assecat de les herbes arrencades (idealment sense precipitacions, amb sol i vent).

5. CONCLUSIONS

L'objectiu principal del treball va ser estudiar l'eficàcia del desherbatge mecànic en els cereals d'hivern mitjançant la identificació i quantificació de les poblacions de les plantes arvenses presents al camp, realitzant una estimació dels costos de cada mètode de desherbatge, i avaluant-los a nivell d'impacte ambiental. Amb els resultats obtinguts als assaigs es va poder concloure que:

1. En el desherbatge mecànic intensiu, realitzant dues o tres passades amb la rascla de pues flexibles en estadis inicials de desenvolupament de les adventícies, no es va assolir el mateix grau de control de les arvenses que amb l'ús d'herbicides, però va permetre reduir la població de mono i dicotiledònies fins a nivells considerats acceptables per no tenir pèrdues econòmiques importants en la collita. En canvi, la realització d'un sistema de desherbatge mecànic simplificat, duent a terme una sola passada amb la rascla de pues flexibles en estadis inicials de desenvolupament del cultiu, va ser considerada insuficient per aconseguir un bon control de les arvenses.
2. A nivell econòmic, el mètode de desherbatge que va resultar menys costós va ser el mecànic simplificat, ja que no va ser necessària la compra de productes herbicides, els quals van encarir manera important el cost de desherbar químicament, i només es va haver d'entrar a camp una sola vegada per a controlar les adventícies. El tractament de desherbatge intensiu també va ser més barat que l'ús d'herbicides, però va suposar un major cost respecte el simplificat degut a que es va haver d'entrar a camp el doble o triple de vegades.
3. El desherbatge químic va ser el que va provocar major impacte ambiental, sobretot en el cas de la toxicitat potencial en la salut humana i dels organismes d'aigua dolça, essent molt variables els nivells de toxicitat potencial generats en funció de la matèria activa utilitzada. El desherbatge mecànic no va generar un impacte ambiental destacable. En canvi, es va observar com altres operacions dutes a terme al cultiu van tenir-hi major influència:
 - a. Exceptuant els casos de toxicitat degut a les matèries actives, la fertilització va ser l'operació cultural que va contribuir en major mesura a la generació d'impacte ambiental.
 - b. Les operacions de preparació del terreny van contribuir de manera destacable en l'impacte ambiental potencial degut a l'alliberació de partícules en suspensió.

