



Universitat de Lleida

# **Mètode de dosificació variable en temps real per a l'aplicació de productes fitosanitaris en fructicultura de precisió**

***Method for real-time variable rate application of plant protection products in precision horticulture/fructiculture***

**Alexandre Escolà i Agustí**

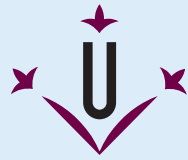
---

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

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

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

---



Universitat de Lleida  
Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Agrària



# Mètode de dosificació variable en temps real per a l'aplicació de productes fitosanitaris en fructicultura de precisió

*Method for real-time variable rate application of plant protection products in precision horticulture/fructiculture*

TESI DOCTORAL



**ALEXANDRE ESCOLÀ i AGUSTÍ**

Departament d'Enginyeria Agroforestal

Lleida, juliol de 2010





Universitat de Lleida  
Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Agrària



# **Mètode de dosificació variable en temps real per a l'aplicació de productes fitosanitaris en fructicultura de precisió**

*Method for real-time variable rate application of plant protection products in precision horticulture/fructiculture*

**TESI DOCTORAL**

**Alexandre Escolà i Agustí**

**Departament d'Enginyeria Agroforestal**

Direcció:

Dr. Santiago Planas de Martí

Dr. Joan Ramon Rosell Polo

Dr. Jesús Pomar Gomá

Lleida, juliol de 2010



# Dades de la tesi doctoral

Memòria original presentada per a l'obtenció del títol de doctor per la Universitat de Lleida, d'acord amb el que disposa l'article 11 del Reial Decret 1393/2007, de 29 d'octubre, pel qual s'estableix l'ordenació dels ensenyaments universitaris oficials («BOE» 260, de 30-10-2007) i en l'Acord núm. 215/2008 del Consell de Govern de 21 d'octubre de 2008, pel qual s'aprova la normativa dels ensenyaments de doctorat de la Universitat de Lleida.

<b>Autor</b>	Alexandre Escolà i Agustí
<b>Directors</b>	Dr. Santiago Planas de Martí Dr. Joan Ramon Rosell Polo Dr. Jesús Pomar Gomá
<b>Títol</b>	Mètode de dosificació variable en temps real per a l'aplicació de productes fitosanitaris en fructicultura de precisió. Method for real-time variable rate application of plant protection products in precision horticulture/fructiculture.
<b>Paraules clau</b>	Polvorització, polvoritzador, tècniques d'aplicació, productes fitosanitaris, tecnologia de dosificació variable, caracterització electrònica de la capçada, sensors d'ultrasons, lidar, làser, variabilitat, regulació electrònica, agricultura de precisió, fructicultura de precisió.
<b>Departament</b>	Enginyeria Agroforestal
<b>Universitat</b>	Universitat de Lleida
<b>Centre</b>	Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària
<b>Títol al que s'opta</b>	Doctor per la Universitat de Lleida
<b>Data de defensa</b>	juliol de 2010



*Als de casa:  
l'Esther, el Pau, l'Ares i el Marc;  
la Mare, el Pare, el Javier i la Divina;  
el David, la Marta, l'Arnau i la Berta.*





# Agraïments

*Entenent la vida com un camí de creixement i maduració personal, aquest document que tens a les mans m'ha acompanyat durant un tram beeeen llaaaarg... Durant tot aquest recorregut he trobat molta gent que m'ha fet costat i que ha contribuït a fer possible que aquesta tesi doctoral hagi arribat a bon port. Ja em perdonareu, però crec que és just agrair, en primer lloc, la comprensió, el suport, l'amor i l'acompanyament de l'Esther, el Pau, l'Ares i el Marc. Ells són els que més han patit aquesta dèria meva de fer la tesi i els que han tingut un marit i un pare a temps parcial i, en ocasions, només a hores. Gràcies per ser-hi.*

*Als meus tres directors, Dr. Planas, Dr. Rosell i Dr. Pomar, agrair-los l'oportunitat que, al seu dia, em va brindar així com els coneixements que m'han transmès i la confiança i l'acompanyament que m'han fet durant tot aquest temps. Gràcies.*

*A tots els companys del Centre de Mecanització Agrària, al Felip, al Pere, al Francesc, a l'Àngel, a l'Alba, al Màxim, a la Montse, a la Maite i al Jaume. Tots ells m'han ensenyat moltes de les coses que avui sé, tant a nivell professional com personal. A més, sense ells no s'haguessin pogut muntar els prototipus ni s'haguessin pogut fer tots els assajos que aquí es descriuen. Al Ferran, el seu entusiasme, la seva dedicació, la seva capacitat de treball, la seva disponibilitat... Quantes hores compartides! Sense ell no hagués pogut fer moltes de les tasques que exposo a continuació. També voldria agrair a tots aquells que han participat en els assajos, d'una manera o altra, la seva voluntat i predisposició; concretament, al Jordi, a l'Elena, a la Natàlia, a la Patricia, a l'Olga, a la Montse, al Xavier, al Josep Maria i al Pere. També, agrair a la Genoveva Andreu la seva predisposició i el seu bon saber fer en les analítiques realitzades al Laboratori Agroalimentari de Cabriels. I, per extensió, el meu agraïment al Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural de la Generalitat de Catalunya. A tots ells, gràcies.*

*A l'Emilio i al Luís, agrair-los l'haber-me tractat com un col·lega i un company des del primer dia i els ànims i la confiança que sempre han tingut en que, un dia o altre, acabaria aquest treball. Gràcies.*

*Al David Ganau, al Josep Maria Gòdia i a l'empresa ILEMO HARDI, S.A.U., el meu agraïment per la seva col·laboració en els projectes de recerca dels que emana aquesta tesi aportant equips d'aplicació i els seus coneixements. Gràcies.*

*Al Ricard Dalmau, a la Georgina Alins, al Miquel Peris i a l'Estació Experimental de Lleida de l'IRTA, el meu agraïment per facilitar les parcel·les d'assaig a Gimenells en les que s'han validat els desenvolupaments d'aquesta tesi. Gràcies.*

*A la Ma. Àngels Colomer, agrair-li l'assessorament inicial en el disseny dels procediments estadístics per a la correcta anàlisi de les dades. Al Jaume Amó, agrair-li les consultes estadístiques dels darrers temps, el suport moral i l'optimisme que sempre m'ha encomanat.*

*Als companys del Departament d'Enginyeria Agroforestal i del Grup de Recerca en Agricultura de Precisió, Agròtica i Agrotecnologia, agrair-los la seva comprensió i la seva paciència, sobretot quan han assumit tasques que no els pertocaven per tal que jo pogués avançar la tesi. A tots ells, gràcies.*

*A la Universitat de Lleida, agrair-li la iniciativa del programa Martina Castells i l'oportunitat brindada en poder-m'hi acollir. Aquest programa ha estat l'espuma necessària per a enllestir aquest treball d'una vegada. Gràcies.*

*Evidentment, moltíssimes gràcies a la iaia, a la padrina i a l'abuelo dels nostres fills. Aquesta tesi l'he pogut acabar perquè ells han exercit aquestes funcions amb grandíssima predisposició. A la iaia, agrair-li, també, els suports de tota mena i l'acompanyament així com la correcció final del document: una veritable feinada. I ànims, que ara et toca a tu! A la padrina i a l'abuelo, moltíssimes gràcies pel suport i els ànims, així com per l'assessorament i els mals de caps compartits. Gràcies. Què hagués fet sense vosaltres!*

*Finalment, agrair la comprensió i els ànims a tots aquells familiars i amics que m'han fet costat durant l'elaboració d'aquesta tesi. Moltes vegades no he pogut estar amb vosaltres però us he sentit sempre molt a prop. Gràcies a tots!*







# Índex general

Índex general.....	i
Índex de figures.....	vii
Índex de taules.....	xxi
Resum.....	xxix
Resumen.....	xxx
Summary.....	xxxiii
Definicions prèvies i notació.....	xxxv
<b>1 Introducció.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Revisió bibliogràfica.....</b>	<b>7</b>
2.1 Introducció.....	9
2.2 Agricultura de precisió.....	9
2.2.1 Pràctica de l'agricultura de precisió.....	12
2.2.2 Agricultura de precisió basada en mapes.....	13
2.2.2.1 Elaboració de mapes digitals d'informació.....	14
2.2.2.2 Presa de decisions.....	21
2.2.2.3 Tecnologia de dosificació variable.....	24
2.2.2.4 Avantatges i inconvenients.....	25
2.2.2.5 Observacions.....	26
2.2.3 Agricultura de precisió basada en sensors en temps real.....	27
2.2.3.1 Principi de funcionament.....	27
2.2.3.2 Avantatges i inconvenients.....	31
2.2.3.3 Observacions.....	32
2.2.4 Agricultura de precisió basada en mapes i en sensors en temps real.....	32
2.2.4.1 Avantatges i inconvenients.....	33
2.2.5 Implantació de l'agricultura de precisió.....	34
2.2.5.1 Implantació de l'agricultura de precisió al món.....	35
2.2.5.2 Implantació de la agricultura de precisió a Espanya.....	39
2.3 Agricultura de precisió en conreus fruiters.....	44
2.3.1 Fructicultura de precisió.....	45
2.3.2 Viticultura de precisió.....	47
2.3.3 Citricultura de precisió.....	49
2.3.4 Agricultura de precisió en altres conreus.....	51
2.4 Agricultura de precisió i aplicació de fitosanitaris.....	53
2.4.1 Marc normatiu de l'aplicació de fitosanitaris.....	53
2.4.2 Models d'expressió de la dosi en fructicultura.....	57
2.4.2.1 Expressió genèrica de la dosi.....	60
2.4.2.2 Expressió de la dosi en funció de la concentració del brou fitosanitari.....	62
2.4.2.3 Expressió de la dosi en funció de la superfície conreada.....	63
2.4.2.4 Expressió de la dosi en funció de l'alçada de capçada.....	64
2.4.2.5 Expressió de la dosi en funció de la superfície de paret vegetal.....	65
2.4.2.6 Expressió de la dosi en funció del volum de capçada.....	66
2.4.2.7 Expressió de la dosi en funció de la densitat foliar.....	72
2.4.2.8 Expressió de la dosi en funció de la superfície foliar.....	74
2.4.2.9 Observacions.....	79
2.4.3 Paràmetres que intervenen en l'aplicació de fitosanitaris en fructicultura.....	81
2.4.3.1 Variabilitat de la deposició.....	82
2.4.3.2 Eficiència d'aplicació.....	82
2.4.3.3 Deriva.....	83
2.4.3.4 Tècniques d'aplicació.....	84
2.4.3.5 Volum d'aplicació unitari.....	86
2.4.3.6 Paràmetres de la capçada.....	87
2.4.3.7 Mida de gota.....	88
2.4.4 Projectes sobre noves tecnologies i aplicació de fitosanitaris en fructicultura.....	89

2.4.4.1	Projecte PRECISPRAY .....	89
2.4.4.2	Projecte PULVEXACT .....	91
2.4.4.3	Projectes OPTIDOSA .....	93
2.4.4.4	Projecte ISAFRUIT .....	94
2.5	Caracterització electrònica de la vegetació i aplicació de fitosanitaris.....	96
2.5.1	Detecció de la presència de vegetació .....	96
2.5.2	Quantificació de la vegetació detectada .....	98
2.5.2.1	Conreus herbacis .....	98
2.5.2.2	Fructicultura .....	99
2.6	Evolució dels equips d'aplicació de fitosanitaris en fructicultura .....	105
2.6.1	Evolució mecànica dels equips d'aplicació .....	105
2.6.2	Evolució dels sistemes de regulació d'equips d'aplicació.....	106
2.6.2.1	Dosificació variable per a dosi uniforme .....	107
2.6.2.2	Dosificació variable selectiva .....	109
2.6.2.3	Dosificació variable proporcional .....	112
2.6.2.4	Altres usos de les noves tecnologies en l'aplicació de fitosanitaris .....	115
<b>3</b>	<b>Identificació del problema i formulació de les hipòtesis de partida .....</b>	<b>117</b>
3.1	Introducció.....	119
3.2	Identificació del problema .....	119
3.2.1	Comparativa de mètodes de dosificació.....	119
3.2.2	Observacions .....	124
3.3	Formulació de les hipòtesis de partida .....	127
<b>4</b>	<b>Objectius.....</b>	<b>129</b>
4.1	Objectiu general.....	131
4.2	Objectius específics.....	131
<b>5</b>	<b>Desenvolupament del mètode dinàmic de dosificació .....</b>	<b>133</b>
5.1	Introducció.....	135
5.2	Mètode de dosificació.....	135
5.2.1	Mètode 1 de dosificació .....	135
5.2.2	Mètode 2 de dosificació .....	137
5.2.3	Observacions .....	139
<b>6</b>	<b>Caracterització de la capçada en temps real.....</b>	<b>143</b>
6.1	Introducció.....	145
6.2	Materials i mètodes .....	145
6.2.1	Metodologia general .....	145
6.2.2	Sensors per a la caracterització de la capçada .....	146
6.2.2.1	Sensors d'ultrasons .....	146
6.2.2.2	Sensor lidar .....	147
6.2.3	Adquisició de dades i processament de la informació.....	149
6.2.3.1	Sistema d'adquisició i monitoratge basat en ordinador .....	149
6.2.3.2	Sistema d'adquisició i monitoratge basat en PAC .....	154
6.2.4	Assajos de calibratge dels sensors d'ultrasons en laboratori.....	159
6.2.5	Assajos de calibratge dels sensors d'ultrasons en camp .....	161
6.2.6	Algorismes d'estimació del volum de capçada.....	166
6.2.6.1	Sensors d'ultrasons .....	166
6.2.6.2	Sensors lidar .....	170
6.2.7	Determinació de la resolució horitzontal de mostratge.....	174
6.2.8	Assajos de caracterització de la capçada.....	175
6.2.8.1	Caracterització amb sensors d'ultrasons .....	175
6.2.8.2	Caracterització amb sensor lidar.....	181
6.2.8.3	Assaig comparatiu amb sensors ultrasònics i lidar .....	183
6.3	Resultats i discussió .....	184
6.3.1	Assajos de calibratge dels sensors d'ultrasons en laboratori.....	184
6.3.1.1	Anàlisi global.....	184
6.3.1.2	Estadística descriptiva .....	185
6.3.1.3	Calibratge de 45 cm a 300 cm.....	187
6.3.1.3.1	Sensor 1 .....	187
6.3.1.3.2	Sensor 2 .....	188

6.3.1.3.3	Sensor 3 .....	189
6.3.1.4	Calibratge de 45 cm a 240 cm .....	190
6.3.2	Assajos de calibratge dels sensors d'ultrasons en camp .....	191
6.3.2.1	Assaig d'interferències .....	192
6.3.2.2	Assaig de calibratge .....	193
6.3.3	Determinació de la resolució horitzontal de mostratge .....	195
6.3.4	Assajos de caracterització de la capçada en temps real .....	200
6.3.4.1	Sensors d'ultrasons .....	200
6.3.4.1.1	Caracterització d'una plantació de perers 'Conference' .....	201
6.3.4.1.2	Caracterització d'una plantació de pomers 'Golden Delicious' .....	208
6.3.4.1.3	Caracterització d'una plantació de perers 'Conference' amb 3 sensors .....	212
6.3.4.1.4	Caracterització d'una plantació de pomers 'Top red' amb 3 sensors .....	214
6.3.4.2	Caracterització d'una plantació de perers 'Conference' amb sensor lidar .....	217
6.3.4.2.1	Anàlisi de la capçada i de la repetibilitat dels sensors .....	217
6.3.4.2.2	Comparació entre volums obtinguts de semiseccions reals i contornejades .....	222
6.3.4.3	Caracterització de capçades amb sensors d'ultrasons i lidar .....	225
6.4	Conclusions particulars referents a la caracterització de la capçada .....	229
6.5	Possibles millores del sistema de caracterització de la capçada .....	230
<b>7</b>	<b>Disseny i implementació del prototipus de polvoritzador amb dosificació variable en temps real .....</b>	<b>233</b>
7.1	Introducció .....	235
7.2	Anàlisi i disseny del sistema .....	235
7.3	Implementació dels prototipus .....	236
7.3.1	Polvoritzadors utilitzats .....	236
7.3.1.1	Prototipus Fluxpro 1 .....	237
7.3.1.2	Prototipus Fluxpro 2 .....	238
7.3.2	Electrovàlvula de cabal variable .....	239
7.3.3	Antidegotejos i electrovàlvules de tall .....	241
7.3.4	Cabalímetres .....	243
7.3.5	Sistemes de control, regulació i monitoratge .....	244
7.3.5.1	Sistema de control basat en ordinador .....	244
7.3.5.2	Sistema de control basat en PAC .....	247
7.4	Validació del prototipus .....	252
7.4.1	Validació del prototipus Fluxpro 1 en laboratori .....	253
7.4.2	Validació del prototipus Fluxpro 2 en laboratori .....	256
7.4.3	Validació del prototipus Fluxpro 1 en camp .....	259
7.4.4	Validació del prototipus Fluxpro 2 en camp .....	261
7.5	Resultats i discussió .....	263
7.5.1	Validació del prototipus Fluxpro 1 en laboratori .....	263
7.5.2	Validació del prototipus Fluxpro 2 en laboratori .....	270
7.5.3	Validació del prototipus Fluxpro 1 en camp .....	279
7.5.4	Validació del prototipus Fluxpro 2 en camp .....	286
7.6	Conclusions particulars referents a la implementació del prototipus .....	291
7.7	Possibles millores del prototipus de polvorització variable .....	292
<b>8</b>	<b>Assajos de validació del mètode de dosificació .....</b>	<b>295</b>
8.1	Introducció .....	297
8.2	Materials i mètodes .....	297
8.2.1	Assajos i tractaments .....	297
8.2.2	Configuració dels polvoritzadors .....	297
8.2.3	Característiques i dimensions de les plantacions .....	297
8.2.4	Dades meteorològiques .....	298
8.2.5	Tècnica d'assaig i traçadors emprats .....	299
8.2.5.1	Disseny experimental .....	301
8.2.5.1.1	Disposició de l'assaig .....	301
8.2.5.1.2	Estratègia de mostratge dels blocs .....	301
8.2.5.1.3	Protocol d'assaig .....	304
8.2.5.1.4	Adaptacions del prototipus Fluxpro 2 .....	305
8.2.6	Anàlisi de les dades i expressió dels resultats .....	306
8.2.6.1	Determinació de les deposicions .....	306
8.2.6.2	Comparació dels tractaments .....	307



8.2.6.3	Anàlisi de la qualitat dels tractaments .....	308
8.2.6.3.1	Deposició foliar teòrica òptima .....	309
8.2.6.3.2	Anàlisi de la relació entre deposició foliar i coeficients d'aplicació .....	309
8.2.6.3.3	Anàlisi de la variància de la deposició foliar .....	310
8.2.6.3.4	Deposició a terra .....	311
8.2.6.4	Anàlisi de dosis, eficiències d'aplicació i pèrdues.....	311
8.2.6.4.1	Dosi aplicada.....	311
8.2.6.4.2	Eficiència d'aplicació.....	312
8.2.6.4.3	Pèrdues dels tractaments.....	312
8.2.7	Dades específiques dels assajos realitzats.....	314
8.2.7.1	ASSAIG 1 realitzat a la cultivar 'Conference' l'any 2001 .....	314
8.2.7.2	ASSAIG 2 realitzat a la cultivar 'Golden' l'any 2002.....	314
8.2.7.3	ASSAIG 3 realitzat a la cultivar 'Conference' l'any 2005.....	315
8.2.7.4	ASSAIG 4 realitzat a la cultivar 'Top Red' l'any 2005 .....	316
8.2.7.5	ASSAIG 5 realitzat a la cultivar 'Conference' l'any 2006.....	316
8.3	Resultats i discussió .....	319
8.3.1	ASSAIG 1 realitzat a la cultivar 'Conference' l'any 2001 .....	319
8.3.1.1	Dades meteorològiques .....	319
8.3.1.2	Anàlisi de la capçada i dels volums aplicats .....	319
8.3.1.3	Anàlisi de la deposició foliar .....	321
8.3.1.3.1	Anàlisi de la variància del conjunt de mostres de deposició foliar .....	323
8.3.1.3.2	Anàlisi de la variància de les deposicions foliars del tractament TC .....	323
8.3.1.3.3	Anàlisi de la variància de les deposicions foliars del tractament TV+14% .....	324
8.3.1.3.4	Resum gràfic de la deposició foliar.....	325
8.3.1.4	Anàlisi de la deposició a terra.....	327
8.3.1.5	Anàlisi de les dosis aplicades .....	328
8.3.1.6	Anàlisi de l'eficiència d'aplicació i les pèrdues dels tractaments .....	328
8.3.2	ASSAIG 2 realitzat a la cultivar 'Golden Delicious' l'any 2002 .....	331
8.3.2.1	Dades meteorològiques .....	331
8.3.2.2	Anàlisi de la capçada i dels volums aplicats .....	331
8.3.2.3	Anàlisi de la deposició foliar .....	333
8.3.2.3.1	Anàlisi de la variància del conjunt de mostres de deposició foliar .....	336
8.3.2.3.2	Anàlisi de la variància de les deposicions foliars del tractament TC .....	336
8.3.2.3.3	Anàlisi de la variància de les deposicions foliars del tractament TV50 .....	338
8.3.2.3.4	Resum gràfic de la deposició foliar.....	340
8.3.2.4	Anàlisi de la deposició a terra.....	341
8.3.2.5	Anàlisi de les dosis aplicades .....	342
8.3.2.6	Anàlisi de l'eficiència d'aplicació i les pèrdues dels tractaments .....	343
8.3.3	ASSAIG 3 realitzat a la cultivar 'Conference' l'any 2005 .....	345
8.3.3.1	Dades meteorològiques .....	345
8.3.3.2	Anàlisi de la capçada i dels volums aplicats .....	345
8.3.3.3	Anàlisi de la deposició foliar .....	349
8.3.3.3.1	Anàlisi de la variància del conjunt de mostres de deposició foliar .....	350
8.3.3.3.2	Anàlisi de la variància de les deposicions foliars del tractament TC .....	352
8.3.3.3.3	Anàlisi de la variància de les deposicions foliars del tractament TV35+48%.....	353
8.3.3.3.4	Anàlisi de la variància de les deposicions foliars del tractament TV40+4% .....	355
8.3.3.3.5	Resum gràfic de la deposició foliar.....	356
8.3.3.4	Anàlisi de la deposició a terra.....	357
8.3.3.5	Anàlisi de les dosis aplicades .....	358
8.3.3.6	Anàlisi de les eficiències d'aplicació.....	358
8.3.4	ASSAIG 4 realitzat a la cultivar 'Top red' l'any 2005.....	361
8.3.4.1	Dades meteorològiques .....	361
8.3.4.2	Anàlisi de la capçada i dels volums aplicats .....	361
8.3.4.3	Anàlisi de la deposició foliar .....	363
8.3.4.3.1	Anàlisi de la variància del conjunt de mostres de deposició foliar .....	366
8.3.4.3.2	Anàlisi de la variància de les deposicions foliars del tractament TC .....	367
8.3.4.3.3	Anàlisi de la variància de les deposicions foliars del tractament TV30+46%.....	369
8.3.4.3.4	Anàlisi de la variància de les deposicions foliars del tractament TV40 .....	370
8.3.4.3.5	Resum gràfic de la deposició foliar.....	370
8.3.4.4	Anàlisi de la deposició a terra.....	372

8.3.4.5 Anàlisi de les dosis aplicades .....	373
8.3.4.6 Anàlisi de les eficiències d'aplicació.....	373
8.3.4.7 Observacions al tractament variable TV40.....	375
8.3.5 ASSAIG 5 realitzat a la cultivar 'Conference' l'any 2006 .....	377
8.3.5.1 Dades meteorològiques .....	377
8.3.5.2 Anàlisi de la capçada i dels volums aplicats.....	377
8.3.5.3 Anàlisi de la deposició foliar .....	380
8.3.5.3.1 Anàlisi de la variància del conjunt de mostres de deposició foliar .....	381
8.3.5.3.2 Anàlisi de la variància de les deposicions foliars del tractament TC .....	382
8.3.5.3.3 Anàlisi de la variància de les deposicions foliars del tractament TV125+85% .....	384
8.3.5.3.4 Resum gràfic de la deposició foliar.....	385
8.3.5.4 Anàlisi de la deposició a terra.....	386
8.3.5.5 Anàlisi de les dosis aplicades .....	386
8.3.5.6 Anàlisi de les eficiències d'aplicació.....	387
8.4 Anàlisi conjunta dels tractaments.....	389
8.4.1 Interpretació dels indicadors comparatius.....	389
8.4.2 Quant a la deposició aconseguida .....	390
8.4.3 Quant a la dosi aplicada i les pèrdues de producte fitosanitari .....	390
8.4.4 Quant a la variabilitat de les deposicions.....	392
8.4.5 Quant al comportament dels prototipus .....	392
8.5 Conclusions particulars referents als assajos de validació.....	393
<b>9 Conclusions generals.....</b>	<b>395</b>
<b>10 Futurs desenvolupaments.....</b>	<b>399</b>
10.1 Introducció.....	401
10.2 Desenvolupaments a curt termini.....	401
10.2.1 Aplicació de la tecnologia a d'altres conreus.....	401
10.2.2 Traçabilitat de les aplicacions de productes fitosanitaris .....	401
10.2.3 Tractaments en base a mapes digitals d'aplicació.....	401
10.2.4 Fusió de metodologies basades en mapes i en sensors en temps real .....	402
10.3 Desenvolupaments a mig termini .....	402
10.3.1 Dosificació a partir de la superfície foliar estimada .....	402
10.4 Desenvolupaments a llarg termini .....	403
<b>Referències bibliogràfiques .....</b>	<b>405</b>



# Índex de figures

Figura 1.1.- Distribució de la superfície agrícola i produccions obtingudes segons conreus a Catalunya l'any 2008 (font: <i>Estadístiques Agràries 2008</i> , Gabinet Tècnic del DAR, <a href="http://www20.gencat.cat/portal/site/DAR">http://www20.gencat.cat/portal/site/DAR</a> ). .....	1
Figura 1.2.- Distribució de les superfícies de conreus arboris de fruita fresca en producció (ha) a Catalunya l'any 2008 (esquerra; font: <i>Estadístiques agràries 2008</i> , DAR, <a href="http://www20.gencat.cat/portal/site/DAR">http://www20.gencat.cat/portal/site/DAR</a> ) i distribució espacial de la superfície de fruita fresca a Catalunya (dreta; font: <i>Informe anual 2008</i> , Observatori de la fruita fresca, DAR, <a href="http://www20.gencat.cat/portal/site/DAR">http://www20.gencat.cat/portal/site/DAR</a> ). .....	1
Figura 1.3.- Superfícies de conreus fruiters en producció i produccions obtingudes a Catalunya l'any 2008 (font: <i>Estadístiques Agràries 2008</i> , Gabinet Tècnic del DAR, <a href="http://www20.gencat.cat/portal/site/DAR">http://www20.gencat.cat/portal/site/DAR</a> ). .....	2
Figura 1.4.- Superfícies en producció i produccions obtingudes a Espanya l'any 2007 (font: <i>Anuario de Estadística 2008</i> , MARM, <a href="http://www.mapa.es/es/estadistica/pags/anuario/introduccion.htm">http://www.mapa.es/es/estadistica/pags/anuario/introduccion.htm</a> ). .....	2
Figura 1.5.- Producció de poma i pera a Europa i a Catalunya l'any 2007 (font: <i>Informe anual 2008</i> , Observatori de la fruita fresca, DAR, <a href="http://www20.gencat.cat/portal/site/DAR">http://www20.gencat.cat/portal/site/DAR</a> ). .....	2
Figura 1.6.- Rendiments dels conreus pomers, perers, presseguers i nectariners en els regadius de Catalunya l'any 2008 (font: <i>Estadístiques Agràries 2008</i> , Gabinet Tècnic del DAR, <a href="http://www20.gencat.cat/portal/site/DAR">http://www20.gencat.cat/portal/site/DAR</a> ). ...	3
Figura 1.7.- Evolució del consum unitari de productes fitosanitaris a Espanya de l'any 1990 al 2007 (font: Banco público de indicadores ambientales del Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, <a href="http://www.mma.es/portal/secciones/calidad_contaminacion/indicadores_ambientales/banco_publico_ia/indicadores.htm">http://www.mma.es/portal/secciones/calidad_contaminacion/indicadores_ambientales/banco_publico_ia/indicadores.htm</a> ). .....	3
Figura 2.1.- Cicle de l'agricultura de precisió basada en mapes digitals d'informació (font: McBratney i Whelan, 2001). .....	13
Figura 2.2.- Estimació de la superfície comercial dels Estats Units utilitzant monitors de collita i sistemes de guiatge (font: Whipker i Akridge, 2009). .....	36
Figura 2.3.- Diferents mètodes per a determinar el volum de la fila: a) Mètode <i>TRV</i> ( <i>Tree Row Volume</i> ) utilitzat als Estats Units; b) Mètode <i>TRV</i> utilitzat a Suïssa; c) Mètode <i>TRV</i> amb més resolució proposat per Manktelow i Praat (1997); d) Simulació del resultat que es podria aconseguir amb l'ús de tècniques sensorials d'alta resolució. ...	68
Figura 2.4.- Pictograma elaborat amb un sensor lidar per a determinar el factor d'ajust del conreu (CAF) en el model de dosificació PACE proposat al Regne Unit (font: Anònim, 2002). .....	73
Figura 2.5.- Diagrama orientatiu per a la determinació de la densitat d'impactes en funció del tipus de producte (font: Dropdata, 2007). .....	77
Figura 2.6.- Esquema de la distribució del brou fitosanitari aplicat a una fila d'una plantació fructícola (adaptada de Planas i Pons, 1991). .....	81
Figura 3.1.- Fragment de l'etiqueta del producte Confidor (Bayer CropScience AG, Monheim am Rhein, Alemanya) en la seva versió alemanya (font: <a href="http://www.bayercropscience.com">www.bayercropscience.com</a> ). .....	120
Figura 3.2.- Fragment de l'etiqueta del producte Confidor (Bayer CropScience AG, Monheim am Rhein, Alemanya) en la seva versió australiana (font: <a href="http://www.bayercropscience.com">www.bayercropscience.com</a> ). .....	120
Figura 3.3.- Fragment de l'etiqueta del producte Confidor (Bayer CropScience AG, Monheim am Rhein, Alemanya) en la seva versió austríaca (font: <a href="http://www.bayercropscience.com">www.bayercropscience.com</a> ). .....	121
Figura 3.4.- Fragment de l'etiqueta del producte Confidor (Bayer CropScience AG, Monheim am Rhein, Alemanya) en la seva versió belga (font: <a href="http://www.bayercropscience.com">www.bayercropscience.com</a> ). .....	121
Figura 3.5.- Fragment de l'etiqueta del producte Confidor (Bayer CropScience AG, Monheim am Rhein, Alemanya) en la seva versió espanyola (font: <a href="http://www.bayercropscience.com">www.bayercropscience.com</a> ). .....	121
Figura 3.6.- Fragment de l'etiqueta del producte Confidor (Bayer CropScience AG, Monheim am Rhein, Alemanya) en la seva versió francesa (font: <a href="http://www.bayercropscience.com">www.bayercropscience.com</a> ). .....	122
Figura 3.7.- Fragment de l'etiqueta del producte Confidor (Bayer CropScience AG, Monheim am Rhein, Alemanya) en la seva versió suïssa (font: <a href="http://www.bayercropscience.com">www.bayercropscience.com</a> ). .....	122
Figura 3.8.- Histograma de freqüències absolutes i diagrama de caixa representant la distribució dels valors de les dosis a aplicar en una plantació fictícia a partir de les etiquetes del mateix producte comercialitzat en països diferents. La línia verda del diagrama de caixa representa el valor de la mitjana de les dosis obtingudes. ....	123
Figura 5.1.- Esquema d'una plantació amb la indicació de l'amplada de carrer (a), l'alçada d'arbre (B), l'alçada de capçada (b), l'amplada de capçada (C), la semiampçada de capçada (c), la secció transversal (S) i la semisecció transversal (s). .....	137
Figura 6.1.- Principi del sistema de caracterització de la capçada en temps real. ....	145
Figura 6.2.- Sensor d'ultrasons piezoelèctric model Sonar Bero M30 K3 (Siemens AG, Munic, Alemanya) utilitzat en els treballs de caracterització de la capçada (font: <a href="http://www.siemens.com">www.siemens.com</a> ). .....	147

Figura 6.3.- Sensor lidar model LMS 200 (Sick AG, Waldkirch, Alemanya) utilitzat en els treballs de caracterització de la capçada (font: www.sick.com) .....	148
Figura 6.4.- Esquema del procés d'adquisició de dades i processament de la informació del sistema de caracterització de la capçada desenvolupat a la primera etapa .....	150
Figura 6.5.- Encapsulat d'un mòdul NuDAM (font: www.adlinktech.com).....	150
Figura 6.6.- Diagrama de flux del procés per a la interrogació del mòdul NuDAM-6017 d'adquisició de senyals analògics genèrics per a conèixer el voltatge adquirit al canal X (elaborat d'acord amb la simbologia ANSI). .....	152
Figura 6.7.- Programa de control per a l'adquisició del voltatge connectat al canal 0 del mòdul NuDAM-6017. a) Panell frontal de l'aplicació; b) Diagrama de blocs mostrant la seqüència 0, on s'elabora el telegrama d'interrogació; c) Diagrama de blocs mostrant la seqüència 1, on es visualitza el telegrama resposta; *) Subinstrument virtual per a la gestió de la comunicació amb el port sèrie RS-232. ....	153
Figura 6.8.- Programa de control per a la gestió de la comunicació amb el port sèrie de l'ordinador identificat amb el símbol * a la Figura 6.7. a) Panell frontal de l'aplicació; b) Diagrama de blocs mostrant la seqüència 0, on es configura el port de comunicacions; c) Diagrama de blocs mostrant la seqüència 1; d) Diagrama de blocs mostrant la seqüència 2; e) Diagrama de blocs mostrant la seqüència 3. ....	154
Figura 6.9.- Compact FieldPoint (National Instruments, Austin, Estats Units) utilitzat per a l'adquisició i monitoratge dels sensors utilitzats en la caracterització de la capçada. ....	155
Figura 6.10.- Esquema del procés d'adquisició de dades i processament de la informació del sistema de caracterització de la capçada desenvolupat a la primera etapa. ....	155
Figura 6.11.- Diagrama de flux del procés de comunicació entre el cFP i el sensor lidar per a la seva configuració, sol·licitud d'escaneig i posterior interpretació de la informació rebuda (elaborat d'acord amb la simbologia ANSI). ....	156
Figura 6.12.- Programa de control per a la gestió de la comunicació entre el lidar i el cFP mitjançant el port sèrie. a) Panell frontal; b) Diagrama de blocs amb els subinstruments 1 i 2. En aquest instrument es configura el port de comunicacions i el sensor lidar (subinstrument 1), se li demana un escaneig i se n'interpreta la resposta (subinstrument 2). ....	157
Figura 6.13.- Subinstrument marcat com a 1 a la Figura 6.12 amb el seu panell frontal (a) i el seu diagrama de blocs (b). Aquest subinstrument és l'encarregat de canviar la configuració del sensor lidar enviant els telegrams corresponents per a que treballi correctament a una velocitat de transferència de 38.400 bauds. ....	157
Figura 6.14.- Subinstrument marcat com a 2 a la Figura 6.12 amb el seu panell frontal (a) i el seu diagrama de blocs (b). Aquest subinstrument és l'encarregat de sol·licitar un escaneig simple al sensor lidar enviant el telegrama corresponent i interpretar la resposta mitjançant el subinstrument 3. ....	158
Figura 6.15.- Subinstrument marcat com a 3 a la Figura 6.14 amb el seu panell frontal (a) i el seu diagrama de blocs (b). Aquest subinstrument s'encarrega d'analitzar la resposta en caràcters ASCII generada pel sensor lidar per a extreure'n una matriu amb les distàncies mesurades per a cada angle i convertir aquesta informació de coordenades polars a cartesianes. ....	158
Figura 6.16.- Disposició de l'assaig de calibratge dels sensors d'ultrasons en laboratori. ....	159
Figura 6.17.- Diagrama de flux de l'aplicació dissenyada per a la realització de l'assaig de calibratge dels sensors d'ultrasons en laboratori.....	160
Figura 6.18.- Localització de la parcel·la on es van realitzar els assajos de calibratge i d'anàlisi d'interferències dins del campus de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària de la Universitat de Lleida, a Lleida (font: ICC). ....	162
Figura 6.19.- Plataforma mòbil (a) i diferents etapes (b, c, d i e) de l'assaig de calibratge de sensors d'ultrasons en camp. ....	164
Figura 6.20.- Diagrames de flux de les aplicacions dissenyades per al calibratge (a) i anàlisi d'interferències (b) dels sensors d'ultrasons en camp. ....	165
Figura 6.21.- Panell frontal de l'aplicació per al calibratge dels sensors d'ultrasons en camp. ....	166
Figura 6.22.- Disposicions per a la determinació del volum de capçada mitjançant una plataforma mòbil amb a) 1 sensor, b) 2 sensors i c) 3 sensors d'ultrasons. La semiamplada de capçada (c) és la diferència entre la meitat del carrer i la suma de la posició del sensor (e) i la distància estimada (d). En d) es mostra l'extrusió de les semiseccions transversals estimades una distància $u$ fins a la següent lectura per a l'estimació del volum de la capçada. ....	167
Figura 6.23.- Errors teòrics de subestimació (a) i sobreestimació (b) deguts al posicionament vertical dels sensors. ....	168
Figura 6.24.- Diagrama de flux de l'algorisme per a la realització dels assajos de caracterització de la capçada amb sensors d'ultrasons.....	169
Figura 6.25.- Procés de detecció de la capçada (a i b), estimació de la semisecció transversal (c i d) i càlcul del volum de capçada instantani corresponent a un sol escaneig del sensor lidar (e i f).....	170
Figura 6.26.- Diagrama de flux de l'algorisme per a la caracterització de la capçada amb el sensor lidar. ....	171

Figura 6.27.- Seqüència del procés d'estimació de la superfície de la semisecció transversal a partir d'un escaneig realitzat amb el sensor lidar: a) representació dels punts obtinguts amb el sensor (línia blava) i projecció radial dels impactes làser llunyans a l'eix central de la fila (línia roja); b) conversió de les distàncies al sensor en semiamplades de capçada; c) representació del perfil real de la semisecció transversal de la capçada amb el descart de les zones superior i inferior (línia verda) i ajust d'un contorn suavitzat (línia groga).....	172
Figura 6.28.- Emplaçament de la parcel·la de <i>Malus domestica</i> , Borkhausen cv. 'Golden Delicious' que l'Estació Experimental de Lleida de l'Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries té a Gimennells on es van dur a terme les mesures de la capçada per a determinar la resolució horitzontal de mostratge (font: ICC). .....	174
Figura 6.29.- Emplaçament de les parcel·les de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' i de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Golden Delicious' que l'Estació Experimental de Lleida de l'Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries té a Gimennells on es van dur a terme els assajos de caracterització de la variabilitat de la capçada els anys 2001 i 2002 (font: ICC).....	176
Figura 6.30.- Imatge de les parcel·les de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' (esquerra) i de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Golden Delicious' (dreta) en la que es van realitzar els assajos de caracterització de la capçada amb dos sensors d'ultrasons els anys 2001 i 2002. ....	176
Figura 6.31.- Muntatge inicial dels sensors en un polvoritzador hidropneumàtic suspès a mode de plataforma mòbil amb el que es van realitzar els primers assajos de caracterització de la capçada l'any 2001.....	177
Figura 6.32.- Muntatge definitiu dels tres sensors en un polvoritzador hidropneumàtic arrossegat amb el que es van realitzar els assajos de caracterització de la capçada l'any 2005. ....	179
Figura 6.33.- Emplaçament de les parcel·les de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' i de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Golden Delicious' que l'Estació Experimental de Lleida de l'Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries té a Gimennells on es van dur a terme els assajos de caracterització de la variabilitat de la capçada l'any 2005 (font: ICC). ....	179
Figura 6.34.- Imatge de les parcel·les de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' i de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Top Red' en la que es van realitzar els assajos de caracterització de la capçada amb tres sensors d'ultrasons l'any 2005. ....	180
Figura 6.35.- Detall del muntatge per a la caracterització de la capçada amb els tres sensors ultrasònics i el sensor lidar en un polvoritzador hidropneumàtic arrossegat amb el que es va realitzar l'assaig de caracterització de la capçada l'any 2006.....	182
Figura 6.36.- Diagrames de caixa de les mostres de resposta dels sensors d'ultrasons de l'assaig de calibratge en laboratori de tres sensors d'ultrasons entre 45 cm i 300 cm. En aquesta i la resta dels diagrames de caixa, les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les línies horitzontals roges representen els diferents quartils de les mostres. ....	185
Figura 6.37.- Diagrama de dispersió dels voltatges generats pel Sensor 1 en laboratori (esquerra) i diagrama de residus de les distàncies predites a partir dels voltatges generats (dreta) per a distàncies entre 45 cm i 300 cm. ....	187
Figura 6.38.- Diagrama de dispersió dels voltatges generats pel Sensor 2 en laboratori (esquerra) i diagrama de residus de les distàncies predites a partir dels voltatges generats (dreta) per a distàncies entre 45 cm i 300 cm. ....	188
Figura 6.39.- Diagrama de dispersió dels voltatges generats pel Sensor 3 en laboratori (esquerra) i diagrama de residus de les distàncies predites a partir dels voltatges generats (dreta) per a distàncies entre 45 cm i 300 cm. ....	189
Figura 6.40.- Diagrames de dispersió de lectures d'un sensor d'ultrasons sense interferències i lectures del mateix sensors preses simultàniament amb dos sensors més a $\pm 30$ cm (esquerra) i amb dos sensors més a $\pm 60$ cm (dreta). La línia gris representa la bisectriu del quadrant. ....	192
Figura 6.41.- Diagrama de dispersió dels voltatges generats pel sensor d'ultrasons a diferents distàncies del fullatge (esquerra) i diagrama de residus de les distàncies predites a partir dels voltatges generats (dreta) durant l'assaig de calibratge en camp.....	193
Figura 6.42.- Diagrama de dispersió dels voltatges generats pel sensor d'ultrasons a diferents distàncies del blanc artificial (esquerra) i diagrama de residus de les distàncies predites a partir dels voltatges generats (dreta) durant l'assaig de calibratge en camp. ....	194
Figura 6.43.- Diagrama de dispersió de les semiseccions transversals al llarg d'una fila d'arbres amb diferents resolucions de mostratge (1,68 cm/mostra i 4,97 cm/mostra).....	196
Figura 6.44.- Diagrama de dispersió de les semiseccions transversals al llarg d'una fila d'arbres amb diferents resolucions de mostratge (1,68 cm/mostra i 10,09 cm/mostra).....	196
Figura 6.45.- Diagrama de dispersió de les semiseccions transversals al llarg d'una fila d'arbres amb diferents resolucions de mostratge (1,68 cm/mostra i 19,88 cm/mostra).....	197
Figura 6.46.- Diagrama de dispersió de les semiseccions transversals al llarg d'una fila d'arbres amb diferents resolucions de mostratge (1,68 cm/mostra i 29,87 cm/mostra).....	197