6. BIBLIOGRAFIA

- AGROSA semillas. (2015). *Cebada Maltera de ciclo Alternativo*. RGT Planet. Recuperat el gener de 2019 de <http://bit.ly/2QhNmW8>
- AgroSalvi. (2017). *Herbicides per a cereal d'hivern. Què tenim?*. Recuperat l'octubre de 2018 de <http://bit.ly/2Ev4UjM>
- Ahlgren, S. (2004). Environmental impact of chemical and mechanical weed control in agriculture - a comparing study usling Life Cycle Assessment (LCA) methodology. *SIK*. Recuperat el maig de 2019 de <http://bit.ly/2W0Pn5R>
- Anton, A., & Peña, N. (2019). *Metodologia a seguir en l'estudi d'impacte ambiental de les operacions agrícoles*. Comunicació personal, 17 d'abril de 2019.
- Arbat, G. (2017). *Maquinària agrícola. Selecció i substitució d'equips: selecció econòmica* [Apunts acadèmics].
- Arino, J., Aubert, C., Bonin, L., Fontaine, L., Gall, J., Glachant, C., . . . Zaganiacz, V. (2012). *Déssherber mécaniquement les grandes cultures*. ITAB. Recuperat l'octubre de 2018 de <http://bit.ly/30Ngb8C>
- Bartzas, G., Zaharaki, D., & Komnitsas, K. (2015). Life cycle assessment of open field and greenhouse cultivation of lettuce and barley. *Information Processing in Agriculture*. doi: [10.1016/j.inpa.2015.10.001](https://doi.org/10.1016/j.inpa.2015.10.001)
- Berthoud, A., Maupu, P., Huet, C., & Poupart, A. (2011). Assessing freshwater ecotoxicity of agricultural products in life cycle assessment (LCA): a case study of wheat using French agricultural practices databases and USEtox model. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. doi: [10.1007/s11367-011-0321-7](https://doi.org/10.1007/s11367-011-0321-7)
- Besnier, F. (1969). *Hojas Divulgadoras del Ministerio de Agricultura. Las semillas de malas hierbas en el suelo*. Madrid. Recuperat el març de 2019 de <http://bit.ly/2QhCCxT>
- Betbesé, J. A., Llenes, J. M., López, A., Montull, J. M., Roque, A., & Taberner, A. (2012). Ús i selectivitat de la grada de pues en el control de males herbes en varietats tradicionals de cereal d'hivern. A RuralCat, *Dossier tècnic N 58. Producció de cereals d'hivern. Nou material vegetal, desherbatge mecànic i racionalització de l'adobat nitrogenat* (pàgs. 25-31). Direcció General d'Alimentació, Qualitat i Indústries Agroalimentàries. Recuperat el febrer de 2019 de <http://bit.ly/2HwVp5j>
- Boto, J. A., Pastrana, P., & Cepeda, M. S. (2005). *Consumos energéticos en las operaciones agrícolas en España*. IDAE. Recuperat l'abril de 2019 de <http://bit.ly/2VIW9lv>

- Brentrup, F., Küsters, J., Lammel, J., Barraclough, P., & Kuhlmann, H. (2003). Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA) methodology II. The application to N fertilizer use in winter wheat production systems. *European Journal of Agronomy*. doi: [10.1016/S1161-0301\(03\)00039-X](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(03)00039-X)
- Cabasés, M. À., & Lloveras, J. (2014). Avaluació dels costos de producció de cultius extensius en secà i regadiu. A RuralCat, *Dossier Tècnic N 69. Costos en l'agricultura* (pàgs. 7-18). Direcció General d'Alimentació, Qualitat i Indústries Agroalimentàries. Recuperat el febrer de 2019 de <http://bit.ly/2VJtEu4>
- DARPA. (2017). *Herbicides en cereals d'hivern. Novembre 2017*. Recuperat l'octubre de 2018 de <http://bit.ly/2YMvf4C>
- Directiva 2009/128/CE del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se establece el marco de la actuación comunitaria para conseguir un uso sostenible de los plaguicidas, Diario Oficial de la Unión Europea. (2009). Recuperat el febrer de 2019 de <http://bit.ly/2Eo6l39>
- Diésel o Gasolina. (2019). *Precio del gasóleo B o agrícola en Girona*. Recuperado el febrer de 2019 de <http://bit.ly/2M4g19C>
- Dorado, J., & Fernandez-Quintanilla, C. (2017). *Principales malas hierbas y su gestión en cereales de invierno y maíz*. Grandes Cultivos. Recuperat el febrer de 2019 de <http://bit.ly/2HxKUi4>
- Ecoinvent. (2017). *Simapro Inventory (LCI)*. IRTA Torre Marimon, Integral Organic Waste Management Program (GIRO).
- Ecoinvent. (s.d.). *Ecoinvent LCI database*. Recuperat l'abril de 2019 de <http://bit.ly/2QgCqyM>
- Estadella, A. (2019). *Valor d'adquisició de la rascla de pues flexibles*. Comunicació personal, 29 març.
- Estadella, A., & Gracia, F. (2018). *Consums de treball de la rascla de pues, la grada rotativa d'estrelles i la binadora de dits*. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació, Centre de Mecanització Agrària. Document no publicat.
- FEGA. (2017). *Visor SIGPAC*. Recuperat el gener de 2019 de <http://bit.ly/2WdqO5d>
- Fiat Trattori S.P.A. (1982). *666 - 766 Betriebsanleitung* (1ª ed.). Modena, Italien: ARBE.
- Francés, J., & Vilardell, P. (2018). *Cultius herbacis* [Apunts acadèmics].