Figura 6.47.- Diagrames de caixa de les vuit mostres de semiseccions transversals preses a diferents resolucions de mostratge entre 1,68 cm/mostra i 29,87 cm/mostra. Les rectes verdes representen les mitjanes mostrals, la recta gris representa la mitjana global i les rectes horitzontals roges representen els diferents quartils de les mostres. ....	198
Figura 6.48.- Diagrama de dispersió de les repeticions per a la determinació de les semiamplades de capçada amb el Sensor 1 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference'.....	201
Figura 6.49.- Diagrames de caixa de les repeticions per a la determinació de les semiamplades de capçada amb el Sensor 1 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference'. Les rectes verdes representen les mitjanes mostrals, la recta gris representa la mitjana global i les rectes horitzontals roges representen els diferents quartils mostrals. ....	202
Figura 6.50.- Diagrama de dispersió de la repetició 1 i de la repetició 2 corregida per a la determinació de les semiamplades de capçada amb el Sensor 1 des del costat esquerre en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference'.....	203
Figura 6.51.- Diagrames de caixa de les repeticions per a la determinació de les semiamplades de capçada amb el Sensor 1 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' amb la repetició 2 corregida. Les rectes verdes representen les mitjanes mostrals, la recta gris representa la mitjana global i les rectes horitzontals roges representen els diferents quartils mostrals. ....	204
Figura 6.52.- Diagrama de dispersió de les repeticions per a la determinació de les semiamplades de capçada amb el Sensor 2 des del costat esquerre en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference'. ....	204
Figura 6.53.- Diagrames de caixa de les repeticions per a la determinació de les semiamplades de capçada amb el Sensor 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference'. Les rectes verdes representen les mitjanes mostrals, la recta gris representa la mitjana global i les rectes horitzontals roges representen els diferents quartils mostrals. ....	205
Figura 6.54.- Diagrama de dispersió de la repetició 1 i de la repetició 2 corregida per a la determinació de les semiamplades de capçada amb el Sensor 2 des del costat esquerre en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference'.....	206
Figura 6.55.- Diagrames de caixa de les repeticions per a la determinació de les semiamplades de capçada amb el Sensor 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' amb la repetició 2 corregida. Les rectes verdes representen les mitjanes mostrals, la recta gris representa la mitjana global i les rectes horitzontals roges representen els diferents quartils mostrals. ....	206
Figura 6.56.- Diagrames de caixa de les mostres de volums de capçada estimats amb 1 o amb 2 sensors des del costat esquerre (esquerra) i des del dret (dreta) en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference'. Les rectes verdes representen les mitjanes mostrals, la recta gris representa la mitjana global i les rectes horitzontals roges representen els diferents quartils mostrals. ....	207
Figura 6.57.- Diagrama de dispersió de les repeticions per a la determinació de les semiamplades de capçada amb el Sensor 1 des del costat esquerre en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Golden Delicious'. ....	209
Figura 6.58.- Diagrama de dispersió de les repeticions per a la determinació de les semiamplades de capçada amb el Sensor 2 des del costat esquerre en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Golden Delicious'. ....	209
Figura 6.59.- Diagrames de caixa de les mostres de volums de capçada estimats amb 1 o amb 2 sensors des del costat esquerre (esquerra) i des del dret (dreta) en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Golden Delicious'. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les línies horitzontals roges representen els diferents quartils de les mostres. ....	210
Figura 6.60.- Diagrama de dispersió dels volums instantanis de capçada estimat amb tres sensors d'ultrasons des del costat esquerre en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference'. ....	212
Figura 6.61.- Diagrames de caixa i histogrames de les mostres de volums instantanis de capçada realitzades amb tres sensors d'ultrasons des del costat esquerre i des del dret en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference'. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les línies horitzontals roges representen els diferents quartils de les mostres. ....	213
Figura 6.62.- Diagrama de dispersió dels volums instantanis de capçada estimat amb tres sensors d'ultrasons des del costat esquerre en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Top red'.....	215
Figura 6.63.- Diagrames de caixa i histogrames de les mostres de volums instantanis de capçada realitzades amb tres sensors d'ultrasons des del costat esquerre i des del dret en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Top red'. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les línies horitzontals roges representen els diferents quartils de les mostres. ....	215
Figura 6.64.- Diagrama de dispersió de les repeticions per a la determinació dels volums instantanis de capçada amb el sensor lidar des del costat esquerre en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference'. ....	217
Figura 6.65.- Diagrames de caixa i histogrames de les repeticions per a la determinació dels volums instantanis de capçada amb el sensor lidar des del costat esquerre en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference'. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les línies horitzontals roges representen els diferents quartils de les mostres. ....	218

Figura 6.66.- Diagrama de dispersió de les repeticions per a la determinació dels volums instantanis de capçada amb el sensor lidar des del costat esquerre en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' amb la repetició 2 corregida. ....	219
Figura 6.67.- Diagrames de caixa i histogrames de les repeticions per a la determinació dels volums instantanis de capçada amb el sensor lidar des del costat esquerre en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' amb la repetició 2 corregida. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les línies horitzontals roges representen els diferents quartils de les mostres. ....	220
Figura 6.68.- Diagrama de dispersió de les repeticions per a la determinació dels volums instantanis de capçada amb el sensor lidar des del costat dret en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference'. ....	221
Figura 6.69.- Diagrames de caixa i histogrames de les repeticions per a la determinació dels volums instantanis de capçada amb el sensor lidar des del costat dret en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference'. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les línies horitzontals roges representen els diferents quartils de les mostres. ....	222
Figura 6.70.- Diagrama de dispersió de les estimacions dels volums instantanis de capçada realitzades amb el sensor lidar a partir de semiseccions reals (R) i de semiseccions suavitzades o contornejades (C) des del costat esquerre i des del dret en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference'. ....	223
Figura 6.71.- Diagrama de dispersió dels volums instantanis de capçada de capçada estimats amb el sensor lidar des del costat esquerre en la repetició 1 a partir de les semiseccions reals (R) i de les semiseccions reals contornejades (C) (esquerra) i diagrama de residus dels volums instantanis contornejats a partir reals (dreta) en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference'. La línia gris representa la bisectriu del quadrant. ....	224
Figura 6.72.- Diagrama de dispersió de les estimacions de volum de capçada realitzades amb el sensor lidar a partir de semiseccions reals (R) i de semiseccions suavitzades o contornejades (C) i amb els sensors d'ultrasons (US) des del costat esquerre i des del dret en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference'. ....	226
Figura 6.73.- Diagrames de caixa i histogrames dels volums instantanis de capçada estimats amb el sensor lidar, a partir de les semiseccions reals (R) i contornejades (C), i amb els sensors d'ultrasons des del costat esquerre en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference'. ....	227
Figura 6.74.- Diagrama de dispersió dels volums instantanis de capçada estimats amb el sensor lidar a partir de les semiseccions reals (R) i amb els sensors d'ultrasons des del costat esquerre en la repetició 1 (esquerra) i diagrama de residus dels volums instantanis estimats (dreta) en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference'. La línia gris representa la bisectriu del quadrant. ....	228
Figura 7.1.- Imatge del prototipus Fluxpro 1 muntat sobre un polvoritzador hidropneumàtic suspès (esquerra) i esquema del circuit hidràulic (dreta). A l'esquema s'hi indiquen els elements principals tals com els sensors d'ultrasons 1 i 2 (SU1 i SU2), filtres (F), bomba (B), regulador (R), distribuïdor principal (D), cabalímetre (C), manòmetres (M), transductor de pressió (TP), electrovàlvules proporcionals 1 i 2 per a la variació del cabal (EV1 i EV2), vàlvules manuals per a la selecció de mode de treball variable i convencional (V1 i V2) i antidegotejos (A). ....	237
Figura 7.2.- Esquema hidràulic del prototipus Fluxpro 2 on es mostren les modificacions realitzades en l'arc de polvorització dret per a poder realitzar tractaments en mode variable o en mode convencional. A l'esquema s'hi indiquen els elements principals tals com filtres (F), bomba (B), regulador (R), distribuïdors 1 i 2 (D1 i D2), cabalímetre (C), transductor de pressió (TP), vàlvules de seccionament (Vs), electrovàlvules de tall (Vti), electrovàlvules proporcionals (EVi) i antidegotejos (A). ....	239
Figura 7.3.- Esquema de l'electrovàlvula proporcional (esquerra) i diagrama de la seva secció transversal (dreta) amb la indicació dels diferents components que la integren (font: <a href="http://www.ascojoucomatic.com">www.ascojoucomatic.com</a> ). ....	240
Figura 7.4.- Detall del seccionament de l'arc de polvorització i del muntatge de l'electrovàlvula al prototipus Fluxpro 1. ....	241
Figura 7.5.- Esquema del principi de funcionament d'un antidegoteig de membrana (font: <a href="http://www.teejet.com">www.teejet.com</a> ). ....	242
Figura 7.6.- Detall del muntatge de l'electrovàlvula de tall (marró) just abans de l'electrovàlvula proporcional (negra) a l'entrada d'una de les seccions independents de l'arc de polvorització modificat. ....	242
Figura 7.7.- Detall del muntatge del cabalímetre electromagnètic al prototipus Fluxpro 1 (esquerra) i del cabalímetre de turbina muntat al prototipus Fluxpro 2. ....	243
Figura 7.8.- Diagrama de flux de l'aplicació per a la regulació del prototipus Fluxpro 1 funcionant amb 1 sensor d'ultrasons comandant dues electrovàlvules proporcionals (sistema de control I). ....	245
Figura 7.9.- Panell frontal de l'aplicació dissenyada en LabVIEW per a la regulació del prototipus Fluxpro 1 per a la modalitat de dosificació variable a partir de la informació de la capçada obtinguda amb dos sensors d'ultrasons. ....	246
Figura 7.10.- Diagrames de blocs de diferents etapes de l'aplicació desenvolupada tals com la configuració del port de comunicacions (esquerra) i l'adquisició del senyal dels sensors d'ultrasons (dreta). ....	246
Figura 7.11.- Diagrames de blocs de diferents etapes de l'aplicació desenvolupada tals com la determinació dels càlculs necessaris per a establir el cabal a polvoritzar (esquerra) i la generació i enviament del senyal de control vers les electrovàlvules (dreta). ....	247



Figura 7.12.- Caixa estanca instal·lada al prototipus Fluxpro 2 per a allotjar el sistema electrònic de regulació. A la tapa frontal es pot veure la interfície d'interacció amb l'usuari constituïda per interruptors i llums indicatius (esquerra). Dins de la caixa hi ha el dispositiu PAC i les connexions elèctriques necessàries (dreta).	247
Figura 7.13.- Panell frontal de l'aplicació dissenyada en LabVIEW per a la regulació del prototipus Fluxpro 2 per a la modalitat de dosificació variable a partir de la informació de la capçada obtinguda amb tres sensors d'ultrasons.	248
Figura 7.14.- Diagrama de flux de l'aplicació per al control i regulació del prototipus Fluxpro 2 amb sensors d'ultrasons.	251
Figura 7.15.- Diagrama de blocs de l'aplicació per al control i regulació del prototipus Fluxpro 2 amb sensors d'ultrasons.	252
Figura 7.16.- Esquema hidràulic del circuit elemental implementat sobre el prototipus Fluxpro 1 per a validar l'electrovàlvula en laboratori. A l'esquema s'hi indiquen els elements principals tals com filtres ( <i>F</i> ), bomba ( <i>B</i> ), regulador ( <i>R</i> ), distribuïdor principal ( <i>VO</i> ), cabalímetre electromagnètic ( <i>CEM</i> ), transductor de pressió ( <i>TP</i> ), electrovàlvula proporcional ( <i>EV1</i> ), vàlvula manual per a la selecció de mode de treball variable i convencional ( <i>V1</i> ) i antidegotejos ( <i>A</i> ).	253
Figura 7.17.- Esquema hidràulic del circuit elemental muntat al banc de proves per a l'anàlisi i millora del seu funcionament. A l'esquema s'hi indiquen els elements principals tals com filtres ( <i>F</i> ), bomba ( <i>B</i> ), regulador ( <i>R</i> ), cabalímetre electromagnètic ( <i>CEM</i> ), cabalímetre de turbina ( <i>CT</i> ), transductor de pressió ( <i>TP</i> ), electrovàlvula de tall ( <i>Vt</i> ), electrovàlvula proporcional ( <i>EV</i> ) i antidegotejos ( <i>A</i> ).	256
Figura 7.18.- Circuit elemental del prototipus Fluxpro 2 muntat al banc de proves per a la seva validació.	257
Figura 7.19.- Assaig de comprovació del cabal emès per cadascun dels broquets de les tres seccions independents del prototipus Fluxpro 2 realitzat amb un banc d'assaig de provetes automatitzat.	259
Figura 7.20.- Diagrama de dispersió de la resposta en cabal ascendent mitjà ( $Q_{mitj\ asc}$ ), descendent ( $Q_{mitj\ desc}$ ) i mitjana ( $Q_{mitj\ asc-desc}$ ) de l'electrovàlvula proporcional en un circuit amb 3 broquets Albuz ATR taronja enfront de variacions del senyal de control en el rang admès.	263
Figura 7.21.- Diagrama de dispersió del senyal de control en funció del cabal desitjat (corba blava) en un circuit amb 3 broquets Albuz ATR taronja. La corba discontinua roja és la funció polinòmica d'ajust de grau 9 descrita en l'Equació 7.7.	264
Figura 7.22.- Diagrama de dispersió de la resposta en cabal del circuit elemental enfront d'un senyal que simula la distància detectada pels sensors d'ultrasons sense correcció del retard (esquerra) i amb correcció del retard de 0,6 s (dreta).	265
Figura 7.23.- Diagrama de dispersió dels cabals reals polvoritzats ( $Q_r$ ) i dels cabals teòrics ( $Q_t$ ) (esquerra) i diagrama de residus dels cabals reals predits (dreta) en la comprovació dinàmica de l'electrovàlvula proporcional. La recta discontinua gris indica la relació ideal entre cabals.	265
Figura 7.24.- Histograma de freqüències relatives i freqüències relatives acumulades del número de gotes generat durant els assajos de mida de gota d'un broquet Albuz ATR taronja amb polvorització a pressió constant i a pressió variable (tècnica PDPA). Els diàmetres mostrats corresponen als diàmetres centrals de cada classe.	266
Figura 7.25.- Histograma de freqüències relatives i freqüències relatives acumulades del volum de gotes generat durant els assajos de mida de gota d'un broquet Albuz ATR taronja amb polvorització a pressió constant i a pressió variable (tècnica PDPA). Els diàmetres mostrats corresponen als diàmetres centrals de cada classe.	267
Figura 7.26.- Diagrama de dispersió de la resposta en cabal i pressió del sistema de control I enfront de variacions de la distància a un blanc artificial detectada pel sensor.	269
Figura 7.27.- Diagrama de dispersió de la resposta en cabal del sistema de control II enfront de variacions simulades de les semiamplades d'arbre i de la semisecció transversal.	269
Figura 7.28.- Diagrama de dispersió dels polsos generats pel cabalímetre de turbina Badger en funció del cabal que hi circulava (esquerra) i diagrama de residus del cabal predit a partir dels polsos del cabalímetre (dreta) per a una freqüència de lectura del cabalímetre de 10 Hz.	270
Figura 7.29.- Diagrama de dispersió de l'assaig de resposta temporal del circuit elemental de polvorització del prototipus Fluxpro 2. Cabal polvoritzat mesurat simultàniament amb cabalímetre electromagnètic ( $Q_{EM}$ ) i de turbina ( $Q_T$ ).	271
Figura 7.30.- Detall del diagrama de dispersió de l'assaig de resposta temporal del circuit elemental de polvorització del prototipus Fluxpro 2 corresponent a l'esglaió ascendent del senyal de control enviat a l'electrovàlvula proporcional. El cabal polvoritzat es mesura simultàniament amb un cabalímetre electromagnètic ( $Q_{EM}$ ) i amb un de turbina ( $Q_T$ ).	271
Figura 7.31.- Detall del diagrama de dispersió de l'assaig de resposta temporal del circuit elemental de polvorització del prototipus Fluxpro 2 corresponent a l'esglaió descendent del senyal de control enviat a l'electrovàlvula proporcional. El cabal polvoritzat es mesura simultàniament amb un cabalímetre electromagnètic ( $Q_{EM}$ ) i amb un de turbina ( $Q_T$ ).	272

Figura 7.32.- Diagrames de dispersió de l'evolució temporal del cabal (mesurat amb cabalímetre electromagnètic $-Q_{EM}$ i de turbina $-Q_T$ ) i de la pressió enfront d'una variació dinàmica triangular del senyal de control (V) enviat a l'electrovàlvula proporcional per a una pressió aigües amunt de 1,20 MPa i un inici de la polvorització a 0 V del senyal de control (esquerra), a 1 V (centre) i a 2 V (dreta) per a tres broquets de turbulència Albuz ATR taronja. ....	273
Figura 7.33.- Diagrames de dispersió de l'evolució temporal del cabal (mesurat amb cabalímetre electromagnètic $-Q_{EM}$ i de turbina $-Q_T$ ) i de la pressió enfront d'una variació dinàmica triangular del senyal de control enviat a l'electrovàlvula proporcional per a una pressió aigües amunt de 1,5 MPa i un inici de la polvorització a 1 V del senyal de control per a tres broquets de turbulència Albuz ATR taronja (esquerra), rojos (centre) i verds (dreta).....	274
Figura 7.34.- Diagrama de dispersió del senyal de control necessari per a emetre un determinat cabal per al cas d'un circuit elemental amb tres broquets Albuz ATR taronja, una pressió aigües amunt de l'electrovàlvula de 1,5 MPa i una obertura de l'electrovàlvula de tall a partir d'1 V del senyal de control.....	274
Figura 7.35.- Diagrama de dispersió dels polsos generats pel cabalímetre de turbina Arag en funció del cabal que hi circulava (esquerra) i diagrama de residus del cabal predit a partir dels polsos del cabalímetre (dreta) per a una freqüència de lectura del cabalímetre de 10 Hz. ....	275
Figura 7.36.- Diagrames de barres dels cabals polvoritzats pels broquets de l'arc de polvorització del prototipus Fluxpro 2 enviant un senyal de control de 8 V a les tres electrovàlvules proporcionals (esquerra) i enviant el mateix senyal de control majorant un 20% el de l'electrovàlvula proporcional central (dreta). ....	276
Figura 7.37.- Diagrama de dispersió del cabal polvoritzat pel prototipus Fluxpro 2 a partir d'una simulació de volum de capçada que feia oscil·lar el senyal de control de les tres electrovàlvules proporcionals entre el seu valor mínim i màxim. ....	278
Figura 7.38.- Diagrama de dispersió de les estimacions de volum de capçada realitzades amb un sol sensor d'ultrasons i dels corresponents volums d'aigua polvoritzats mitjançant el mètode convencional de dosificació constant i el Mètode 1 de dosificació variable en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference'.....	279
Figura 7.39.- Diagrama de dispersió de les estimacions de volum de capçada realitzades amb dos sensors d'ultrasons i dels corresponents volums d'aigua polvoritzats mitjançant el mètode convencional de dosificació constant i el Mètode 1 de dosificació variable en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference'.....	280
Figura 7.40.- Diagrames de dispersió dels cabals polvoritzats amb el prototipus Fluxpro 1 segons el Mètode 1 de dosificació variable en funció de les semiseccions transversals estimades a partir d'un sensor d'ultrasons (esquerra) i de dos sensors d'ultrasons (dreta). Les línies roges representen els models de regressió lineal simple ajustats. ....	280
Figura 7.41.- Diagrames de dispersió dels cabals polvoritzats amb el prototipus Fluxpro 1 en funció dels cabals teòrics determinats amb el Mètode 1 de dosificació a partir d'un sensor d'ultrasons (esquerra) i de dos sensors d'ultrasons (dreta). Les línies roges representen els models de regressió lineal simple ajustats. ....	281
Figura 7.42.- Diagrama de dispersió dels coeficients d'aplicació obtinguts en les aplicacions amb el prototipus Fluxpro 1 segons dosificació convencional constant i segons dosificació variable en base al Mètode 1 a partir d'un i de dos sensors d'ultrasons en funció del volum de capçada estimat amb dos sensors d'ultrasons. La recta discontinua roja indica el coeficient d'aplicació obtingut per al cas més desfavorable del tractament convencional. ....	283
Figura 7.43.- Histogrames de les freqüències relatives dels coeficients d'aplicació obtinguts amb el prototipus Fluxpro 1 en les aplicacions segons dosificació convencional constant (esquerra), dosificació variable en base al Mètode 1 a partir d'un sensor d'ultrasons (centre) i a partir de dos sensors d'ultrasons (dreta). ....	285
Figura 7.44.- Diagrama de dispersió de les estimacions de volum de capçada realitzades amb un sensor lidar i dels corresponents volums d'aigua polvoritzats mitjançant el mètode convencional de dosificació constant i el Mètode 2 de dosificació variable en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference'.....	286
Figura 7.45.- Diagrames de dispersió dels cabals polvoritzats amb el prototipus Fluxpro 2 en funció de les semiseccions transversals estimades a partir d'un sensor lidar segons dosificació convencional constant (esquerra) i segons el Mètode 2 de dosificació variable en temps real (dreta). Les línies roges representen els models de regressió lineal simple ajustats. ....	287
Figura 7.46.- Diagrama de dispersió dels cabals polvoritzats amb el prototipus Fluxpro 2 en funció dels cabals teòrics determinats amb el Mètode 2 de dosificació variable (esquerra) i diagrama de residus (dreta). La línia roja representa el model de regressió lineal simple ajustat, la línia gris discontinua la relació ideal entre cabals (esquerra) i la línia blava discontinua el residu zero (dreta). ....	288
Figura 7.47.- Diagrama de dispersió dels coeficients d'aplicació obtinguts amb el prototipus Fluxpro 2 en les aplicacions segons dosificació convencional constant i en base al Mètode 2 de dosificació variable en temps real en funció del volum de capçada estimat amb un sensor lidar. ....	289
Figura 7.48.- Histogrames i diagrames de caixa de les freqüències relatives dels coeficients d'aplicació obtinguts amb el prototipus Fluxpro 2 en les aplicacions segons dosificació convencional constant (esquerra) i segons dosificació amb el Mètode 2 de dosificació variable en temps real (dreta).....	290

Figura 8.1.- Estació meteorològica automàtica instal·lada a la parcel·la d'assaig.....	298
Figura 8.2.- Equip ICP-EOS utilitzat en les anàlisis de les mostres dels assajos, situat al Laboratori Agroalimentari del Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural de la Generalitat de Catalunya, situat a Cabriels. ....	300
Figura 8.3.- Esquema de la disposició dels elements en un assaig de validació vistos en planta i en alçat. ....	302
Figura 8.4.- Esquema de les zones de mostratge de la capçada amb les seves vistes en alçat lateral (a), alçat frontal (b) i en planta (c) en un dels blocs definits en la parcel·la d'assaig.....	303
Figura 8.5.- Imatge del dipòsit auxiliar implementat al prototipus Fluxpro 2 per a reduir els temps morts entre assajos. ....	305
Figura 8.6.- Diagrames de dispersió dels volums de capçada i dels volums polvoritzats en el tram de fila on es realitza l'assaig amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2001.....	320
Figura 8.7.- Freqüències relatives acumulades de les deposicions corresponents als tractaments de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2001. Les línies roges verticals representen les deposicions òptimes mínima i màxima.....	322
Figura 8.8.- Diagrames de caixa de les mostres de deposició foliar obtingudes a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2001. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les blaves delimiten la zona de deposició òptima. Lletres diferents impliquen diferències amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ segons prova de Tukey-Kramer. ....	322
Figura 8.9.- Diagrama de dispersió de les deposicions foliars en funció dels coeficients d'aplicació a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2001. El coeficient de determinació del model de regressió lineal simple ajustat és $R^2=0,98$ . ....	323
Figura 8.10.- Diagrames de caixa de les mostres de deposició foliar obtingudes en el tractament convencional de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2001. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les blaves delimiten la zona de deposició òptima. Lletres diferents amb el mateix estil impliquen diferències amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ .....	324
Figura 8.11.- Diagrames de caixa de les mostres de deposició foliar obtingudes en el tractament variable TV+14% de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2001. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les blaves delimiten la zona de deposició òptima. Lletres diferents amb el mateix estil impliquen diferències amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ .....	325
Figura 8.12.- Gràfiques de deposicions foliars globals mitjanes (esquerra) i de les mitjanes parcials en funció dels factors <i>Costat</i> i <i>Profunditat</i> (dreta) aconseguides amb el tractament convencional (TC) i el tractament variable majorat (TV+14%) realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2001. Les barres negres indiquen la desviació estàndard de cada mostra. Les línies blaves delimiten la zona de deposició òptima. ....	326
Figura 8.13.- Diagrames de caixa de les mostres de deposició a terra obtingudes a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2001. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals. Lletres diferents impliquen diferències amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ segons prova de Tukey-Kramer. ....	327
Figura 8.14.- Gràfiques de la distribució relativa del traçador aplicat en el tractament convencional (TC) i en el tractament variable (TV) a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2001. ....	329
Figura 8.15.- Gràfiques de la distribució absoluta del traçador aplicat en el tractament convencional (TC) i en el tractament variable majorat (TV+14%) a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2001.....	330
Figura 8.16.- Histograma de les semiamplades de capçada enregistrades en el tram de fila seleccionat per a l'assaig a indicant els valors dels percentils 50%, 70% i 90%. ....	332
Figura 8.17.- Diagrames de dispersió dels volums de capçada i dels volums polvoritzats en el tram de fila on es realitza l'assaig amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002. ....	333
Figura 8.18.- Freqüències relatives acumulades de les deposicions corresponents als tractaments de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002. Les línies roges verticals representen les deposicions òptimes mínima i màxima.....	334
Figura 8.19.- Diagrames de caixa de les mostres de deposició foliar obtingudes a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les blaves delimiten la zona de deposició òptima. Lletres diferents impliquen diferències amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ segons prova de Tukey-Kramer. ....	335
Figura 8.20.- Diagrama de dispersió de les deposicions foliars en funció dels coeficients d'aplicació a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002. El coeficient de determinació del model de regressió lineal simple ajustat és $R^2=0,56$ .....	335