- Fruits del Secà. (s.d.). *Agricultura ecològica de secà. Florence Aurora*. Recuperat el gener de 2019 de <http://bit.ly/2X0JDp7>
- García, S. (2012). *Malas hierbas*. Recuperat el febrer de 2019 de <https://blocs.xtec.cat/sgarcia2/>
- Generalitat de Catalunya. (2018). *Maquinària per a desherbatge mecànic. Rascla de pues flexibles*. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació, Centre de Mecanització Agrària. Document no publicat.
- GENVCE. (2010). *Cebada ciclo corto. Signora*. Recuperat el gener de 2019 de <http://www.genvce.org/variedades/cebada/ciclo-corto/signora/>
- Google Maps. (2019). *Localització de les parcel·les*. Recuperat el gener de 2019 de <http://bit.ly/2YNL5fh>
- Hatzenbichler. (s.d.). *Harrowing technology*. Recuperat el febrer de 2019 de <https://www.hatzenbichler.com/en/harrowing-technology>
- HEAP. (2019). *The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. Online*. Recuperat el febrer de 2019 de <http://www.weedscience.com/>
- HRAC. (s.d.). *Protecting crop yields and quality worldwide*. Recuperat el març de 2019 de <https://hracglobal.com/>
- IDAE. (2005). *Consumos energéticos en las operaciones agrícolas en España*. Recuperat el febrer de 2019 de <http://bit.ly/2VIW9lv>
- INTIA. (2012). *Control de malas hierbas en cereal de invierno*. Recuperat el febrer de 2019 de <http://www.nolaboreo.es/fotosbd/herbis-web.pdf>
- IRTA. (2018a). *Demostració i transferència del desherbatge mecànic en conreus extensius. Cereals d'hivern i proteaginoses*.
- IRTA. (2018b). *Girona Litoral. Ordi (sembra d'hivern) (amb protecció fungicida)*. Recuperat el gener de 2019 de <http://bit.ly/2wfrl7T>
- IRTA Mas Badia. (2019a). *Fitotoxicitat provocada pels productes herbicides aplicats a la parcel·la de Torroella de Montgrí*. Comunicació personal, 1 febrer de 2019.
- IRTA Mas Badia. (2019b). *Preu dels productes herbicides AUROS, BEFLEX, BIATHLON 4D, SENCOR 600 SC i DASH*. Comunicació personal, 14 març de 2019.
- ISO 14040. (2006). *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia*. Recuperat el maig de 2019 de <http://bit.ly/2WVOyYx>
- Llenes, J. M., & Taberner, A. (2013). *Fitxa tècnica. La grada de pues en el control de les males herbes*. Ruralcat. Recuperat el febrer de 2019 de <http://bit.ly/2HTgO82>

- Llorente, I. (2018). *Protecció vegetal*. [Apunts Acadèmics].
- Lopez, L. (1991). *Cultivos herbáceos. Vol. 1. Cereales* (1a ed.). Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- MAPA. (2008). *Previsión de costes de utilización de la maquinaria agrícola*. Recuperat l'abril de 2019 de <http://bit.ly/2EDA6xp>
- MAPA. (2013). *Estadística anual de consumo de productos fitosanitarios y Estadística quinquenal de utilización de productos fitosanitarios en la Agricultura*. Encuesta de Utilización de Productos Fitosanitarios. Recuperat el febrer de 2019 de <http://bit.ly/2JZp3SD>
- MAPA. (2018). *Anuario de Estadística 2017*. Madrid. Recuperat el gener de 2019 de <http://bit.ly/2JA71GX>
- MAPA. (2019). *Registro de Productos Fitosanitarios*. Recuperat el febrer de 2019 de <http://bit.ly/2wbS2KO>
- MAPA. (s.d.). *Cálculo de la compatibilidad tractor-máquina y costes de utilización. Hoja de cálculo de costes*. Recuperat l'abril de 2019 de <http://bit.ly/2QiG8b8>
- Martín, Á., & Lezáun, J. A. (2015). *Guía de Gestión Integrada de Plagas. Cereales de Invierno*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Recuperat el maig de 2019 de <http://bit.ly/2EpeDlc>
- Maya, S. F. (2000). Efectos de los herbicidas metribuzina y ametrina (triazinas) sin y con activación metabólica vegetal in vivo sobre la cinética del ciclo celular y el índice mitótico en linfocitos humanos en cultivo. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*. Recuperat el maig de 2019 de <http://bit.ly/2JBEPDU>
- Mendiola, M. Á. (2000). *Visión general sobre las malas hierbas*. Recuperat el febrer de 2019 de <http://bit.ly/2VVsk2K>
- Montemayor, E. (2019). *Machinery Emissions and Material Calculator*. IRTA Torre Marimon, Integral Organic Waste Management Program (GIRO).
- Montull, J. M., Llenes, J. M., & Taberner, A. (2018). Cereal d'hivern. Control de males herbes. A R. Sayeras, J. Serra, F. Domingo, J. Fañé, A. López, J. M. Soriano, . . . C. Aliaga, *Recomex. Resultats d'assaigs i innovacions en cultius extensius d'hivern*. (p. 107-125). IRTA. Recuperat l'octubre de 2018 de <http://bit.ly/2HxE3FG>
- Motor Ibérica S.A. (1973). *Tractor EBRO 160 D. Manual de instrucciones* (3ª ed.). Barcelona: Dirección de Asistencia Técnica.

- Moyano, A., Benito, M., Carramiñana, N., & Ciria, M. P. (1998). Control mecánico de malas hierbas y su efecto sobre la producción de cebada y trigo en Soria. *Una alternativa para el mundo rural del tercer milenio* (pàgs. 129 – 134). Recuperat el maig de 2019 de <http://bit.ly/30BnlfT>
- OLCA-Pest. (s.d.). *Consensus emission model*. Recuperat l'abril de 2019 de <http://pestlciweb.man.dtu.dk/>
- Oliveira, S. M. (2013). Comparación de Inventarios de Ciclo de Vida de cultivos ecológicos en Catalunya y base de datos Ecoinvent y repercusión en el análisis del impacto. Caso de estudio: cultivo de trigo ecológico. *Proyecto de fin de máster en agricultura ecológica*. Recuperat el maig de 2019 de <http://bit.ly/2K1ACIP>
- OMS. (2018). *Calidad del aire y salud*. Recuperat el maig de 2019 de <http://bit.ly/2VJD2hq>
- RAGT Semillas. (2017). *Cereales 2017*. Recuperat el gener de 2019 de <http://bit.ly/2JBbnO1>
- Recasens, J. (2000). *Botànica agrícola: Plantas útiles i males herbes* (1a ed.). Lleida: Edicions de la Universitat de Lleida.
- Recasens, J. (2012). *Necesidad de formación especializada en Malherbología en los profesionales de la Sanidad Vegetal*. Recuperat el febrer de 2019 de <http://bit.ly/2VJP5eJ>
- Recasens, J., & Conesa, J. A. (2009). *Malas hierbas en plántula: Guía de identificación* (1ª ed.). Lleida: Edicions de la Universitat de Lleida.
- Ris, N., & ATALL. (2012). *El cultivo de cereales de invierno en la provincia de Lleida*. Recuperat el febrer de 2019 de <http://bit.ly/2HA4RFm>
- Rosenbaum, R. K., Hauschild, M. Z., Boulay, A.-M., Fantke, P., Laurent, A., Núñez, M., & Vieira, M. (2018). Chapter 10. Life Cycle Impact Assessment. En M. Z. Hauschild, R. K. Rosenbaum, & S. I. Olsen, *Life Cycle Assessment. Theory and Practice* (pàgs. 167 - 270). Springer International Publishing. doi: [10.1007/978-3-319-56475-3_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3_10)
- RuralCat. (2005). Aspectes actuals del control de males herbes en cereals d'hivern. A *Dossier Tècnic N 05. Cereals d'hivern. Varietats, treball del sòl i control de males herbes i malalties* (p. 19-24). Direcció General d'Alimentació, Qualitat i Indústries Agroalimentàries. Recuperat l'octubre de 2018 de <http://bit.ly/2Hyw0by>
- RuralCat. (2019). *La Tallada d'Empordà. Dades agrometeorològiques*. Recuperat el maig de 2019 de <http://bit.ly/2QleMRD>