Figura 8.21.- Deposició mitjana obtinguda en cada Alçada de mostratge en cadascun dels tractaments de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002. ....	336
Figura 8.22.- Diagrames de caixa de les mostres de deposició foliar obtingudes en el tractament convencional de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les blaves delimiten la zona de deposició òptima. Lletres diferents amb el mateix estil impliquen diferències amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ . ....	337
Figura 8.23.- Deposicions mitjanes obtingudes a diferents Profunditats de mostratge segons els diferents valors dels factors <i>Zona</i> (esquerra) i <i>Alçada</i> (dreta) en el tractament convencional de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002. ....	338
Figura 8.24.- Diagrames de caixa de les mostres de deposició foliar obtingudes en el tractament variable TV50 de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les blaves delimiten la zona de deposició òptima. Lletres diferents amb el mateix estil impliquen diferències amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ . ....	338
Figura 8.25.- Deposicions mitjanes obtingudes a diferents profunditats de mostratge segons els diferents valors dels factors <i>Zona</i> (esquerra) i <i>Alçada</i> (dreta) en el tractament variable TV50 de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002. ....	340
Figura 8.26.- Gràfiques de deposicions foliars globals mitjanes (esquerra) i de les mitjanes parcials en funció dels factors <i>Zona</i> , <i>Costat</i> i <i>Profunditat</i> (dreta) aconseguides amb el tractament convencional (TC) i els tractaments variables (TV50, TV70+26%, TV90+44%) realitzats amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002. Les barres negres indiquen la desviació estàndard de cada mostra. Les línies blaves delimiten la zona de deposició òptima. ....	340
Figura 8.27.- Gràfiques de deposicions foliars mitjanes parcials a la <i>Zona Tronc</i> (esquerra) i entretrons (dreta) aconseguides amb el tractament convencional (TC) i els tractaments variables (TV50, TV70+26%, TV90+44%) realitzats amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002. Les barres negres indiquen la desviació estàndard de cada mostra. Les línies blaves delimiten la zona de deposició òptima. ....	341
Figura 8.28.- Diagrames de caixa de les mostres de deposició a terra obtingudes a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals. Lletres diferents impliquen diferències amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ segons prova de Tukey-Kramer. ....	342
Figura 8.29.- Gràfiques de la distribució relativa del traçador aplicat en el tractament convencional (TC) i en els successius tractaments variables (TV90, TV70 i TV50) a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002. ....	344
Figura 8.30.- Gràfiques de la distribució absoluta del traçador aplicat en el tractament convencional (TC) i en els successius tractaments variables (TV90+44%, TV70+26% i TV50) a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002. ....	344
Figura 8.31.- Diagrama de dispersió dels coeficients d'aplicació aconseguits en els tractaments convencional TC i variable TV35 en funció del volum de capçada estimat a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2005. La línia roja discontinua representa el coeficient d'aplicació consigna. ....	346
Figura 8.32.- Diagrama de dispersió dels coeficients d'aplicació aconseguits en els tractaments convencional TC i variable TV40 en funció del volum de capçada estimat a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2005. La línia roja discontinua representa el coeficient d'aplicació consigna. ....	347
Figura 8.33.- Diagrames de dispersió dels volums de capçada i dels volums polvoritzats en el tram de fila on es realitza l'assaig amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2005. ....	348
Figura 8.34.- Freqüències relatives acumulades de les deposicions corresponents als tractaments de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2005. Les línies roges verticals representen les deposicions òptimes mínima i màxima. ....	349
Figura 8.35.- Diagrames de caixa de les mostres de deposició foliar obtingudes a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2005. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les blaves delimiten la zona de deposició òptima. Lletres diferents impliquen diferències amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ segons prova de Tukey-Kramer. ....	350
Figura 8.36.- Diagrama de dispersió de les deposicions foliars en funció dels coeficients d'aplicació a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2005. El coeficient de determinació del model de regressió lineal simple ajustat és $R^2=0,91$ . ....	351

Figura 8.37.- Deposicions mitjanes obtingudes en cada Alçada de mostratge en cadascun dels tractaments de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2005. ....	351
Figura 8.38.- Diagrames de caixa de les mostres de deposició foliar obtingudes en el tractament convencional de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2005. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les blaves delimiten la zona de deposició òptima. Lletres diferents amb el mateix estil impliquen diferències amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ . ....	352
Figura 8.39.- Deposicions mitjanes obtingudes a diferents Profunditats de mostratge segons els diferents valors dels factors <i>Zona</i> (esquerra) i <i>Alçada</i> (dreta) en el tractament convencional de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2005. ....	353
Figura 8.40.- Diagrames de caixa de les mostres de deposició foliar obtingudes en el tractament variable TV35+48% de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2005. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les blaves delimiten la zona de deposició òptima. Lletres diferents amb el mateix estil impliquen diferències amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ . ....	354
Figura 8.41.- Deposicions mitjanes obtingudes a diferents Alçades i Profunditats de mostratge segons els diferents valors dels factors <i>Zona</i> (esquerra i centre) i <i>Alçada</i> (dreta) en el tractament convencional de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2005. ....	354
Figura 8.42.- Diagrames de caixa de les mostres de deposició foliar obtingudes en el tractament variable TV40+4% de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2005. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les blaves delimiten la zona de deposició òptima. Lletres diferents amb el mateix estil impliquen diferències amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ . ....	355
Figura 8.43.- Gràfiques de deposicions foliars globals mitjanes (esquerra) i de les mitjanes parcials en funció dels factors <i>Zona</i> , <i>Costat</i> i <i>Profunditat</i> (dreta) aconseguïdes amb el tractament convencional (TC) i els tractaments variables majorats (TV35+48% i TV40+4%) realitzats amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2005. Les barres negres indiquen la desviació estàndard de cada mostra. Les línies blaves delimiten la zona de deposició òptima. ....	356
Figura 8.44.- Gràfiques de deposicions foliars mitjanes parcials a la <i>Zona Tronc</i> (esquerra) i entretroncs (dreta) aconseguïdes amb el tractament convencional (TC) i els tractaments variables majorats (TV35+48% i TV40+4%) realitzats amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2005. Les barres negres indiquen la desviació estàndard de cada mostra. Les línies blaves delimiten la zona de deposició òptima. ....	357
Figura 8.45.- Diagrames de caixa de les mostres de deposició a terra obtingudes a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2005. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals. Lletres diferents impliquen diferències amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ segons prova de Tukey-Kramer. ....	357
Figura 8.46.- Gràfiques de la distribució relativa del traçador aplicat en el tractament convencional (TC) i en els successius tractaments variables (TV35 i TV40) a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2005. ....	359
Figura 8.47.- Gràfiques de la distribució absoluta del traçador aplicat en el tractament convencional (TC) i en els successius tractaments variables majorats (TV35+48% i TV40+4%) a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2005. ....	360
Figura 8.48.- Diagrama de dispersió dels coeficients d'aplicació aconseguïts en els tractaments convencional TC i variable TV30 en funció del volum de capçada estimat a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. La línia roja discontinua representa el coeficient d'aplicació consigna. ....	362
Figura 8.49.- Diagrama de dispersió dels coeficients d'aplicació aconseguïts en els tractaments convencional TC i variable TV40 en funció del volum de capçada estimat a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. La línia roja discontinua representa el coeficient d'aplicació consigna. ....	363
Figura 8.50.- Diagrames de dispersió dels volums de capçada i dels volums polvoritzats en el tram de fila on es realitza l'assaig amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. ....	364
Figura 8.51.- Freqüències relatives acumulades de les deposicions corresponents als tractaments de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. Les línies roges verticals representen les deposicions òptimes mínima i màxima. ....	365
Figura 8.52.- Diagrames de caixa de les mostres de deposició foliar obtingudes a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les blaves delimiten la zona de deposició òptima. Lletres diferents impliquen diferències amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ segons prova de Tukey-Kramer. ....	366

- Figura 8.53.- Diagrama de dispersió de les deposicions foliars en funció dels coeficients d'aplicació a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. El coeficient de determinació del model de regressió lineal simple ajustat és  $R^2=0,94$ .....366
- Figura 8.54.- Deposicions mitjanes en funció dels factors *Costat*, *Alçada* i *Profunditat* obtingudes en cada tractament de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. ....367
- Figura 8.55.- Diagrames de caixa de les mostres de deposició foliar obtingudes en el tractament convencional de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les blaves delimiten la zona de deposició òptima. Lletres diferents amb el mateix estil impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$ . ....368
- Figura 8.56.- Deposicions mitjanes obtingudes a diferents Profunditats segons els diferents valors dels factors *Costat* (esquerra), *Alçada* (centre) i *Zona* (dreta) en el tractament convencional de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. ....368
- Figura 8.57.- Diagrames de caixa de les mostres de deposició foliar obtingudes en el tractament variable TV30+46% de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les blaves delimiten la zona de deposició òptima. Lletres diferents amb el mateix estil impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$ . ....369
- Figura 8.58.- Deposicions mitjanes obtingudes a diferents Profunditats segons els diferents valors dels factors *Zona* (esquerra), *Alçada* (centre) i *Costat* (dreta) en el tractament variable TV35+46% de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. ....370
- Figura 8.59.- Diagrames de caixa de les mostres de deposició foliar obtingudes en el tractament variable TV40 de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals. Lletres diferents amb el mateix estil impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$ . ....370
- Figura 8.60.- Gràfiques de deposicions foliars globals mitjanes (esquerra) i de les mitjanes parcials en funció dels factors *Zona*, *Costat* i *Profunditat* (dreta) aconseguides amb el tractament convencional (TC) i el tractament variable majorat TV30+46% realitzats amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. Les barres negres indiquen la desviació estàndard de cada mostra. Les línies blaves delimiten la zona de deposició òptima. ....371
- Figura 8.61.- Gràfiques de deposicions foliars mitjanes parcials a la *Zona Tronc* (esquerra) i entretrons (dreta) aconseguides amb el tractament convencional (TC) i el tractament variable majorat TV30+46% realitzats amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. Les barres negres indiquen la desviació estàndard de cada mostra. Les línies blaves delimiten la zona de deposició òptima. ....371
- Figura 8.62.- Diagrames de caixa de les mostres de deposició a terra obtingudes a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals. Lletres diferents impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer. ....372
- Figura 8.63.- Gràfiques de la distribució relativa del traçador aplicat en el tractament convencional (TC) i en els successius tractaments variables (TV30 i TV40) a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. ....374
- Figura 8.64.- Gràfiques de la distribució absoluta del traçador aplicat en el tractament convencional (TC) i en els successius tractaments variables majorats (TV30+46% i TV40+468%) a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. ....374
- Figura 8.65.- Diagrama de dispersió dels coeficients d'aplicació aconseguits en els tractaments convencional TC i variable TV125 en funció del volum de capçada estimat a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2006. La línia roja discontinua representa el coeficient d'aplicació consigna. ....378
- Figura 8.66.- Diagrames de dispersió dels volums de capçada i dels volums polvoritzats en el tram de fila on es realitza l'assaig amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2006. ....379
- Figura 8.67.- Freqüències relatives acumulades de les deposicions corresponents als tractaments de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2006. Les línies roges verticals representen les deposicions òptimes mínima i màxima. ....380
- Figura 8.68.- Diagrames de caixa de les mostres de deposició foliar obtingudes a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2006. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les blaves delimiten la zona de deposició òptima. Lletres diferents impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer. ....381

Figura 8.69.- Diagrama de dispersió de les deposicions foliars en funció dels coeficients d'aplicació a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2006. El coeficient de determinació del model de regressió lineal simple ajustat és $R^2=0,98$ .	381
Figura 8.70.- Depositions mitjanes obtingudes en funció dels factors <i>Costat</i> , <i>Zona</i> , <i>Alçada</i> i <i>Profunditat</i> obtingudes en cada tractament de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2006.	382
Figura 8.71.- Diagrames de caixa de les mostres de deposició foliar obtingudes en el tractament convencional de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2006. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les blaves delimiten la zona de deposició òptima. Lletres diferents amb el mateix estil impliquen diferències amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ .	382
Figura 8.72.- Depositions mitjanes de les diferents interaccions de factors amb efectes significatius sobre la deposició en cada tractament de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2006.	383
Figura 8.73.- Diagrames de caixa de les mostres de deposició foliar obtingudes en el tractament variable TV125 de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2006. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les blaves delimiten la zona de deposició òptima. Lletres diferents amb el mateix estil impliquen diferències amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ .	384
Figura 8.74.- Gràfiques de deposicions foliars globals mitjanes (esquerra) i de les mitjanes parcials en funció dels factors <i>Zona</i> , <i>Costat</i> i <i>Profunditat</i> (dreta) aconseguides amb el tractament convencional (TC) i el tractament variable majorat (TV125+85%) realitzats amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2006. Les barres negres indiquen la desviació estàndard de cada mostra. Les línies blaves delimiten la zona de deposició òptima.	385
Figura 8.75.- Gràfiques de deposicions foliars mitjanes parcials a la <i>Zona Tronc</i> (esquerra) i entretroncs (dreta) aconseguides amb el tractament convencional (TC) i el tractament variable majorat (TV125+85%) realitzats amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2006. Les barres negres indiquen la desviació estàndard de cada mostra. Les línies blaves delimiten la zona de deposició òptima.	385
Figura 8.76.- Diagrames de caixa de les mostres de deposició a terra obtingudes a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2006. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals. Lletres diferents impliquen diferències amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ segons prova de Tukey-Kramer.	386
Figura 8.77.- Gràfiques de la distribució relativa del traçador aplicat en el tractament convencional (TC) i en el variable (TV125) a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2006.	387
Figura 8.78.- Gràfiques de la distribució absoluta del traçador aplicat en el tractament convencional (TC) i en el variable majorats (TV125+85%) a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2006.	388







# Índex de taules

Taula 2.1.- Nombre de monitors de collita estimats per països i en diferents anys (font: Griffin, en premsa).	35
Taula 2.2.- Evolució temporal de l'adopció de diferents tecnologies de l'agricultura de precisió a Argentina (font: EEA Manfredi, INTA, a <a href="http://www.agriculturadeprecision.org">www.agriculturadeprecision.org</a> ).	37
Taula 2.3.- Estimació del nombre d'unitats utilitzades de dispositius relacionats amb l'agricultura de precisió a Sud Àfrica l'any 2005 (font: Nell <i>et al.</i> , 2006).	39
Taula 2.4.- Dades del projecte <i>Comprehensive Automation for Specialty Crops</i> , CASC.	47
Taula 2.5.- Densitats d'impactes recomanades pel fabricant Syngenta en funció del producte aplicat (font: Syngenta, 2003).	78
Taula 2.6.- Dades del projecte <i>Tree shape and foliage volume map guided precision orchard sprayer</i> , PRECISPRAY.	89
Taula 2.7.- Dades del projecte Ajuste de la dosis de producto fitosanitario en tratamientos de cultivos arbóreos (frutales, viñedo y cítricos), PULVEXACT.	91
Taula 2.8.- Dades del projecte Reducción del uso de productos fitosanitarios en cultivos arbóreos. Optimización de las dosis de aplicación en tratamientos mecanizados de cítricos, frutales y vid, OPTIDOSA.	94
Taula 2.9.- Dades del projecte Increasing fruit consumption through a trans disciplinary approach leading to high quality produce from environmentally safe, sustainable methods, ISAFRUIT.	95
Taula 3.1.- Comparació de la quantitat d'imidacloprid aplicada a una mateixa plantació fictícia a partir de les etiquetes de l'insecticida Confidor (Bayer CropScience AG, Monheim am Rhein, Alemanya) aprovades en diferents països (font: elaboració pròpia a partir de la informació obtinguda a <a href="http://www.bayercropscience.com">www.bayercropscience.com</a> ).	123
Taula 6.1.- Característiques del sensor d'ultrasons Sonar Bero M30 K3 (Siemens AG, Munic, Alemanya) utilitzat en la caracterització electrònica de la capçada en temps real (font: <a href="http://www.siemens.com">www.siemens.com</a> ).	147
Taula 6.2.- Característiques del sensor lidar LMS 200 (Sick AG, Waldkirch, Alemanya) per a la configuració utilitzada en la caracterització electrònica de la capçada en temps real (font: <a href="http://www.sick.com">www.sick.com</a> ).	149
Taula 6.3.- Característiques de la plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' i de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Golden Delicious' en la que es van desenvolupar els assajos de caracterització de la capçada amb dos sensors d'ultrasons els anys 2001 i 2002.	176
Taula 6.4.- Característiques de la plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' i de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Top red' en la que es van realitzar els assajos de caracterització de la capçada amb tres sensors d'ultrasons l'any 2005.	180
Taula 6.5.- Característiques de la plantació <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' en la que es van realitzar els assajos de caracterització de la capçada amb tres sensors d'ultrasons i amb el sensor lidar simultàniament l'any 2006.	182
Taula 6.6.- Separació de mitjanes i intervals de confiança del conjunt de dades de l'assaig de calibratge en laboratori de tres sensors d'ultrasons entre 45 cm i 300 cm.	184
Taula 6.7.- Estadístics descriptius del conjunt de dades de l'assaig de calibratge en laboratori de tres sensors d'ultrasons per a les distàncies de 45 cm, 60 cm i 75 cm.	185
Taula 6.8.- Estadístics descriptius del conjunt de dades de l'assaig de calibratge en laboratori de tres sensors d'ultrasons per a les distàncies de 90 cm, 105 cm i 120 cm.	186
Taula 6.9.- Estadístics descriptius del conjunt de dades de l'assaig de calibratge en laboratori de tres sensors d'ultrasons per a les distàncies de 135 cm, 150 cm i 165 cm.	186
Taula 6.10.- Estadístics descriptius del conjunt de dades de l'assaig de calibratge en laboratori de tres sensors d'ultrasons per a les distàncies de 180 cm, 195 cm i 210 cm.	186
Taula 6.11.- Estadístics descriptius del conjunt de dades de l'assaig de calibratge en laboratori de tres sensors d'ultrasons per a les distàncies de 225 cm, 240 cm i 255 cm.	186
Taula 6.12.- Estadístics descriptius del conjunt de dades de l'assaig de calibratge en laboratori de tres sensors d'ultrasons per a les distàncies de 270 cm, 285 cm i 300 cm.	186
Taula 6.13.- Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades generades pel Sensor 1 entre 45 i 300 cm.	188
Taula 6.14.- Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades generades pel Sensor 2 entre 45 i 300 cm.	189
Taula 6.15.- Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades generades pel Sensor 3 entre 45 i 300 cm.	189
Taula 6.16.- Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades generades pel Sensor 1 entre 45 i 240 cm.	190
Taula 6.17.- Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades generades pel Sensor 2 entre 45 i 240 cm.	191
Taula 6.18.- Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades generades pel Sensor 3 entre 45 i 240 cm.	191
Taula 6.19.- Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades de lectura neta i lectura amb possibles interferències causades per la parella de sensors situada a $\pm 30$ cm del sensor principal.	192

Taula 6.20.- Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades de lectura neta i lectura amb possibles interferències causades per la parella de sensors situada a $\pm 60$ cm del sensor principal.....	193
Taula 6.21.- Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades de senyal del sensor i distància mesurada a la capçada a l'assaig de calibratge del sensor d'ultrasons en camp. ....	193
Taula 6.22.- Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades de senyal del sensor i distància mesurada al blanc artificial a l'assaig de calibratge del sensor d'ultrasons en camp.....	194
Taula 6.23.- Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades de distància a la capçada i distància al blanc artificial a l'assaig de calibratge del sensor d'ultrasons en camp. ....	194
Taula 6.24.- Comparació numèrica entre les funcions de calibratge a la capçada i al blanc artificial per a un senyal simulat.....	195
Taula 6.25.- Estadístics descriptius i comparació numèrica entre les vuit mostres amb diferents resolucions de mostratge. ....	198
Taula 6.26.- Resum de la prova de Shapiro-Wilk per a la comprovació de la normalitat de la distribució amb resolució de mostratge de 1,68 cm/mostra. ....	199
Taula 6.27.- Resultat de les proves d'homoscedasticitat de les diferents mostres utilitzades en la determinació de la resolució de mostratge òptima.....	199
Taula 6.28.- Resum de la prova de Kruskal-Wallis per a la contrastació de la hipòtesi nul·la d'igualtat de mitjanes per a les vuit mostres obtingudes amb diferents resolucions de mostratge.....	200
Taula 6.29.- Estadístics descriptius de les diferents repeticions per a la determinació de les semiamples de capçada amb el Sensor 1 des del costat dret en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference'.....	203
Taula 6.30.- Estadístics descriptius de les diferents repeticions per a la determinació de les semiamples de capçada amb el Sensor 2 des del costat dret en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference'.....	205
Taula 6.31.- Estadístics descriptius dels volums de capçada instantanis estimats amb 1 o amb 2 sensors des del costat esquerre i des del costat dret en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference'.....	207
Taula 6.32.- Comparació entre els volums de capçada estimats amb diferents tecnologies i metodologies des del costat esquerre en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference'.....	208
Taula 6.33.- Comparació entre els volums de capçada estimats amb diferents tecnologies i metodologies des del costat dret en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference'.....	208
Taula 6.34.- Estadístics descriptius dels volums de capçada instantanis estimats amb 1 o amb 2 sensors des del costat esquerre i des del costat dret en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Golden Delicious'.....	211
Taula 6.35.- Comparació entre els volums de capçada estimats amb diferents tecnologies i metodologies des del costat esquerre en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Golden Delicious'.....	211
Taula 6.36.- Comparació entre els volums de capçada estimats amb diferents tecnologies i metodologies des del costat dret en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Golden Delicious'.....	211
Taula 6.37.- Estadístics descriptius dels volums de capçada instantanis estimats amb 1 o amb 2 sensors des del costat esquerre i des del costat dret en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference'.....	213
Taula 6.38.- Comparació entre els volums de capçada estimats amb diferents tecnologies i metodologies des del costat esquerre en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference'.....	214
Taula 6.39.- Comparació entre els volums de capçada estimats amb diferents tecnologies i metodologies des del costat dret en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference'.....	214
Taula 6.40.- Estadístics descriptius dels volums de capçada instantanis estimats amb 1 o amb 2 sensors des del costat esquerre i des del dret en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Top red'.....	216
Taula 6.41.- Comparació entre els volums de capçada estimats amb diferents tecnologies i metodologies des del costat esquerre en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Top red'.....	216
Taula 6.42.- Comparació entre els volums de capçada estimats amb diferents tecnologies i metodologies des del costat dret en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Top red'.....	216
Taula 6.43.- Estadístics descriptius de les diferents repeticions per a la determinació dels volums instantanis de capçada amb el sensor lidar des del costat esquerre en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference'.....	218
Taula 6.44.- Estadístics descriptius de les diferents repeticions per a la determinació dels volums instantanis de capçada amb el sensor lidar des del costat esquerre en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' amb la repetició 2 corregida. ....	219
Taula 6.45.- Estadístics descriptius de les diferents repeticions per a la determinació dels volums instantanis de capçada amb el sensor lidar des del costat dret en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference'.....	220
Taula 6.46.- Estadístics descriptius dels volums instantanis de capçada estimats amb el sensor lidar a partir de les semiseccions reals (R) i de les semiseccions reals contornejades (C) des del costat esquerre i des del dret en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference'.....	222