- Serra, J. (2019). *Sou aproximats dels tractoristes*. Comunicació personal, 19 març.
- Serra, J., & Álvaro, F. (2017). *Varietats de blat panificables tradicionals i modernes*. Recuperat el gener de 2019 de <http://bit.ly/2VLHM6i>
- Taberner, A. (2004). *Evolució del control de les males herbes*. Quaderns Agraris. Recuperat el febrer de 2019 de <http://bit.ly/2EuKkjin>
- Toledo, J., García, J. M., Sánchez-Brunte, C., García, A., Matienzo, M. T., Salto, T., . . . Lechón, Y. (1997). *Persistencia, movilidad y predicción del comportamiento en el suelo de diferentes herbicidas*. Recuperat el maig de 2019 de <http://bit.ly/30HS8bd>
- ToxGuide. (2007). *ToxGuide for Acrolein*. Recuperat el maig de 2019 de <https://www.atsdr.cdc.gov/toxguides/toxguide-124.pdf>
- University of Hertfordshire. (2019). *PPBD: Pesticide Properties Database*. Recuperat el maig de 2019 de <http://bit.ly/2QKzt9U>
- Vila, L. (2019). *Blat Florence Aurora i males herbes*. Comunicació personal, 1 de febrer.
- Zapiola, M. L. (2017). *Mecanismo de resistencia a herbicidas: origen y consecuencias eco fisiológicas y evolutivas*. [Vídeo]. Recuperat el març de 2019 de <https://www.youtube.com/watch?v=pFFLmj0BmSg>

ANNEX A: Dades per l'avaluació de l'impacte ambiental

Taula 38: Dades d'entrada (*inputs*) utilitzades en l'anàlisi d'impacte ambiental dels tractaments realitzats (testimoni (*Test.*), desherbatge químic (*Quí.*), desherbatge mecànic intensiu (*Int.*), desherbatge mecànic simplificat (*Simp.*)). Taula adaptada de Ecoinvent (2017).