Taula 6.47.- Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades de volums de capçada instantanis de capçada estimats des del costat esquerre en la repetició 1 amb el sensor lidar a partir de les semiseccions reals (R) i de les semiseccions reals contornejades (C) en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference'.....	224
Taula 6.48.- Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades de volums de capçada instantanis de capçada estimats des del costat dret en la repetició 1 amb el sensor lidar a partir de les semiseccions reals (R) i de les semiseccions reals contornejades (C) en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference'.....	225
Taula 6.49.- Comparació de les mitjanes dels volums instantanis de capçada estimats amb el sensor lidar, a partir de les semiseccions reals (R) i de les semiseccions reals contornejades (C), i dels sensors d'ultrasons des del costat esquerre en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference'.....	227
Taula 6.50.- Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades de volums de capçada instantanis de capçada estimats amb el sensor lidar a partir de les semiseccions reals (R) i amb els sensors d'ultrasons des del costat esquerre en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference'.....	228
Taula 6.51.- Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades de volums de capçada instantanis de capçada estimats amb el sensor lidar a partir de les semiseccions reals (R) i amb els sensors d'ultrasons des del costat dret en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference'.....	228
Taula 7.1.- Característiques del polvoritzador sobre el que es va muntar el prototipus Fluxpro 1. ....	237
Taula 7.2.- Característiques del polvoritzador sobre el que es va muntar el prototipus Fluxpro 2. ....	238
Taula 7.3.- Característiques dels components hidràulics, elèctrics i electrònics de l'electrovàlvula proporcional escollida. ....	241
Taula 7.4.- Característiques dels cabalímetres utilitzats en la implementació dels prototipus Fluxpro 1 i Fluxpro 2.....	243
Taula 7.5.- Característiques principals del mòdul NuDAM-6024 (Adlink Technology Inc., Chungo City, Taiwan). ....	244
Taula 7.6.- Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades de cabals reals polvoritzats i de cabals teòrics.....	265
Taula 7.7.- Característiques de les mostres de gotes obtingudes d'un broquet Albuz ATR taronja a partir de la mitjana dels valors de les tres repeticions realitzades a pressió constant i a pressió variable mitjançant la tècnica PDPA. ....	267
Taula 7.8.- Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades generades pel cabalímetre de turbina. ....	270
Taula 7.9.- Resum del model cúbic ajustat a les dades de cabal emès en funció del senyal de control enviat a una electrovàlvula proporcional per al cas d'un circuit elemental amb tres broquets Albuz ATR taronja, una pressió aigües amunt de l'electrovàlvula de 1,5 MPa i una obertura de l'electrovàlvula de tall a partir d'1 V del senyal de control. ....	275
Taula 7.10.- Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades generades pel cabalímetre de turbina Arag. ....	275
Taula 7.11.- Resum dels models de regressió lineal simple ajustats a les dades de cabal polvoritzat amb el prototipus Fluxpro 1 en funció de les semiseccions transversals estimades a partir d'un i de dos sensors d'ultrasons.....	281
Taula 7.12.- Resum dels models de regressió lineal simple ajustats a les dades de cabal polvoritzat amb el prototipus Fluxpro 1 en funció dels cabals teòrics determinats amb el Mètode 1 de dosificació a partir d'un sensor d'ultrasons (1 SU) i de dos sensors d'ultrasons (2 SU). ....	282
Taula 7.13.- Estadístics descriptius dels coeficients d'aplicació obtinguts en les aplicacions amb el prototipus Fluxpro 1 segons dosificació convencional constant, dosificació variable en base al Mètode 1 a partir d'un sensor d'ultrasons (1 SU) i a partir de dos sensors d'ultrasons (2 SU). ....	284
Taula 7.14.- Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades de cabal polvoritzat amb el prototipus Fluxpro 2 segons el Mètode 2 de dosificació variable en temps real en funció de les semiseccions transversals estimades amb un sensor lidar. ....	287
Taula 7.15.- Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades de cabal polvoritzat amb el prototipus Fluxpro 2 en funció del cabal teòric determinat amb el Mètode 2 de dosificació variable en temps real. ....	288
Taula 7.16.- Estadístics descriptius dels coeficients d'aplicació obtinguts amb el prototipus Fluxpro 2 en les aplicacions segons dosificació convencional constant i segons el Mètode 2 de dosificació variable en temps real.....	290
Taula 8.1.- Dades de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2001.....	314
Taula 8.2.- Dades de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002.....	315
Taula 8.3.- Dades de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2005.....	315
Taula 8.4.- Dades de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005.....	316
Taula 8.5.- Dades de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2006.....	317
Taula 8.6.- Dades meteorològiques obtingudes durant l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2001. ....	319

Taula 8.7.- Volums de capçada i característiques de les aplicacions realitzades en els tractaments convencional (TC) i variable (TV) de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2001. ....	319
Taula 8.8.- Percentils i freqüències relatives acumulades de les mostres de deposició foliar dels tractaments convencional (TC), variable (TV) i variable majorat (TV+14%) a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2001.....	321
Taula 8.9.- Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzada a les mostres de deposició foliar del tractament convencional de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2001. ....	324
Taula 8.10.- Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzada a les mostres de deposició foliar del tractament amb dosificació variable TV+14% de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2001. ....	325
Taula 8.11.- Estadístics descriptius de les mostres de deposició a terra obtingudes a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2001.....	327
Taula 8.12.- Dosis de traçador aplicades (TC i TV) i simulades (TV+14%) en els diferents tractaments de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2001.....	328
Taula 8.13.- Valors d'eficiències d'aplicació i pèrdues relatives obtinguts en els tractaments convencional i variable a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2001.....	328
Taula 8.14.- Valors de recuperació i pèrdues absolutes obtinguts en els tractaments convencional i variable a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2001.....	329
Taula 8.15.- Dades meteorològiques obtingudes durant l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002. ....	331
Taula 8.16.- Volums de capçada i característiques de les diferents aplicacions realitzades en els tractaments convencional (TC) i variables (TV50, TV70 i TV90) de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002.....	332
Taula 8.17.- Percentils i freqüències relatives acumulades de les mostres de deposició foliar dels tractaments convencional (TC), variables (TV50, TV70 i TV90) i variables majorats (TV70+26% i TV90+44%) a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002.....	334
Taula 8.18.- Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzada a les mostres de deposició foliar del tractament convencional de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002. ....	337
Taula 8.19.- Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzada a les mostres de deposició foliar del tractament amb dosificació variable TV50 de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002.....	339
Taula 8.20.- Estadístics descriptius de les mostres de deposició a terra obtingudes a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002.....	342
Taula 8.21.- Dosis de traçador aplicades en els diferents tractaments de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002. ....	343
Taula 8.22.- Dosis de traçador aplicada (TC) i simulades (TV70+26% i TV90+44%) en els diferents tractaments de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002.....	343
Taula 8.23.- Valors d'eficiències d'aplicació i pèrdues relatives obtinguts en els tractaments convencional i variables a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002.....	343
Taula 8.24.- Valors de recuperació i pèrdues absolutes obtinguts en els tractaments convencional i variable a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002.....	344
Taula 8.25.- Dades meteorològiques obtingudes durant l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2005.....	345
Taula 8.26.- Volums de capçada i característiques de les aplicacions realitzades en els tractaments convencional (TC) i variables (TV35 i TV40) de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2005.....	345
Taula 8.27.- Freqüències relatives acumulades de les mostres de coeficients d'aplicació obtingudes en els tractaments convencional (TC) i variables (TV35 i TV40) a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2005.....	347
Taula 8.28.- Percentils i freqüències relatives acumulades de les mostres de deposició foliar dels tractaments convencional (TC), variables (TV35 i TV40) i variables majorats (TV35+48% i TV40+4%) a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2005.....	349

Taula 8.29.- Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzada a les mostres de deposició foliar del tractament convencional de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2005.....	352
Taula 8.30.- Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzada a les mostres de deposició foliar del tractament amb dosificació variable TV35+48% de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2005.....	353
Taula 8.31.- Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzada a les mostres de deposició foliar del tractament amb dosificació variable TV40+4% de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2005.....	355
Taula 8.32.- Estadístics descriptius de les mostres de deposició a terra obtingudes a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2005. ....	358
Taula 8.33.- Dosis de traçador aplicades en els diferents tractaments (TC, TV35 i TV40) de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2005.....	358
Taula 8.34.- Dosis de traçador aplicades (TC) i simulades (TV35+48% i TV40+4%) en els diferents tractaments de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2005. Els tractaments variables s'han majorat per a igualar el tractament convencional en el nombre de mostres subdosificades.....	358
Taula 8.35.- Valors d'eficiències d'aplicació i pèrdues relatives obtinguts en els tractaments convencional i variables a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2005. ....	359
Taula 8.36.- Valors de recuperació i pèrdues absolutes obtinguts en els tractaments convencional i variable a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2005. ....	359
Taula 8.37.- Dades meteorològiques obtingudes durant l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. ....	361
Taula 8.38.- Volums de capçada i característiques de les aplicacions realitzades en els tractaments convencional (TC) i variables (TV30 i TV40) de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. ....	361
Taula 8.39.- Freqüències relatives acumulades de les mostres de coeficients d'aplicació obtingudes en els tractaments convencional (TC) i variables (TV30 i TV40) a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. ....	362
Taula 8.40.- Percentils i freqüències relatives acumulades de les mostres de deposició foliar dels tractaments convencional i variables a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. Els tractaments variables s'han majorat per a igualar el tractament convencional en el nombre de mostres subdosificades.....	365
Taula 8.41.- Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzada a les mostres de deposició foliar del tractament convencional de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. ....	368
Taula 8.42.- Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzada a les mostres de deposició foliar del tractament amb dosificació variable TV30+46% de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. ....	369
Taula 8.43.- Estadístics descriptius de les mostres de deposició a terra obtingudes a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. ....	372
Taula 8.44.- Dosis de traçador aplicades en els diferents tractaments (TC, TV30 i TV40) de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. ....	373
Taula 8.45.- Dosis de traçador aplicades (TC) i simulades (TV30+46% i TV40+468%) pels diferents tractaments de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. Els tractaments variables s'han majorat per a igualar el tractament convencional en el nombre de mostres subdosificades.....	373
Taula 8.46.- Valors d'eficiències d'aplicació i pèrdues relatives obtinguts en els tractaments convencional i variables a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. ....	373
Taula 8.47.- Valors de recuperació i pèrdues absolutes obtinguts en els tractaments convencional i variable a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. ....	374
Taula 8.48.- Deposicions individuals aconseguïdes amb el tractament variable TV40 a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Malus domestica</i> Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. Les caselles roges indiquen deposició inferior a l'òptima i les caselles verdes indiquen deposició dins l'interval òptim.....	375
Taula 8.49.- Dades meteorològiques obtingudes durant l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2006.....	377

Taula 8.50.- Volums de capçada i característiques de les aplicacions realitzades en els tractaments convencional (TC) i variable (TV125) de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2006. ....	377
Taula 8.51.- Freqüències relatives acumulades de les mostres de coeficients d'aplicació obtingudes en els tractaments convencional (TC) i variable (TV125) a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2006. ....	378
Taula 8.52.- Percentils i freqüències relatives acumulades de les mostres de deposició foliar dels tractaments convencional TC i variable TV125 a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2006. El tractament variable s'ha majorat per a igualar el tractament convencional en el nombre de mostres subdosificades. ....	380
Taula 8.53.- Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzada a les mostres de deposició foliar del tractament convencional de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2006. ....	383
Taula 8.54.- Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzada a les mostres de deposició foliar del tractament amb dosificació variable TV125 de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2006. ....	384
Taula 8.55.- Estadístics descriptius de les mostres de deposició a terra obtingudes a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2006. ....	386
Taula 8.56.- Dosis de traçador aplicades en els diferents tractament de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2006. El tractament variable s'ha majorat per a igualar el tractament convencional en el nombre de mostres subdosificades. ....	387
Taula 8.57.- Valors d'eficiències d'aplicació i pèrdues relatives obtinguts en els tractaments convencional i variable a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2006. ....	387
Taula 8.58.- Valors de recuperació i pèrdues absolutes obtinguts en els tractaments convencional i variable a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de <i>Pyrus communis</i> L. cv. 'Conference' l'any 2006. ....	388
Taula 8.59.- Comparació conjunta dels assajos de validació. Valors de diferències (Dif.) positius indiquen increment i valors negatius indiquen decrement. Els símbols "+" i "-" indiquen comportaments favorables o desfavorables del paràmetre analitzat, respectivament. El color verd indica el tractament més favorable, el vermell indica el més desfavorable i el taronja el que està entremig en relació al paràmetre analitzat i dins de cada assaig. ....	391







# Resum

L'objectiu general d'aquesta tesi és desenvolupar un mètode dinàmic de dosificació de productes fitosanitaris que permeti incrementar significativament l'eficiència d'aplicació, reduir les pèrdues i disminuir la variabilitat de les deposicions sense disminuir l'eficàcia de les aplicacions en plantacions fructícoles. El mètode proposat es basa en la caracterització electrònica de les dimensions de la capçada i en dosificar el producte fitosanitari de forma variable, contínua i en temps real. Aquest objectiu s'ha establert a partir de la formulació de tres hipòtesis de partida sustentades en la revisió bibliogràfica i els coneixements previs del grup de recerca en el que s'emmarca aquest treball. La Hipòtesi 1 sosté que les capçades de les explotacions fructícoles intensives actuals de la zona de Lleida i similars presenten una variabilitat dimensional elevada i que aquest fet contribueix a la variabilitat de les deposicions de productes fitosanitaris. La Hipòtesi 2 sosté que és possible implementar un polvoritzador equipat amb la tecnologia necessària per a la dosificació variable contínua en temps real que permeti adaptar la dosi aplicada a les característiques geomètriques de la capçada de la plantació. I la Hipòtesi 3 sosté que un mètode dinàmic de dosificació per a l'aplicació de productes fitosanitaris pot aconseguir aplicacions equivalents o millors que les que es realitzen actualment amb mètodes i equips convencionals en termes d'eficàcia del tractament, d'eficiència d'aplicació, de variabilitat de les deposicions i de respecte pel medi ambient.

Una vegada desenvolupat el mètode de dosificació variable, ha estat necessari implementar un prototipus de polvoritzador capaç d'executar-lo en condicions de camp per tal de procedir a la seva validació. La irrupció de l'electrònica en l'agricultura i la seva progressiva implantació des de les darreries del segle passat han permès materialitzar el prototipus emmarcant-lo en el que avui es coneix com a tecnologies de dosificació variable en el context de l'agricultura de precisió. De tots els aspectes que contempla aquesta pràctica, aquesta tesi doctoral s'enquadra en l'agricultura de precisió basada en sensors i en temps real. El prototipus consta d'un sistema per a la caracterització electrònica de la capçada, d'un sistema electrònic de regulació i d'actuadors que possibiliten la dosificació del brou fitosanitari en funció de les seves dimensions.

Els resultats obtinguts han validat les tres hipòtesis de partida i han satisfet tant l'objectiu general com els objectius específics plantejats. El sistema per a la caracterització de la capçada ha posat de manifest coeficients de variació d'entre el 30% i el 60% en plantacions de perers i pomers. Els assajos de validació finals han mostrat que hi ha una tendència clara a que els tractaments amb dosificació variable es comportin més favorablement que els tractaments convencionals. L'increment d'eficiència d'aplicació dels vuit tractaments variables analitzats ha estat d'entre l'1,37%, en el cas més desfavorable, i el 57,13%. Les pèrdues totals s'han vist reduïdes entre el 5,13% i el 55,72%. Tanmateix, durant la realització dels assajos i l'anàlisi dels resultats s'han identificat algunes mancances i es proposen una sèrie de millores per tal de solucionar-les. Tot i que el resultat d'aquesta tesi no és d'aplicació comercial immediata, s'ha validat un mètode i una tecnologia que poden representar un avenç vers la innovació i la implantació de la fructicultura de precisió.

**Paraules clau:** Polvorització, polvoritzador, tècniques d'aplicació, productes fitosanitaris, tecnologia de dosificació variable, caracterització electrònica de la capçada, sensors d'ultrasons, lidar, làser, variabilitat, regulació electrònica, agricultura de precisió, fructicultura de precisió.



# Resumen

El objetivo general de esta tesis es desarrollar un método dinámico de dosificación de productos fitosanitarios que permita incrementar significativamente la eficiencia de aplicación, reducir las pérdidas y disminuir la variabilidad de las deposiciones sin disminuir la eficacia de las aplicaciones en plantaciones frutícolas. El método propuesto se basa en la caracterización electrónica de las dimensiones de la copa y en dosificar el producto fitosanitario de forma variable, continua y en tiempo real. Este objetivo se ha establecido a partir de la formulación de tres hipótesis de partida sustentadas en la revisión bibliográfica y los conocimientos previos del grupo de investigación en el que se enmarca este trabajo. La Hipótesis 1 sostiene que las copas de las explotaciones frutícolas intensivas actuales de la zona de Lleida y similares presentan una variabilidad dimensional elevada y que ello contribuye a la variabilidad de las deposiciones. La Hipótesis 2 sostiene que es posible implementar un pulverizador equipado con la tecnología necesaria para la dosificación variable continua en tiempo real que permita adaptar la dosis aplicada a las características geométricas de las copas de la plantación. Y la Hipótesis 3 sostiene que un método dinámico de dosificación para la aplicación de productos fitosanitarios puede conseguir aplicaciones equivalentes o mejores que las que se realizan actualmente con métodos y equipos convencionales en términos de eficacia del tratamiento, de eficiencia de aplicación, de variabilidad de las deposiciones y de respeto por el medio ambiente.

Una vez desarrollado el método de dosificación variable, ha sido necesario implementar un prototipo de pulverizador capaz de ejecutarlo en condiciones de campo para proceder a su validación. La irrupción de la electrónica en la agricultura y su progresiva implantación desde finales del siglo pasado han permitido materializar el prototipo enmarcándolo en lo que hoy se conoce como tecnologías de dosificación variable en el contexto de la agricultura de precisión. De todos los aspectos que contempla esta práctica, esta tesis doctoral se encuadra en la agricultura de precisión basada en sensores y en tiempo real. El prototipo consta de un sistema para la caracterización electrónica de la copa, de un sistema electrónico de regulación y de actuadores que posibilitan la dosificación del caldo fitosanitario en función de sus dimensiones.

Los resultados obtenidos han validado las tres hipótesis de partida y han satisfecho tanto el objetivo general como los objetivos específicos planteados. El sistema para la caracterización de la copa ha puesto de manifiesto coeficientes de variación de entre el 30% y el 60% en plantaciones de peras y manzanos. Los ensayos de validación finales han mostrado que hay una tendencia clara a que los tratamientos con dosificación variable se comporten más favorablemente que los tratamientos convencionales. El incremento de eficiencia de aplicación de los ocho tratamientos variables analizados ha sido de entre el 1,37%, en el caso más desfavorable, y el 57,13%. Las pérdidas totales se han visto reducidas entre el 5,13% y el 55,72%. Sin embargo, durante la realización de los ensayos el análisis de los resultados se han identificado algunas carencias y se propone una serie de mejoras para solucionarlas. Aunque el resultado de esta tesis no es de aplicación comercial inmediata, se ha validado un método y una tecnología que pueden representar un avance hacia la innovación y la implantación de la fruticultura de precisión.

**Palabras clave:** Pulverización, pulverizador, técnicas de aplicación, productos fitosanitarios, tecnología de dosificación variable, caracterización electrónica de la copa, sensores de ultrasonidos, lidar, láser, variabilidad, regulación electrónica, agricultura de precisión, fruticultura de precisión.



# Summary

The overall objective of this thesis is to develop a dynamic method to dose plant protection products in fruit orchards. This method should significantly increase the application efficiency, reduce losses and decrease the variability of the deposition without reducing the efficacy of applications. The proposed method is based on electronic characterization of canopy dimensions and on variable rate dosage of plant protection products in a continuous and real time mode. This goal has been established from the formulation of three hypotheses grounded in the literature review and in the knowledge of the research group on which this work is framed. Hypothesis 1 holds that canopies of current intensive fruit farms in Lleida and similar areas have a high dimensional variability and that this fact contributes to the variability of deposition of plant protection products. Hypothesis 2 holds that it is possible to implement a sprayer equipped with the proper technology to dose plant protection products in a continuous variable rate and real time manner to adapt the applied dose to the geometric characteristics of trees. Hypothesis 3 holds that applications based on a dynamic method for plant protection products dosage can achieve equivalent or better results than those performed with conventional methods and equipment in terms of efficacy, application efficiency, variability of deposits and respect to the environment.

Once a method of variable dosage was developed, it was necessary to implement a prototype sprayer able to execute the variable rate method in field conditions for validation. The advent of electronics in agriculture and its progressive adoption from the end of the last century have made it possible for the prototype to materialize, framing it in what today is known as variable rate technologies in the context of precision agriculture. From all aspects included in that practice, this thesis is focused on the real time sensor-based precision agriculture. The prototype consists of a system for the electronic characterization of the canopy, an electronic system to control the process, and actuators to vary the sprayed flow rate according to canopy dimensions.

The results have validated the three hypotheses and have met both the general and the specific objectives. The system for the electronic characterization of canopies has shown coefficients of variation between 30% and 60% in pear and apple orchards. The final validation tests show that there is a clear tendency of variable rate treatments to behave more favourably than conventional applications. The eight variable rate treatments analyzed, showed an increase in application efficiency from 1.37% to 57.13% and a reduction in total losses (to the ground and drift) from 5.13% to 55.72%. However, during the performance of trials and the analysis of the results some defects have been identified and a list of improvements to solve them is proposed. Although the outcome of this thesis is not of immediate commercial application, a method and a technology have been validated that could represent a step towards innovation and implementation in precision horticulture/fructiculture.

**Keywords:** spray, sprayer, application techniques, plant protection products, variable rate technology, electronic canopy characterization, ultrasonic sensors, lidar, laser, variability, electronic control, precision agriculture, precision horticulture/fructiculture.



# Definicions prèvies i notació

## DEFINICIONS PRÈVIES

Concepte	Definició
• <b>Dosi</b>	Quantitat de producte fitosanitari o traçador distribuïda per unitat d'objectiu a tractar, sigui aquest objectiu un organisme viu, la superfície foliar, el volum de capçada o la superfície conreada d'una plantació, segons indiquin les unitats emprades.
• <b>Dosificació/dosatge</b>	Acció d'establir o aplicar la quantitat de producte fitosanitari o traçador a distribuir en funció d'algun paràmetre de la plantació per a aconseguir una determinada dosi.
• <b>Mètode dinàmic de dosificació</b>	Mètode pel que la dosificació de brou fitosanitari va variant a mesura que el polvoritzador es desplaça per la plantació mentre està realitzant el tractament fitosanitari.
• <b>Coefficient d'aplicació</b>	Volum de brou fitosanitari necessari per a distribuir correctament la quantitat de matèria activa requerida per unitat de volum de capçada.
• <b>Densitat foliar de la capçada</b>	Superfície de fulla per unitat de volum de la capçada.
• <b>Deposició</b>	Massa de producte fitosanitari o traçador dipositada per unitat de superfície foliar.
• <b>Eficiència d'aplicació</b>	Massa de producte fitosanitari o traçador dipositada en la capçada respecte a la total aplicada per unitat de superfície conreada (dosi).
• <b>Polvorització</b>	Acció de reduir un líquid a gotes petites de dimensions controlades.
• <b>Polvoritzador hidropneumàtic</b>	Equip emprat en la distribució de productes fitosanitaris que trenca el brou fitosanitari en una polvorització de fines gotes de líquid i que genera un corrent d'aire per a facilitar el seu transport i distribució en la capçada. En aquesta tesi doctoral s'empra el terme polvoritzador per a designar els polvoritzadors hidropneumàtics que s'han emprat.
• <b>Recuperació</b>	Massa de producte fitosanitari o traçador dipositada en la capçada per unitat de superfície conreada.
• <b>Volum d'aplicació unitari</b>	Volum de brou fitosanitari aplicat per unitat de superfície conreada utilitzat per a distribuir el producte fitosanitari o traçador en la plantació.
• <b>Volum de capçada unitari</b>	Volum de capçada per unitat de superfície conreada.
• <b>Volum de capçada instantani</b>	Volum de capçada estimat a partir d'una sola lectura dels sensors per a la caracterització de la capçada.
• <b>Tecnologies de dosificació variable</b>	Tecnologies pròpies de l'agricultura de precisió que permeten l'autoregulació dels equips de distribució d'entrades agrícoles a mesura que avancen per la parcel·la en funció de les comandes proporcionades per un dispositiu electrònic de regulació a partir de la informació de sensors i treballant en temps real o a partir de mapes de distribució realitzats amb antelació.



**NOTACIÓ.- Sigles i acrònims**

<b>Sigla/acrònim</b>	<b>Denominació</b>
ANSI	<i>American National Standard Institute</i>
CMA	Centre de Mecanització Agrària del Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural de la Generalitat de Catalunya
DAR	Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural de la Generalitat de Catalunya
GPS	Sigla anglosaxona del sistema <i>Global Positioning System</i> , traduïble per Sistema de Posicionament Global
ICC	Institut Cartogràfic de Catalunya
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
làser	Neologisme originat per la sigla anglosaxona de l'expressió <i>light amplification by stimulated emissions of radiation</i> , emprada per a la designació d'una font de llum que utilitza l'emissió estimulada de radiació per a amplificar la llum i emetre un raig coherent i normalment d'alta monocromaticitat i direccionalitat
lidar	Neologisme originat per l'acrònim anglosaxó de l'expressió <i>light detection and ranging</i> , emprada per a la designació de la tecnologia òptica que utilitza un feix de llum per a la detecció i quantificació de la distància a la que se situa un objecte que l'intercepta
MAP/PWM	Modulació de l'amplada de pols / <i>Pulse With Modulation</i>
MARM	Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino
OCDE/OECD	Organització per a la Cooperació i el Desenvolupament Econòmic <i>Organisation for Economic Co-operation and Development</i>
OEPP/EPPO	Organització Europea i mediterrània per a la Protecció de les Plantes <i>European and Mediterranean Plant Protection Organization</i>
SSD/DSS	Sistema de Suport a la Decisió / <i>Decision Support System</i>
SSNG/GNSS	Sistema Satel·litari de Navegació Global / <i>Global Navigation Satellite System</i>
TDV/VRT	Tecnologies de Dosificació Variable / <i>Variable Rate Technologies</i>

## NOTACIÓ.- Variables i símbols

– Unitats bàsiques emprades: longitud (L), massa (M), temps (T) i intensitat de corrent (I) –

Símbol o sigla	Denominació	Dimensió
$a$	Amplada de carrer	L
$A$	Superfície total de parcel·la	$L^2$
$b$	Alçada de capçada	L
$b_j$	Alçada de capçada assignada al sensor $j$	L
$B$	Alçada d'arbre	L
$c$	Semiampçada de capçada	L
$c_j$	Semiampçada de capçada estimada pel sensor $j$	L
$C_j$	Semiampçada de capçada estimada a partir del sensor $j$	L
$c_{M\max}$	Semiampçada màxima de capçada de la plantació	L
$C$	Amplada de capçada	L
$C'$	Amplada de capçada mesurada a la meitat de l'alçada de capçada	L
$C_b$	Concentració de traçador al brou fitosanitari de cada tractament	$ML^{-3}$
$C_m$	Concentració de metall en l'aigua de rentat estimada en laboratori	$ML^{-3}$
$C_N$	Concentració de normalització del traçador al brou fitosanitari	$ML^{-3}$
$CH$	Coefficient d'homogeneïtat	1
$c_k$	Coordenada $x$ de la semiampçada de capçada corresponent al $k$ -èssim punt $(x,y)$ determinat pel sensor lidar	L
$d$	Distància estimada pels sensors	L
$d_{sj}$	Distància estimada pel sensor $j$	L
$D$	Dosi de producte o traçador aplicada	$ML^{-2}$
$D_o$	Dosi de producte o traçador requerida per a aconseguir la deposició objectiu	$ML^{-2}$
$d_f$	Deposició foliar de producte o traçador: quantitat de producte o traçador dipositada per unitat de superfície foliar	$ML^{-2}$
$d_{fo}$	Deposició foliar objectiu o òptima	$ML^{-2}$
$d_{fe}$	Deposició foliar estimada pel model estadístic ajustat	$ML^{-2}$
$d_{te}$	Deposició a terra estimada pel model estadístic ajustat	$ML^{-2}$
$d_N$	Deposició normalitzada	$ML^{-2}$
$d_m$	Deposició individual d'una mostra	$ML^{-2}$
$\overline{d_{fN}}$	Deposició foliar mitjana normalitzada	$ML^{-2}$
$\overline{d_{tN}}$	Deposició a terra mitjana normalitzada	$ML^{-2}$
DMV	Diàmetre de la mediana volumètrica ( <i>Volume Median Diameter</i> , VMD, en la seva denominació anglosaxona)	L
DMN	Diàmetre de la mediana numèrica ( <i>Number Median Diameter</i> , VMD, en la seva denominació anglosaxona)	L
DV <sub>10</sub>	Diàmetre de gota del percentil 10% del volum polvoritzat acumulat	L
DV <sub>90</sub>	Diàmetre de gota del percentil 90% del volum polvoritzat acumulat	L
$e$	Coefficient de reducció relatiu a l'estadi vegetatiu del conreu	1
$e_j$	Distància del sensor $j$ al centre del carrer	L
$e_L$	Distància de l'origen de coordenades del sensor lidar al centre del carrer	L
$F$	Índex de frondositat: superfície foliar per unitat de volum de capçada	$L^{-1}$
$i$	Coefficient d'aplicació: volum de brou fitosanitari necessari per a distribuir correctament la quantitat de matèria activa requerida per unitat de volum de capçada	1

Símbol o sigla	Denominació	Dimensió
$I_{AF}$	Índex d'Àrea Foliar: superfície foliar per unitat de superfície conreada (Leaf Area Index, LAI, en la seva denominació anglosaxona)	1
$I_{Sem}$	Senyal de resposta, en intensitat de corrent, del cabalímetre electromagnètic	I
$K$	Factor adimensional de correcció del diàmetre de les gotes	1
$L$	Símbol per a designar la unitat de volum litre no pròpia però acceptada per al seu ús en el Sistema Internacional d'Unitats. S'ha optat per a utilitzar aquesta unitat de volum donat que les recomanacions d'expressió de la dosi proposades en la norma EPPO PP1/239 es donen, entre d'altres, en aquesta unitat i, concretament, en la seva notació majúscula, per tal d'evitar confusions amb d'altres símbols.	$L^3$
$m$	Coefficient adimensional de cabal	1
$N$	Nombre de seccions independents i sensors existents en el polvoritzador	1
$p$	Coefficient adimensional de reducció del cabal aplicat	1
$p_s$	Perímetre de la semisecció transversal instantània	L
$P$	Pressió hidràulica en el circuit del polvoritzador	$MT^{-2}L^{-1}$
$PD$	Pèrdues de traçador per deriva absolutes per unitat de superfície conreada	$ML^{-2}$
$PD_r$	Percentatge de pèrdues de traçador per deriva relatives, respecte del total aplicat	1
$PT$	Pèrdues de traçador a terra absolutes per unitat de superfície conreada	$ML^{-2}$
$PT_r$	Percentatge de pèrdues de traçador a terra relatives, respecte del total aplicat	1
$Q$	Cabal a emetre pel polvoritzador en el seu conjunt	$L^3T^{-1}$
$Q_{M\acute{a}x}$	Cabal màxim a emetre pel polvoritzador en el seu conjunt	$L^3T^{-1}$
$Q_c$	Cabal instantani a emetre per un costat del polvoritzador	$L^3T^{-1}$
$q_u$	Cabal emès per un broquet hidràulic	$L^3T^{-1}$
$q_j$	Cabal instantani a polvoritzar per la secció $j$ del polvoritzador	$L^3T^{-1}$
$q_{M\acute{a}x}$	Cabal màxim que ha d'emetre cada secció del polvoritzador	$L^3T^{-1}$
$Q_r$	Cabal real instantani emès	$L^3T^{-1}$
$Q_t$	Cabal teòric instantani a emetre	$L^3T^{-1}$
$Q_{EM}$	Cabal estimat per un cabalímetre electromagnètic	$L^3T^{-1}$
$Q_T$	Cabal estimat per un cabalímetre de turbina	$L^3T^{-1}$
$r$	Coefficient de correlació mostral	1
$r_h$	Resolució horitzontal de mostratge de la capçada	$L^{-1}$
$R$	Recuperació	$ML^{-2}$
$R^2$	Coefficient de determinació	1
$S$	Secció transversal de la capçada	$L^2$
$s$	Semisecció transversal de la capçada	$L^2$
$s_j$	Semisecció transversal de la capçada estimada pel sensor $j$	$L^2$
$S_c$	Superfície del col·lector d'una mostra	$L^2$
Span	Diferència entre el $DV_{90}$ i el $DV_{10}$	L
SPV	Superfície de paret vegetal	$L^2$
$T$	Temps d'execució del bucle de regulació del programa de control del prototipus	T
$TRV$	Paràmetre que indica el volum de capçada per unitat de superfície conreada amb una determinada metodologia de càlcul (de l'anglès <i>Tree Row Volume</i> )	L
$TRV_{SW1}$	Variante del $TRV$ utilitzada a Suïssa per a estimar la capçada d'arbres amb gran volum foliar	L
$TRV_{SW2}$	Variante del $TRV$ utilitzada a Suïssa per a estimar la capçada d'arbres amb volum foliar normal	L
$TRV_{US}$	Variante del $TRV$ estimada d'acord amb la metodologia desenvolupada als Estats Units	L
$v$	Velocitat d'avanç de l'equip	$LT^{-1}$
$V$	Senyal de control, en tensió, a enviar a les electrovàlvules proporcionals	$L^2MT^{-3}I^{-1}$

Símbol o sigla	Denominació	Dimensió
$V_j$	Senyal de control, en tensió, a enviar a les electrovàlvules proporcional de la secció $j$	$L^2MT^{-3}I^{-1}$
$V_A$	Volum d'aplicació unitari	L
$V_{Am}$	Volum d'aplicació unitari mínim	L
$v_b$	Volum de brou fitosanitari	$L^3$
$V_C$	Volum de capçada	$L^3$
$V_{cu}$	Volum de capçada unitat	$L^3$
$V_{CS}$	Volum de capçada unitari	L
$V_{Ci}$	Volum de capçada instantani	$L^3$
$V_R$	Volum de rentat d'aigua desionitzada	$L^3$
$VRV$	<i>Vine Row Volume</i> : variant del <i>TRV</i> aplicada a la vinya.	L
$v_s$	Senyal de resposta, en tensió, emès pel sensor d'ultrasons	$L^2MT^{-3}I^{-1}$
$v_{sj}$	Senyal de resposta, en tensió, emès pel sensor d'ultrasons $j$	$L^2MT^{-3}I^{-1}$
$V_{S1}$	Volum de capçada estimat amb el sensor d'ultrasons S1	$L^3$
$V_{S1+2}$	Volum de capçada estimat amb els sensors d'ultrasons S1 i S2	$L^3$
$x_k$	Coordenada $x$ del $k$ -èssim punt $(x,y)$ determinat pel sensor lidar	L
$\hat{y}$	Valor mostral de la distància estimat per la recta de regressió del model de regressió lineal simple	L
$y_c$	Coordenada $y$ corregida corresponent a la parella de punts $(x,y)$ en que l'impacte del feix lidar es produeix més enllà del pla central de la fila	L
$y_L$	Posició del sensor lidar respecte el terra	L
$\alpha$	Nivell de significació a les proves estadístiques	1
$\alpha_L$	Argument polar de la parella cartesiana $(x,y)$	1
$\hat{\beta}_0$	Ordenada a l'origen en el model de regressió lineal simple	L
$\hat{\beta}_1$	Pendent de la recta del model de regressió lineal simple	1
$\Delta PO_{100}$	Increment de polsos detectat en un interval temporal de 100 ms	1
$\varepsilon$	Error experimental de la determinació en els models estadístics ajustats	$ML^{-2}$
$\varepsilon_a$	Eficiència d'aplicació	1
$\rho$	densitat del líquid polvoritzat	$ML^3$
$\rho_f$	Densitat foliar: superfície de fulla per unitat de volum de capçada	$L^{-1}$
$\rho_i$	Densitat d'impactes: nombre de gotes dipositades per unitat de superfície foliar	$L^{-2}$
$\mu$	Deposició mitjana	$ML^{-2}$
$\tau$	Efecte del factor Tractament en el model ajustat en l'anàlisi factorial de la deposició	$ML^{-2}$
$\chi$	Efecte del factor Costat de la fila en el model ajustat en l'anàlisi factorial de la deposició	$ML^{-2}$
$\zeta$	Efecte del factor Zona de mostratge en el model ajustat en l'anàlisi factorial de la deposició	$ML^{-2}$
$\eta$	Efecte del factor Alçada de capçada en el model ajustat en l'anàlisi factorial de la deposició	$ML^{-2}$
$\pi$	Efecte del factor Profunditat de mostratge en el model ajustat en l'anàlisi factorial de la deposició	$ML^{-2}$

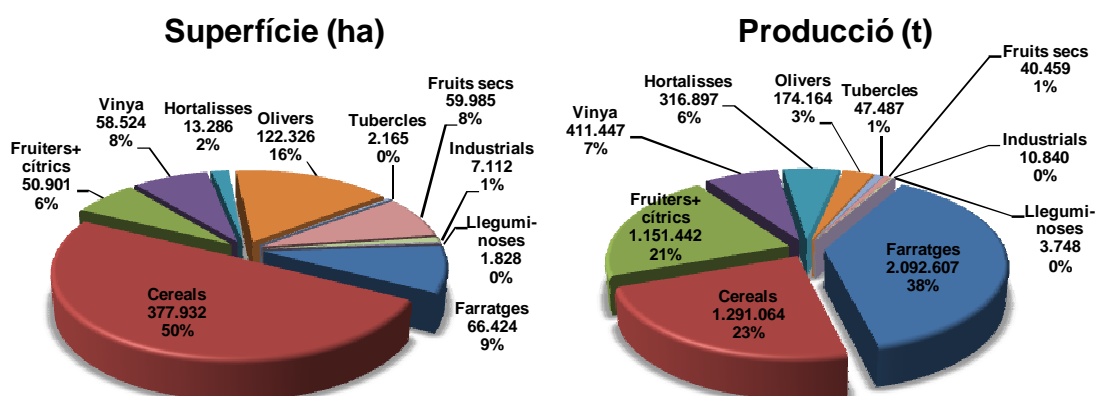


# 1

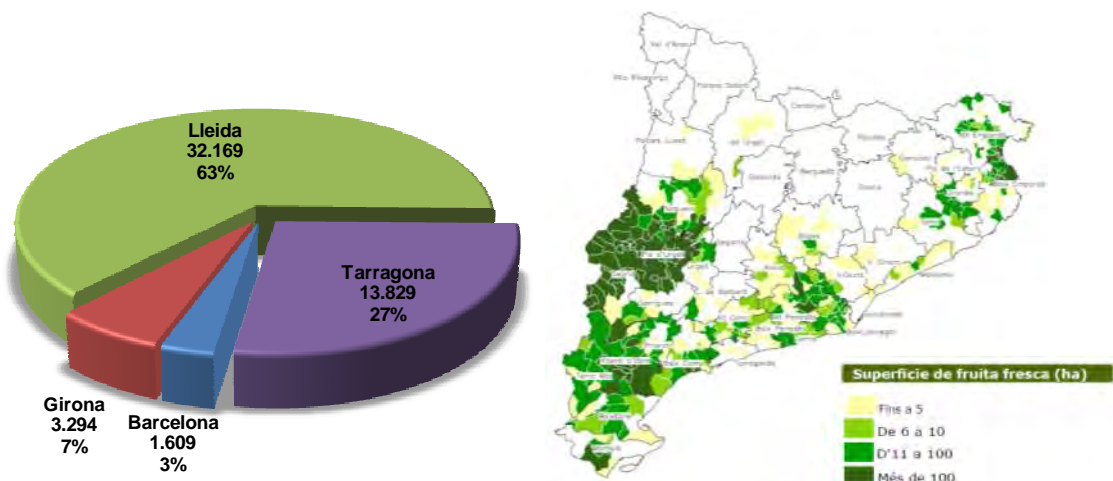
## Introducció



La present tesi doctoral es centra en l'aplicació de productes fitosanitaris en plantacions fructícoles arbòries de la zona de Lleida. Concretament, els conreus en els que s'ha realitzat el treball experimental han estat perers i pomers. A Catalunya, l'any 2008 els conreus arboris per a la producció de fruita fresca (fruiters i cítrics) van ocupar un 6% de la superfície agrària i la sisena posició en el rànquing de conreus. Tanmateix, la seva producció va ser del 21% del total, esdevenint el tercer conreu després dels farratges i els cereals, contemplant tant el gra com la palla (Figura 1.1). La majoria de la superfície dedicada a la producció de fruita fresca està localitzada a comarques de la demarcació de Lleida (Figura 1.2).



**Figura 1.1.-** Distribució de la superfície agrícola i produccions obtingudes segons conreus a Catalunya l'any 2008 (font: *Estadístiques Agràries 2008*, Gabinet Tècnic del DAR, <http://www20.gencat.cat/porta/site/DAR>).



**Figura 1.2.-** Distribució de les superfícies de conreus arboris de fruita fresca en producció (ha) a Catalunya l'any 2008 (esquerra; font: *Estadístiques agràries 2008*, DAR, <http://www20.gencat.cat/porta/site/DAR>) i distribució espacial de la superfície de fruita fresca a Catalunya (dreta; font: *Informe anual 2008*, Observatori de la fruita fresca, DAR, <http://www20.gencat.cat/porta/site/DAR>).

Els conreus destinats a la producció de fruita fresca són el presseguer i el nectariner, el perer, el pomer i els cítrics, que es reparteixen el 97% de la superfície destinada a fruita fresca. En referència a les produccions obtingudes l'any 2008, el conreu amb més producció va ser el pomer seguit de molt a prop pel presseguer i nectariner; el perer ocupà el tercer lloc (Figura 1.3). A nivell espanyol, l'any 2007 la producció de pomes i peres catalana representà, aproximadament, un terç de la superfície i de la producció destinada a aquests productes (Figura 1.4).



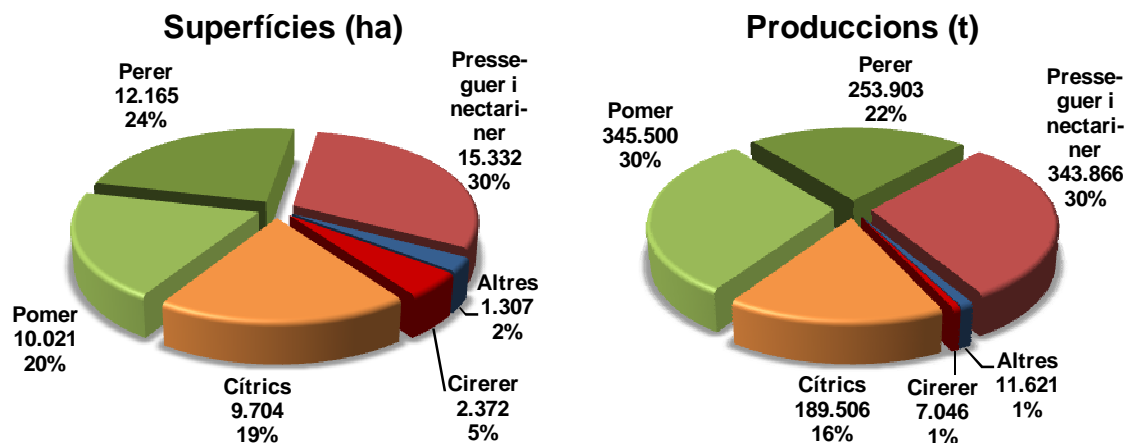


Figura 1.3.- Superfícies de conreus fruiters en producció i produccions obtingudes a Catalunya l'any 2008 (font: *Estadístiques Agràries 2008*, Gabinet Tècnic del DAR, <http://www20.gencat.cat/portal/site/DAR>).