Entrades (<i>inputs</i>)		U./ha	TORROELLA DE MONTGRÍ (ordi)				MONELLS (ordi)				RIUMORS (blat)		
			Test.	Quí.	Int.	Simp.	Test.	Quí.	Int.	Simp.	Test.	Int.	Simp.
	Llavors (sembrada) ⁽¹⁾	kg	200	200	200	200	225	225	225	225	300	300	300
Fertilització ⁽¹⁾	N	kg	120	120	120	120	123	123	123	123	0	0	0
	P ₂ O ₅	kg	52,50	52,50	52,50	52,50	56	56	56	56	0	0	0
	K ₂ O	kg	140	140	140	140	127	127	127	127	0	0	0
Productes fitosanitaris ⁽¹⁾	Prosulfocarb 80%	L	0	4,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Beflubutamida 50%	L	0	0,50	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Florasulam 5,4%	kg	0	0	0	0	0	0,07	0	0	0	0	0
	Tritosulfuron 71,4%	kg	0	0	0	0	0	0,07	0	0	0	0	0
	Metribuzina 60%	L	0	0	0	0	0	0,05	0	0	0	0	0
	Metil oleat / metil palmitat 34,8%	L	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0
Maquinària (ús horari) ⁽¹⁾	Tractor 65-94 kW	h	4,29	4,60	6,56	5,35	2,99	3,24	4,53	3,65	2,89	4,38	3,64
	Arada/grada discos	h	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Xisel	h	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0	0	0
	Roleu	h	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1
	Sembradora	h	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
	Abonadora suspesa	h	0,60	0,60	0,60	0,60	0	0	0	0	0	0	0
	Cisterna de purins	h	0	0	0	0	0,30	0,30	0,30	0,30	0	0	0
	Rascla de pues	h	0	0	2,27	1,06	0	0	1,54	0,66	0	1,49	0,75
	Barra de polvorització	h	0	0,31	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0
	Recol·lectora	h	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Taula 38, continuació.

Entrades (<i>inputs</i>)		U./ha	TORROELLA DE MONTGRÍ (ordi)				MONELLS (ordi)				RIUMORS (blat)		
			Test.	Quí.	Int.	Simp.	Test.	Quí.	Int.	Simp.	Test.	Int.	Simp.
Maquin. (massa utilitzada) ⁽²⁾	Tractor 65-94 kW	kg	0,423	0,454	0,647	0,528	0,295	0,320	0,447	0,360	0,285	0,432	0,359
	Arada/grada discos	kg	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250
	Xisel	kg	0,128	0,128	0,128	0,128	0,128	0,128	0,128	0,128	0	0	0
	Roleu	kg	0,201	0,201	0,201	0,201	0	0	0	0	0,201	0,201	0,201
	Sembradora	kg	0,114	0,114	0,114	0,114	0,114	0,114	0,114	0,114	0,114	0,114	0,114
	Abonadora suspesa	kg	0,016	0,016	0,016	0,016	0	0	0	0	0	0	0
	Cisterna de purins	kg	0	0	0	0	0,965	0,965	0,965	0,965	0	0	0
	Rascla de pues	kg	0	0	0,132	0,062	0	0	0,089	0,038	0	0,087	0,044
	Barra de polvorització	kg	0	0,042	0	0	0	0,034	0	0	0	0	0
	Recol·lectora	kg	1,042	1,042	1,042	1,042	1,042	1,042	1,042	1,042	1,042	1,042	1,042

(1) Dades obtingudes a camp o, en el cas de l'ús horari de la maquinària (tractor, arada, grada de discos, xisel, roleu, sembradora, abonadora suspesa, cisterna de purins, i recol·lectora), estimades per MAPA (s.d.).

(2) Dades obtingudes de Montemayor (2019) a partir de l'ús horari de la maquinària.

Taula 39: Dades d'entrada (*outputs*) utilitzades en l'anàlisi d'impacte ambiental dels tractaments realitzats (testimoni (*Test.*), desherbatge químic (*Quí.*), desherbatge mecànic intensiu (*Int.*), desherbatge mecànic simplificat (*Simp.*)). Taula adaptada de Ecoinvent (2017).