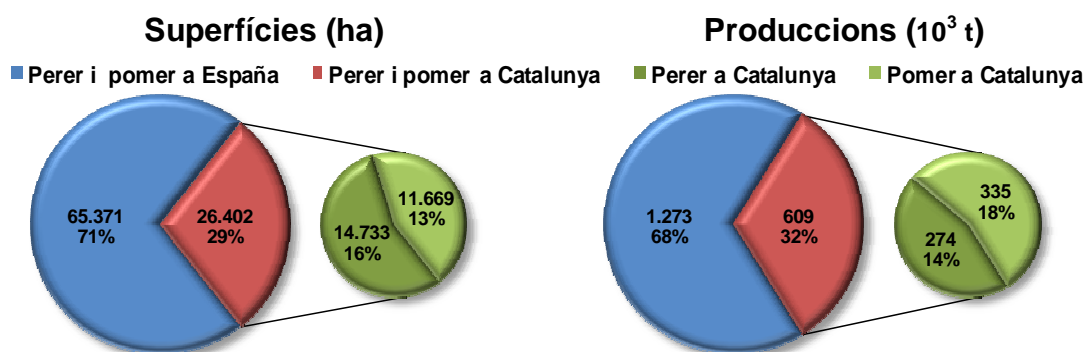


Figura 1.4.- Superfícies en producció i produccions obtingudes a Espanya l'any 2007 (font: *Anuario de Estadística 2008*, MARM, <http://www.mapa.es/es/estadistica/pags/anuario/introduccion.htm>).

En el marc europeu, l'any 2007 la producció catalana de pomes i peres va ser la vuitena dels països europeus productors de fruita fresca (Figura 1.5).

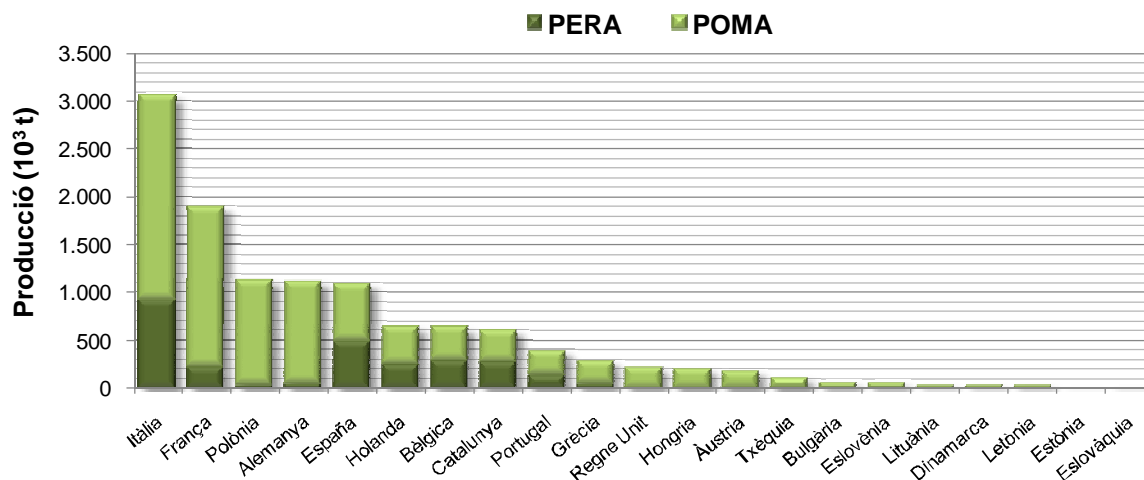
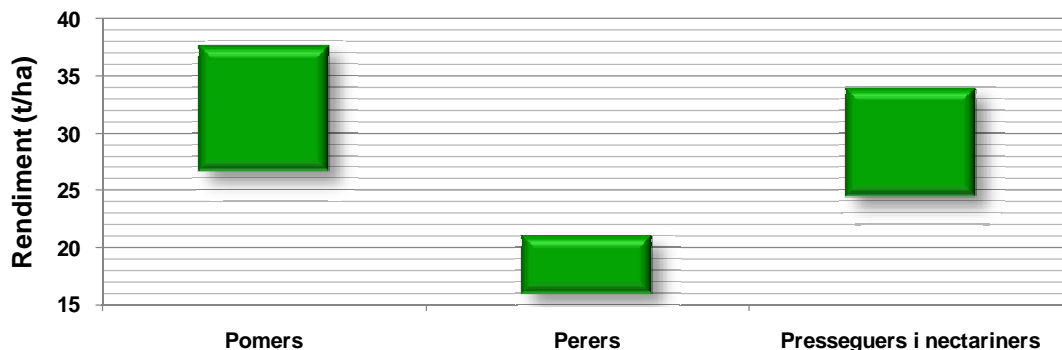


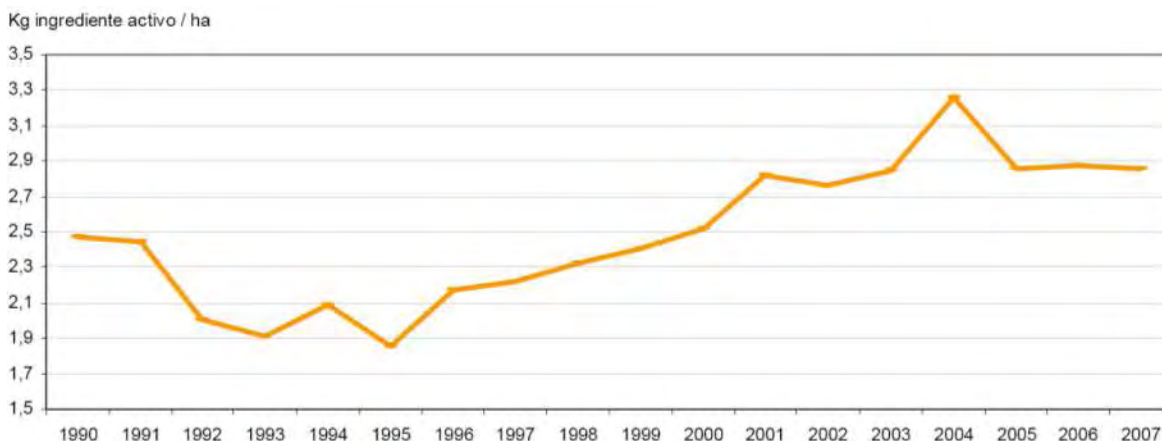
Figura 1.5.- Producció de poma i pera a Europa i a Catalunya l'any 2007 (font: *Informe anual 2008*, Observatori de la fruita fresca, DAR, <http://www20.gencat.cat/portal/site/DAR>).

Per tal d'assolir les produccions esmentades en les superfícies conreades mostrades en les diferents figures, es necessari mantenir uns rendiments elevats. L'any 2008, els rendiments mitjans de pomers, perers, presseguers i nectariners dels regadius de Catalunya foren els indicats a la Figura 1.7.



**Figura 1.6.-** Rendiments dels conreus pomers, perers, presseguers i nectariners en els regadius de Catalunya l'any 2008 (font: *Estadístiques Agràries 2008*, Gabinet Tècnic del DAR, <http://www20.gencat.cat/portal/site/DAR>).

En l'assoliment i manteniment d'aquests rendiments, és indispensable la utilització intensiva de productes fitosanitaris. Les operacions d'aplicació de productes fitosanitaris són unes de les actuacions més importants en la fructicultura degut a la seva repercussió en la preservació de la quantitat i qualitat de la producció final. A la sèrie història de la Figura 1.7 es pot apreciar com la quantitat de matèria activa aplicada per hectàrea a Espanya ha tendit a un creixement continuat des de l'any 1993 fins l'actualitat. Tanmateix, els valors indicats són mitjanes estimades a partir de tots els conreus en producció. L'ús de productes fitosanitaris en conreus fruiters, degut a la seva intensificació, té consums superiors a les mitjanes indicades.



**Figura 1.7.-** Evolució del consum unitari de productes fitosanitaris a Espanya de l'any 1990 al 2007 (font: Banco público de indicadores ambientales del Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, [http://www.mma.es/portal/secciones/calidad\\_contaminacion/indicadores\\_ambientales/banco\\_publico\\_ia/index.htm](http://www.mma.es/portal/secciones/calidad_contaminacion/indicadores_ambientales/banco_publico_ia/index.htm)).

Segons estima Millán (2009) en el seu estudi de costos de les explotacions fruiteres per a l'any 2008, l'adquisició de productes fitosanitaris en explotacions de perers, pomers, presseguers i nectariners catalanes oscil·la entre 400 €/ha i 600 €/ha. Aquest cost varia entre el 3,57% i el 4,22% del total de costos de l'explotació. A aquest cost cal afegir el cost de la maquinària i el de la mà d'obra, no essent difícil d'arribar al 10% o 15% dels costos totals. L'autor considera que el nombre

mitjà de tractaments pot variar entre 8 i 12. En ocasions, segons el clima de cada campanya i la incidència de les plagues i malalties, és possible arribar a la xifra de 18 o més aplicacions, fet que incrementa encara més els costos. L'estudi al que es fa referència no té en compte els costos ambientals derivats de l'aplicació d'aquests productes.

La quantitat de productes fitosanitaris consumida té, per tant, un impacte considerable en l'economia de les explotacions i en el medi ambient que les envolta. Aquest fet justifica la recerca que s'ha realitzat en aquest camp en els darrers 50 anys així com la que encara resta per fer. Assolir un equilibri entre l'eficàcia en el control de plagues i malalties, les dosis emprades, la minimització de l'impacte ambiental i la seguretat d'operaris i consumidors depèn de molts aspectes. Alguns d'aquests aspectes depenen de les pràctiques culturals de l'explotació, la motivació i la formació dels agricultors, els mitjans d'aplicació de productes fitosanitaris que s'emprin i la seva regulació així com de paràmetres ambientals ocorreguts durant les aplicacions.



A partir de la revisió bibliogràfica realitzada i de la identificació del problema, aquesta tesi doctoral defensa que, si es desitja realitzar tractaments fitosanitaris més eficients i respectuosos amb el medi ambient, és imprescindible obtenir informació més detallada sobre l'objectiu a tractar. En aquest treball de recerca, l'objectiu a tractar és la capçada de les plantacions fruiteres de perers i pomers; el que es pretén és incidir en la dosificació dels productes durant els tractaments fitosanitaris per tal d'ajustar la dosi aplicada a la capçada. Aquest fet permetrà aplicar únicament la quantitat necessària de producte reduint al màxim les pèrdues de producte i la variabilitat de les deposicions de matèria activa sobre les fulles.

L'objectiu general és aconseguir aplicacions de productes fitosanitaris més eficients, rendibles i respectuoses amb el medi ambient sense comprometre la seva eficàcia en el control de plagues i malalties. A tal efecte, es desenvolupa un mètode dinàmic de dosificació variable en temps real capaç de calcular el cabal de brou fitosanitari que ha d'aplicar un polvoritzador a un determinat volum de capçada estimat electrònicament.

Una vegada identificat el problema, plantejades les hipòtesis de partida (Capítol 3) i establerts els objectius (Capítol 4), el treball experimental de la tesi doctoral s'organitza en quatre capítols. Al Capítol 5 es desenvolupa un mètode dinàmic per a la dosificació variable contínua en temps real de productes fitosanitaris. Una de les entrades del mètode proposat són les característiques dimensionals de la capçada objectiu. Al Capítol 6 es desenvolupa i es valida un sistema per a la caracterització electrònica de la capçada en temps real. Per tal de poder validar el mètode desenvolupat és necessari disposar d'un polvoritzador que sigui capaç de dur-lo a la pràctica. Actualment, al mercat no hi ha cap polvoritzador comercial amb aquestes característiques. Per aquest motiu, al Capítol 7 es descriu el procés de disseny, implementació i validació del prototipus de polvoritzador que ha de permetre la validació del mètode desenvolupat. Al Capítol 8 es descriu la validació del mètode dinàmic de dosificació en plantacions de perers i pomers. Els darrers capítols corresponen a les conclusions generals del treball (Capítol 9) i a futurs desenvolupaments (Capítol 10).

Les tasques desenvolupades per a la realització d'aquesta tesi doctoral s'han dut a terme en col·laboració amb el Centre de Mecanització Agrària del Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural (en endavant CMA) i el Departament d'Enginyeria Agroforestal de la Universitat de

Lleida. Aquest fet ha permès la utilització de la infraestructura del CMA en les tasques de laboratori i de camp i comptar amb l'ineestimable col·laboració dels seus dos directors i de tot el seu personal, sense el qual no s'hagués pogut realitzar aquest treball.

Aquesta tesi doctoral s'ha realitzat en el marc de tres projectes de recerca finançats per sengles plans nacionals d'I+D+i espanyols que es comentaran degudament en la revisió bibliogràfica del Capítol 2. Els títols i referències dels projectes són els següents:

- *Desarrollo de túneles y sistemas electrónicos de control de la pulverización.*  
Referència: AGF1998-0348-C03-02.  
Investigador principal: Francesc Solanelles Batlle.
- *Ajuste de la dosis de producto fitosanitario en tratamientos de cultivos arbóreos (frutales, viñedo y cítricos).*  
Referència: AGL2002-04260-C04-02.  
Investigador principal: Santiago Planas de Martí.
- *Reducción del uso de productos fitosanitarios en cultivos arbóreos. Optimización de las dosis de aplicación en tratamientos mecanizados de cítricos, frutales y vid.*  
Referència: AGL2007-66093-C04-03.  
Investigador principal: Joan Ramon Rosell Polo.



# **2** **Revisió bibliogràfica**



## 2.1 Introducció

---

En aquest Capítol 2 es fa una revisió de la bibliografia propera a la temàtica estudiada publicada abans de l'inici de la tesi doctoral, durant la seva execució i una vegada acabat el treball experimental. La revisió contempla aspectes relacionats amb l'aplicació de productes fitosanitaris i amb la incorporació de les noves tecnologies en aquesta matèria. També s'ha realitzat una revisió en l'àmbit de l'agricultura de precisió per tal de poder analitzar possibles paral·lelismes amb l'objecte de la tesi doctoral. Els darrers anys, les aportacions sobre aquesta temàtica són contínues. A cada número que es publica de les revistes especialitzades apareixen nous avenços, precisament pel caràcter innovador d'aquest camp de la recerca i la transferència de coneixements. La revisió bibliogràfica que es va realitzar inicialment ha servit com a punt de partida dels treballs de la tesi doctoral. L'actualització de la revisió ha permès contextualitzar les aportacions realitzades en aquest treball amb les diferents línies de recerca que s'estan duent a terme actualment.

## 2.2 Agricultura de precisió

---

L'agricultura de precisió és una manera relativament recent de dur a terme la pràctica agrícola. Les publicacions científiques més primerenques daten de principis dels anys 90. No va ser fins el 1992 en que es va fer la primera conferència específica per a aquesta temàtica, la *International Conference on Precision Agriculture*, amb seu a Minneapolis, als Estats Units i fins el 1997 que no es va fer una conferència específica a Europa, la *European Conference on Precision Agriculture*, que va tenir lloc a Warwick, al Regne Unit.

L'enfocament de l'agricultura de precisió és pluridisciplinari i, per tant, té aplicacions en tots els camps relacionats amb l'agronomia. Aquest fet comporta que sigui difícil fer una única definició del que s'entén per agricultura de precisió. Per aquest motiu i d'altres que es comentaran més endavant, a la bibliografia científica hi ha diverses expressions que es fan servir per a anomenar aquest tipus d'agricultura com la ja esmentada d'"agricultura de precisió"; *precision farming*, traduïble per "conreu de precisió"; *site-specific management*, traduïble per "maneig específic localitzat" i altres termes combinació dels anteriors i amb menys acceptació.

Per a McBratney i Taylor (2000) l'agricultura de precisió és, "simplificant, usar les noves tecnologies de la informació juntament amb l'experiència agronòmica de manera localitzada per tal de maximitzar l'eficiència de producció, maximitzar la qualitat i minimitzar l'impacte ambiental de l'agricultura i els seus riscos". Una altra definició recollida en la bibliografia és "l'aplicació de recursos a un conreu de manera localitzada d'acord amb les seves necessitats" (Stafford, 1996). Una definició molt curta però també encertada és la que diu que "l'agricultura de precisió no és res més que transformar dades en decisions" (McBratney i Whelan, 2001; Srinivasan, 2006). Pierce i Nowak (1999) donen una altra definició interessant: "l'agricultura de precisió és l'aplicació de tecnologies i principis per al maneig de la variabilitat espacial i temporal associada a tots els aspectes de la producció agrícola amb el propòsit de millorar la productivitat del conreu i la qualitat ambiental". Aquesta darrera definició té en compte, a més de la variabilitat espacial esmentada en



d'altres, la variabilitat temporal. D'aquesta manera, podríem també dir que agricultura de precisió és aplicar el recurs més adient, en el lloc necessari i en el moment més oportú.

Però la definició més completa, i també la més oficial, és la que recull el codi de lleis dels Estats Units, publicada el 2002 (U.S. House of representatives, 2002) a partir d'un projecte de llei presentat el 1997 (U.S. House of representatives, 1997). Aquesta definició diu el següent:

«El terme "agricultura de precisió" significa un sistema de conreu integrat basat en la informació i la producció que està dissenyat per a incrementar l'eficiència de producció, la productivitat i la rendibilitat de tota l'explotació a llarg termini i de manera localitzada minimitzant l'impacte no desitjat sobre la fauna i el medi, tot:

- A. combinant les ciències agrícoles, les entrades i les pràctiques agrícoles, les bases de dades de producció agronòmica, i les tecnologies d'agricultura de precisió per a manejar de forma eficient els sistemes de producció agronòmics, hortofructícoles i ramaders;
- B. recollint informació de l'explotació sobre el terreny relativa a la variació i a la interacció de factors espacials i temporals locals i específics que afectin a la producció agrícola i ramadera;
- C. integrant aquesta informació amb dades apropiades derivades de la exploració del terreny, de la teledetecció, i d'altres tecnologies d'agricultura de precisió de manera oportuna per tal de facilitar la presa de decisions en l'explotació;
- D. emprant aquesta informació per a prescriure i generar aplicacions locals específiques d'entrades agrícoles i pràctiques de maneig en sistemes de producció agrícoles; o
- E. emprant aquesta informació per a permetre la recol·lecció mecanitzada intel·ligent i els sistemes de classificació per a conreus hortofructícoles.»

El document també defineix l'expressió "tecnologies d'agricultura de precisió" per estar citada en la definició d'agricultura de precisió:

«El terme "tecnologies d'agricultura de precisió" inclou:

- A. instrumentació i tècniques que van des de sensors sofisticats i sistemes informàtics fins a eines per al mostratge manual i la recopilació de dades per a la mesura, enregistrament i gestió d'informació espacial i temporal;
- B. tecnologies per a la recerca i recopilació d'informació per a una bona presa de decisions en la producció agrícola;
- C. tecnologies de sistemes oberts per a xarxes de dades i processament que produeixin sistemes de valor afegit per a la presa de decisions per al maneig de l'explotació;
- D. maquinària que realitzi pràctiques de maneig basades en la informació; o
- E. robots o altres màquines intel·ligents per a ús en sistemes de conreu hortofructícoles.»

Les dues definicions anteriors tenen finalitats polítiques i, per tant, la seva intenció és ser el més exhaustives possible per tal de no deixar cap possibilitat sense contemplar; d'aquí la seva extensió. Aquestes definicions serviran, per exemple, per a atorgar subvencions a determinades pràctiques agrícoles segons si es consideren agricultura de precisió o no. En un àmbit més proper, al Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya s'han publicat dos ordres que contenen l'expressió "agricultura de precisió". És tracta d'ordres que fan pública la subvenció del govern català per a l'adquisició de maquinària agrícola i el terme "agricultura de precisió" tan sols hi consta per a fer referència al tipus d'equipaments emprats per a practicar-la (DOGC, 2006; DOGC, 2008). En cap dels dos casos es defineix el concepte ni s'especifiquen els equips necessaris per a practicar-la. A l'estat espanyol no hi ha cap *Boletín Oficial del Estado* que contingui l'expressió ni cap definició oficial així com tampoc apareix en el Diari Oficial de la Unió Europea.

En referència al maneig específic localitzat (*site-specific management*), a continuació es detallen algunes definicions. "El maneig específic localitzat és el maneig de conreus agrícoles a una escala

espacial menor que la de la parcel·la” (Plant, 2001). Griepentrog *et al.* (2003) mantenen que, en un futur proper la unitat mínima de maneig arribarà a ser la planta entesa com a individu i, per tant, cal dotar l'agricultura actual de les eines necessàries per a arribar a aquest grau de resolució espacial en les tasques de maneig. Alguns autors opinen que el maneig específic localitzat és simplement un subconjunt de tècniques de l'agricultura de precisió que, fins i tot, es podria portar a la pràctica sense dispositius electrònics de cap tipus (Nell *et al.*, 2006).

I, finalment, una definició de l'expressió conreu de precisió (*precision farming*) és la que diu que “conreu de precisió és un enfocament del maneig de sòls i conreus per a reduir la incertesa de les decisions a través de manejar i d'entendre millor la variabilitat espacial i temporal” (Dobermann *et al.*, 2004). Com es pot apreciar, es tracta d'una definició molt similar a les que s'han fet de les expressions agricultura de precisió i maneig específic localitzat.

Pel que fa a la diferència entre agricultura de precisió (*precision agriculture*), conreu de precisió (*precision farming*) i maneig específic localitzat (*site-specific management*), aquestes expressions es fan servir com a sinònims en alguns països però també per a definir conceptes diferents en d'altres. En la majoria de països, agricultura de precisió i conreu de precisió són sinònims. A Austràlia, un dels països on més es practica l'agricultura de precisió, els termes conreu de precisió (*precision farming*) i maneig específic localitzat (*site-specific management*) es confonen perquè interpreten el terme *farming* només com a sinònim de *cropping* o conreu de conreus baixos. En canvi, al Regne Unit i a d'altres països, conreu de precisió fa referència a tot tipus de conreus (McBratney i Whelan, 2001). Segons el Centre Australià per a l'Agricultura de Precisió (ACPA, sigla d'*Australian Center for Precision Agriculture*), el maneig específic localitzat és “una forma d'agricultura de precisió segons la qual les decisions sobre l'aplicació de recursos i les pràctiques agronòmiques són millorades per a adaptar-se en major mesura a les necessitats del sòl i del conreu a mesura que varien en el camp” (Whelan, 2007).