Sortides (<i>outputs</i>)		U./ha	TORROELLA DE MONTGRÍ (ordi)				MONELLS (ordi)				RIUMORS (blat)		
			Test.	Quí.	Int.	Simp.	Test.	Quí.	Int.	Simp.	Test.	Int.	Simp.
Emissions a l'aire	N ₂ O ⁽¹⁾	kg	2,64	2,64	2,64	2,64	2,71	2,71	2,71	2,71	0	0	0
	NH ₃ ⁽¹⁾	kg	14,40	14,40	14,40	14,40	29,50	29,50	29,50	29,50	0	0	0
	NO ₃ ⁽¹⁾	kg	156	156	156	156	160	160	160	160	0	0	0
	P ⁽¹⁾	kg	2,63	2,63	2,63	2,63	2,80	2,80	2,80	2,80	0	0	0
	PM _{2,5} ⁽²⁾	kg	0,46	0,46	0,46	0,46	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
	PM ₁₀ ⁽²⁾	kg	9,20	9,20	9,20	9,20	6,95	6,95	6,95	6,95	6,95	6,95	6,95
	HC ⁽²⁾	g	77	80	111	93	61	64	84	71	49	72	61
	NO _x ⁽²⁾	g	1310	1345	1870	15571	1063	1091	1444	1226	812	1180	997
	CO ⁽²⁾	g	227	232	302	262	205	208	256	266	132	182	157
	Prosulfocarb 80% ⁽³⁾	kg	0	0,16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Beflubutamida 50% ⁽³⁾	kg	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Florasulam 5,4% ⁽³⁾	kg	0	0	0	0	0	2,0·10 ⁻⁴	0	0	0	0	0
	Tritosulfuron 71,4% ⁽³⁾	kg	0	0	0	0	0	2,3·10 ⁻³	0	0	0	0	0
	Metribuzina 60% ⁽³⁾	kg	0	0	0	0	0	1,5·10 ⁻³	0	0	0	0	0
	Metil oleat / metil palmitat 34,8% ⁽³⁾	kg	0	0	0	0	0	8,7·10 ⁻³	0	0	0	0	0

Taula 39, continuació.

Sortides (<i>outputs</i>)		U./ha	TORROELLA DE MONTGRÍ (ordi)				MONELLS (ordi)				RIUMORS (blat)		
			Test.	Quí.	Int.	Simp.	Test.	Quí.	Int.	Simp.	Test.	Int.	Simp.
Emissions al sòl	Prosulfocarb 80% ⁽⁴⁾	kg	0	3,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Beflubutamida 50% ⁽⁴⁾	kg	0	0,24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Florasulam 5,4% ⁽⁴⁾	kg	0	0	0	0	0	$2,6 \cdot 10^{-3}$	0	0	0	0	0
	Tritosulfuron 71,4% ⁽⁴⁾	kg	0	0	0	0	0	0,04	0	0	0	0	0
	Metribuzina 60% ⁽⁴⁾	kg	0	0	0	0	0	0,02	0	0	0	0	0
	Metil oleat / metil palmitat 34,8% ⁽⁴⁾	kg	0	0	0	0	0	0,12	0	0	0	0	0

(1) Valors calculats aplicant factors PEF (*Primary Energy Factor*) als fertilitzants:

0,022 kg N₂O/kg N; 0,12 kg NH₃/kg N mineral; 0,24 kg NH₃/kg N orgànic; 1,3 kg NO₃/kg N; 0,05 kg P/kg P₂O₅.

(2) Dades obtingudes de Montemayor (2019) a partir de l'ús horari de la maquinària.

(3) Quantitat de matèria activa dels herbicides que s'allibera a l'aire (5%). Valors obtinguts realitzant l'operació $0,05 \cdot (\text{Dosi herbicida}) \cdot (\% \text{ de la matèria activa})$. La fracció de matèria activa que s'allibera a l'aire s'ha obtingut del model d'estimació d'emissions OLCA-Pest (s.d.).

(4) Quantitat de matèria activa dels herbicides que s'allibera al sòl (95% en cas d'aplicar-se en sòl nu, i 70% en cas d'aplicar-se en estadis de desenvolupament foliar del cultiu). Valors obtinguts realitzant l'operació $0,95 \text{ ó } 0,70 \cdot (\text{Dosi herbicida}) \cdot (\% \text{ de la matèria activa})$. La fracció de matèria activa que s'allibera al sòl s'ha obtingut del model d'estimació d'emissions OLCA-Pest (s.d.).

(Full en blanc)