En aquest treball s'emprarà l'expressió “agricultura de precisió” per a fer referència al conjunt de pràctiques, tècniques i tecnologies que participen en la recopilació d'informació, la presa de decisions i el maneig específic localitzat per ser la forma més àmpliament difosa i acceptada en la bibliografia especialitzada i en el mercat fins al moment.

En definitiva, tots els autors coincideixen en que l'agricultura de precisió es basa en mesurar la variabilitat espacial i/o temporal de diferents paràmetres del procés productiu agrícola com el rendiment del conreu, la composició del sòl, la massa vegetal i tants d'altres per tal d'elaborar una estratègia de maneig específica que permeti incrementar l'eficiència productiva. I tot això a una escala menor que la parcel·la, per tal de localitzar el maneig permetent esmerçar més recursos en les zones amb potencial per a millorar la seva productivitat i reduir les aportacions en les zones saturades sense possibilitat de produir més ni millor.

De fet, Plant (2001) diu que abans de la mecanització de l'agricultura, l'agricultor tenia un contacte molt més “íntim” amb la parcel·la que treballava de manera que coneixia el seu comportament i, en certa manera, compensava els efectes de la seva variabilitat amb un maneig específic localitzat. Amb l'adveniment de la mecanització agrària, aquest contacte entre agricultor i parcel·la es va anar perdent en pro de la reducció dels costos de mà d'obra, afavorit pel baix cost dels productes a distribuir. La utilització de la maquinària de distribució va comportar una uniformització del maneig i, per tant, un decrement de l'eficiència global i un augment dels riscos derivats de l'activitat agrícola. Actualment, l'increment del cost dels productes utilitzats en el maneig de les

explotacions i la creixent preocupació per l'impacte de l'activitat agrícola sobre el medi ambient han provocat una intensa recerca per a la millora de productivitat que, juntament amb els avanços tecnològics, ha desembocat en l'agricultura de precisió per a tornar a recuperar el maneig localitzat específic perdut.

Abans d'adoptar i practicar l'agricultura de precisió en una explotació cal establir certs criteris a satisfer per a justificar la implantació (Miller *et al.*, 1999):

- a) Ha d'existir una variabilitat espacial significativa dins la parcel·la de tal magnitud que afecti a la producció.
- b) Les causes d'aquesta variabilitat s'han de poder identificar i mesurar.
- c) La informació obtinguda a partir d'aquestes mesures s'ha de poder fer servir per a modificar el maneig del conreu de forma diferenciada per tal d'incrementar el rendiment o reduir l'impacte ambiental provocat.

Per tal d'objectivar la decisió d'implantació de l'agricultura de precisió, McBratney *et al.* (2000) proposen un índex d'oportunitat que permet quantificar les possibilitats d'èxit de les tècniques de maneig específic. Eines com aquest índex d'oportunitat van en la línia d'afavorir la implantació de l'agricultura de precisió a gran escala. La determinació de l'índex es basa en tenir en compte tres components:

- a) La magnitud de la variabilitat existent en el mapa de collita.
- b) L'estructura espacial d'aquesta variació tenint en compte la superfície mínima en la que un equip que incorpori tecnologies de dosificació variable pugui treballar correctament (veure apartat 2.2.2.3).
- c) El benefici econòmic i mediambiental de la implantació d'un esquema de treball amb maneig específic localitzat en comparació amb un esquema amb maneig uniforme.

### **2.2.1 Pràctica de l'agricultura de precisió**

La pràctica de l'agricultura de precisió es pot portar a terme seguint tres possibles metodologies (Ess *et al.*, 2000b):

- a) Metodologia basada en mapes d'informació.
- b) Metodologia basada en sensors i en temps real.
- c) Combinació de les dues anteriors (Ostermeier *et al.*, 2007).

En els apartats següents es procedeix a descriure les metodologies per a la pràctica de l'agricultura de precisió.

## 2.2.2 Agricultura de precisió basada en mapes

La metodologia per a la pràctica de l'agricultura de precisió basada en mapes d'informació es fonamenta en la generació de mapes digitals que representin la distribució espacial en la parcel·la d'un o diversos paràmetres del conreu, del sòl o d'altres factors en un instant de temps determinat. A partir d'aquests mapes s'elabora una estratègia d'actuació que indica què, com, quan i on cal realitzar una determinada operació de maneig dins la parcel·la. Aquesta actuació també es representa en un mapa digital, anomenat d'actuació o de prescripció on es mostra l'ordre o consigna en cada punt de la parcel·la. Finalment, la darrera fase de la metodologia és dur a terme el maneig establert sobre el terreny. Tot aquest procés es pot visualitzar a la Figura 2.1 (McBratney i Whelan, 2001).

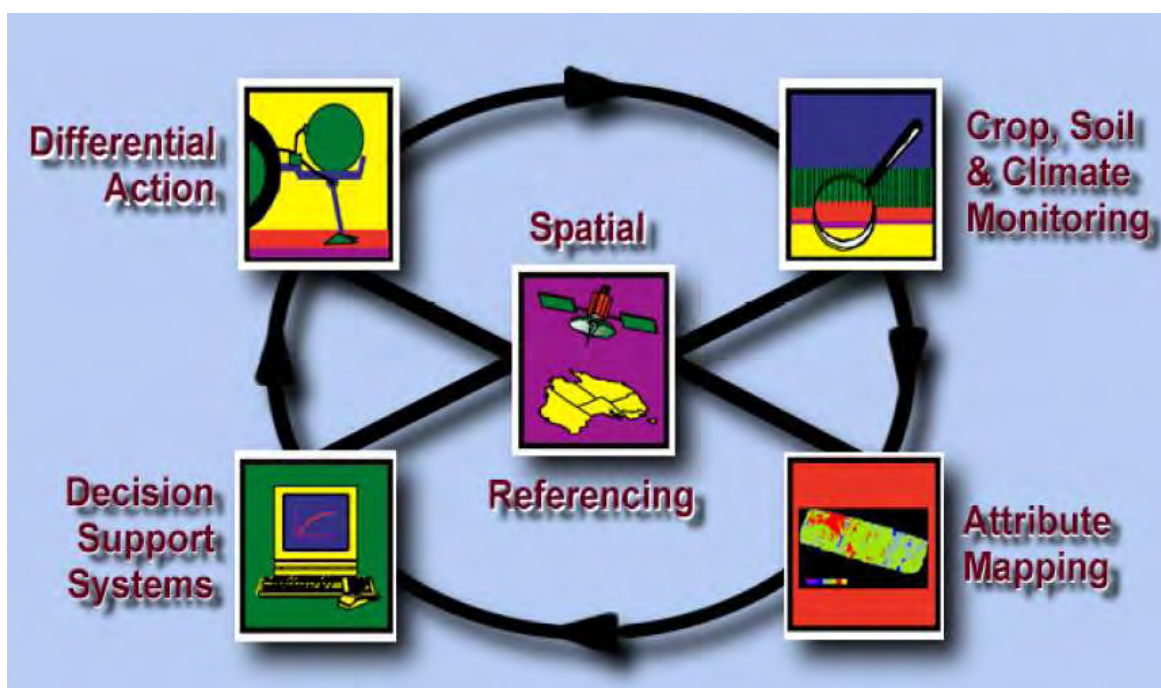


Figura 2.1.- Cicle de l'agricultura de precisió basada en mapes digitals d'informació (font: McBratney i Whelan, 2001).

Tot i que la Figura 2.1 representa un cicle tancat, l'inici lògic seria recopilar informació del conreu, el sòl, el clima i altres paràmetres que es considerin interessants (vinyeta superior dreta). És important que cada vegada que es realitzi una mesura s'enregistri la seva posició dins la parcel·la, és a dir, que es georeferenciïn totes les dades ja que això serà la base de tot el sistema i permetrà poder treballar de manera localitzada (vinyeta central). El pas següent del cicle és representar espacialment les variables mesurades (vinyeta inferior dreta) per tal d'extreure'n la informació necessària per a poder prendre una decisió de maneig mitjançant l'ajut d'algun sistema de suport a la decisió (vinyeta inferior esquerra). A continuació es duu a terme l'operació de maneig seleccionada i es practica de manera diferencial segons la localització de l'equip en la parcel·la (vinyeta superior esquerra). En tractar-se d'un cicle, el següent pas consisteix en recomençar el procés analitzant si les operacions realitzades han tingut l'efecte esperat en l'explotació.

### 2.2.2.1 Elaboració de mapes digitals d'informació

Un mapa és la representació de la distribució espacial d'una determinada variable en el moment en que se'n va realitzar la mesura. Un mapa digital és un arxiu informàtic de tipus imatge el qual consta d'una trama de píxels en la que cada unitat conté, com a mínim, tres dades: la coordenada X, la coordenada Y i el valor numèric de la variable en aquell punt. Les coordenades X i Y serveixen per a posicionar el píxel en un sistema georeferenciat de tipus relatiu o absolut.

L'adquisició de la informació per a elaborar els mapes es fa en dues etapes. La primera etapa és el mostratge a realitzar sobre el terreny i la segona l'anàlisi de les mostres. Tant l'una com l'altra es poden realitzar seguint diverses metodologies:

- a) Mostratge manual: cal desplaçar-se a peu per la parcel·la i prendre les mostres manualment per a realitzar l'anàlisi posteriorment en laboratori.
- b) Mostratge semiautomàtic: la mesura (anàlisi) es realitza sobre el terreny i de manera discreta mitjançant sensors portàtils que cal anar desplaçant pels diferents punts de mostratge a peu o mitjançant un vehicle.
- c) Mostratge totalment automàtic: el mostratge i l'anàlisi els realitza un sensor o conjunt de sensors amb els seus dispositius de control embarcat en un vehicle a mesura que es desplaça per la parcel·la de manera contínua, sense uns punts de mostratge establerts.

El resultat dels tres mètodes és un conjunt de mesures discretes amb més o menys resolució espacial. En els dos primers mètodes cal establir una estratègia de mostratge suficientment representativa a partir de la qual es pugui estimar el valor de la variable en tota la parcel·la de manera contínua. El tercer mètode ja produeix una densitat de mostres elevada degut a les seves característiques. La disciplina que permet l'anàlisi estadística de les mostres georeferenciades per al seu posterior mapat és la geostatística. Mitjançant procediments matemàtics, la geostatística permet interpolar les diverses mesures discretes realitzades sobre el terreny per a aconseguir una distribució espacial contínua adient de la variable en estudi que és la que finalment es representarà en el mapa (Pohlmann, 1993; Goovaerts, 1999; Arnó *et al.*, 2005a; López-Granados *et al.*, 2005).

Un mostratge manual i una anàlisi de les mostres en laboratori pot retardar i encarir el procés en excés sense aconseguir una resolució espacial suficient de les mesures. Per aquest motiu, una part important de la recerca que es fa en agricultura de precisió es centra en el desenvolupament de sensors que permetin un mostratge i una anàlisi de les mostres en continu a mesura que el dispositiu avança per la parcel·la.

Durant el procés de recopilació d'informació s'obtenen mesures de diverses variables per a caracteritzar l'estat del conreu, variables per a descriure el sòl i les seves característiques fisicoquímiques, variables relacionades amb distribucions de determinades plagues o malures, variables per a descriure el microrelleu de la parcel·la i qualsevol altre paràmetre quantificable i georeferenciable que pugui afectar en major o menor mesura la productivitat de la parcel·la o l'impacte ambiental del seu conreu. Sense ànim de ser exhaustius, a continuació es citen alguns exemples d'estudis centrats en el mapat de paràmetres del conreu, del sòl i de distribució de males herbes.

Pel que fa als paràmetres del conreu, un dels més habituals és la distribució espacial del seu rendiment. Les recol·lectores de cereal, les veremadores i altres equips per a la recol·lecció mecanitzada poden portar sensors i altres dispositius embarcats que possibiliten la quantificació de producte recol·lectat a mesura que avança la collita amb una determinada freqüència de mostratge. El nom que reben aquests sistemes tant en l'àmbit comercial com en el de la recerca és el de "monitors de collita". Si a la informació obtinguda amb aquests dispositius li afegim les coordenades on s'han realitzat cadascuna de les lectures, el resultat serà un conjunt de mesures discretes georeferenciades. Una vegada aplicades les tècniques geostatístiques necessàries les dades ja es podran representar de manera contínua en un mapa digital d'informació (Blackmore, 2003).

És evident que el desenvolupament dels sistemes satel·litaris de navegació global, SSNG, (en anglès GNSS, sigla de *Global Navigation Satellite System*) i els diferents sistemes de correcció han facilitat en gran mesura la implantació d'aquesta tecnologia ja que permet la georeferenciació instantània de les mesures. El sistema que ha permès el desenvolupament inicial i actual de l'agricultura de precisió ha estat el GPS americà (sigla de *Global Positioning System*), fins fa poc l'únic disponible. Cal, però, no oblidar el sistema de posicionament rus, anomenat GLONASS (acrònim de *Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*) i el futur sistema de posicionament europeu, el GALILEO. Aquests darrers sistemes de posicionament estan cridats a complementar i millorar la precisió que actualment proporciona el sistema GPS a més de proporcionar altres serveis complementaris de caire únicament civil (en el cas de GALILEO). Tant el sistema americà com el rus tenen cobertura global mentre que l'europeu només tindrà cobertura en aquest continent. Hi ha altres sistemes de posicionament global o regional a diverses zones del món com el sistema indi IRNSS (sigla de *Indian Regional Navigational Satellite System*), el xinès COMPASS, el francès DORIS (sigla de *Détermination d'Orbite et Radiopositionnement Intégrés par Satellite*) i el japonès QZSS (sigla de *Quasi-Zenith Satellite System*).

Els mapes de collita o de producció del conreu són mapes realitzats a partir de mostratges exhaustius (com el que permet la mesura en continu incorporats en alguns equips de recol·lecció mecanitzada). Aquest mapes han posat de manifest l'alta variabilitat en la producció existent en moltes parcel·les. Aquesta variabilitat depèn de complexes relacions agronòmiques entre variables com l'estat hídric de la planta, el seu estat nutricional, la profunditat radicular, propietats físiques del sòl, el drenatge de la parcel·la, la meteorologia, les plagues i malures i el maneig que se'n faci. En l'etapa posterior de presa de decisions caldrà valorar si un maneig diferenciat dins la parcel·la permetria reduir aquesta variabilitat.

Actualment, les recol·lectores de cereals poden realitzar mesures de quantitat de gra recollit i del seu contingut d'humitat però s'està treballant per a poder mesurar altres paràmetres qualitius en continu com per exemple el contingut proteic i altres com el volum de palla produït (Reyns *et al.*, 2002). A tall d'exemple, la vinya és un altre conreu on es poden realitzar mesures de rendiment de manera contínua gràcies a la mecanització de l'operació de recol·lecció (McBratney i Taylor, 2000; Arnó *et al.*, 2005a). En conreus on la recol·lecció és manual, els investigadors treballen per a desenvolupar metodologies per a poder arribar a elaborar els mapes de collita d'una manera senzilla i operativa. En cítrics, per exemple, hi ha dos treballs que presenten solucions similars. El sistema es basa en georeferenciar cadascun dels contenidors on els recol·lectors aboquen la fruita collida en el moment de carregar-los al vehicle de transport. S'assumeix que tots els contenidors tenen un pes aproximat de 400 kg essent la seva distribució espacial en la plantació el que determinarà les zones de rendiment diferenciat (Schueller *et al.*, 1999; Tumbo *et al.*, 2002b). Es

tracta d'un sistema molt menys precís que els sistemes que mesuren la quantitat de fruit recol·lectat de manera automàtica i contínua però cal tenir present, tal com argumenten els autors, que el sistema s'ha dissenyat per tal de distorsionar el mínim possible el procés de recol·lecció manual que, d'altra banda, s'acostuma a realitzar amb personal poc qualificat per a tasques més tecnològiques.

És convenient destacar que els mapes de collita són una part important de l'agricultura de precisió però no ho són tot (McBratney i Taylor, 2000). La importància del mapa de collita rau en que és la informació de partida per a ajustar el maneig de la següent temporada i alhora fa d'indicador de l'encert de les operacions dutes a terme durant la temporada actual (Roberson, 2000).

Precisament per la importància que tenen aquests mapes de collita, és imprescindible reduir la incertesa de les mesures el màxim possible. Per aquest motiu és essencial identificar les fonts d'error per tal de poder-ne pal·liar els seus efectes (Blackmore, 2003). Els errors que es poden cometre durant la presa de dades de rendiment del conreu es poden classificar en quatre grups (Moore, 1998):

- a) Deguts al sensor que quantifica el flux de gra recol·lectat.
- b) Deguts a variables del conreu no mesurades pel monitor de collita.
- c) Deguts al posicionament de les lectures sobre el terreny.
- d) Deguts al maneig de la recol·lectora dins la parcel·la.



A banda dels mapes de collita també és habitual mapar altres paràmetres del conreu per a tenir informació addicional que pot ajudar en el moment de prendre decisions de maneig. A continuació es descriuen alguns exemples de mapes de variables diverses. Una opció per a les plantacions fructícoles és el mostratge i posterior anàlisi de les fulles o peciols per a conèixer el seu estat nutricional. L'inconvenient d'aquest sistema és que tant el mostratge com l'anàlisi cal fer-los de manera manual amb la despesa de mà d'obra, temporal i econòmica que això suposa. En el conreu de l'olivera hi ha un exemple d'aquest procés a Andalusia (López-Granados *et al.*, 2004). Els autors van dividir la plantació en una graella de cel·les de 75 metres quadrats (agruparen els arbres de quatre en quatre) i en georeferenciaren les interseccions. A continuació es prengueren mostres de fulles en dos anys consecutius per tal d'analitzar-ne el contingut de nitrogen, fòsfor, potassi, brom i ferro. Tot aquest procés va ser dut a terme de manera manual. Aquestes mesures permeteren l'elaboració de mapes per a cadascun dels elements i decidir una estratègia de fertilització específica localitzada. El resultat va ser la comprovació que moltes zones ja tenien el contingut adient d'algun dels elements i, per tant, no calia realitzar cap aportació addicional en aquella àrea. Els autors aconseguiren estalvis importants en les aplicacions de nitrogen, potassi i bor ja que es va determinar que no era necessari realitzar aportacions de cobertura total sinó només en les zones amb valors per sota del llindar establert. En el cas del nitrogen, només es van realitzar aplicacions en el 3% i en el 17% de la parcel·la durant dues temporades consecutives. La implantació d'aquesta metodologia de treball millora directament el resultat econòmic de l'explotació i alhora redueix l'impacte ambiental de l'activitat agrícola.

En un altre exemple, aquest cas en vinya (Arnó *et al.*, 2005a), l'objectiu dels diferents mapes realitzats per a diferents variables era poder-los relacionar amb el mapa de collita del conreu per a intentar donar explicació a la seva variabilitat. Els autors varen realitzar mostratges manuals de

variables del sòl com la textura, el pH, la conductivitat elèctrica, el contingut en carbonat càlcic i en matèria orgànica i la profunditat radicular. També prengueren mesures de variables topogràfiques com l'elevació i el pendent i, finalment, variables del contingut mineral del pecíol en dotze elements importants per al desenvolupament de la planta. Així com observen una alta variabilitat en el mapa de collita, la majoria dels altres paràmetres no en presenten tanta (a excepció de l'elevació, la conductivitat elèctrica i el contingut en Fe i Mn del pecíol). Per tal de relacionar els diferents mapes amb la productivitat del conreu es va aplicar una anàlisi factorial i es va determinar que les zones més baixes i amb continguts elevats de N, Ca, Zn i Mn eren aproximadament coincidents amb les zones de major rendiment en una determinada parcel·la de *Pinot Noir*.



Una altra font d'informació és la teledetecció o radiometria. Aquesta disciplina es basa en la interpretació d'imatges preses des de vehicles terrestres fins a plataformes remotes (vols amb avions a gran alçada o imatges preses des de satèl·lits) passant per plataformes aèries properes (com vols amb models teledirigits o vols amb avioneta convencional). En tots els casos, les imatges es prenen amb càmeres fotogràfiques multispectrals capaces de quantificar i d'enregistrar la reflectància de la superfície que enfoquen per a diferents longituds d'ona de l'espectre electromagnètic. Després dels processos de correcció atmosfèrica i/o geomètrica pertinents, el que s'obté és una trama de píxels georeferenciats on, a més de la coordenada X i la Y, cada element representa el valor de la reflectància obtingut pel sensor de la càmera per a una longitud d'ona específica.

En funció del vehicle o plataforma on s'embarqui el sensor radiomètric, podem obtenir imatges de la reflectància del conreu o del sòl amb diferents característiques. Les plataformes més habituals ordenades de més a menys distància de l'objectiu són els satèl·lits, els avions per a vols de gran alçada, els avions, avionetes o altres ginys voladors per a vols a poca o molt poca alçada i els vehicles terrestres. Els paràmetres que es veuran afectats segons la plataforma utilitzada seran la resolució espacial i la resolució temporal de les imatges. La resolució espacial fa referència a les dimensions reals del terreny que representa cada píxel. Com menys àrea representi el píxel, més resolució espacial tindrà la imatge i, per tant, més capacitat de representar variacions sobre el terreny de la resposta radiomètrica. Aquest paràmetre depèn de la resolució (nombre de píxels) que té el sensor de la càmera i de la distància a la que es troba la càmera de l'objectiu. A igual nombre de píxels del sensor, a més distància de l'objectiu, menys resolució espacial. La resolució temporal fa referència a la periodicitat amb la que es poden obtenir imatges de la parcel·la en estudi. En imatgeria satel·litària la periodicitat de les imatges pot variar entre 2 i 26 dies mentre que en altres plataformes més properes la freqüència pot ser més alta. A partir de la resposta radiomètrica en les diferents bandes es poden construir índexs numèrics que faciliten la comparació entre píxels, els càlculs i la interpretació de la informació (Hall *et al.*, 2002). L'índex més emprat en agricultura és el *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) que es relaciona amb el vigor del conreu. En un treball realitzat als inicis de l'agricultura de precisió, Moran *et al.* (1997) fan una revisió de les possibilitats que ofereix la teledetecció des de satèl·lits i des d'avions. Els autors identifiquen vuit variables del sòl i del conreu que la teledetecció permet estimar amb fiabilitat i que són (o eren en l'any de realització de l'estudi) costosos de saber amb tècniques convencionals. Aquestes variables són el contingut d'humitat del sòl, l'estat fenològic del conreu, la biomassa o productivitat del conreu, la taxa d'evapotranspiració, possibles deficiències nutricionals del conreu, malalties del conreu, infestacions de males herbes i d'insectes.



Vellidis *et al.* (1999) van comparar imatges aèries de poca alçada de l'espectre visible i infraroig proper amb mapes de collita en camps de cotó. Van observar grans similituds en els patrons espacials dels dos mapes per la qual cosa van hipotetitzar la possibilitat de crear mapes de collita potencial a partir d'aquest tipus d'imatges. Ye *et al.* (2008) van realitzar un estudi exhaustiu intentant relacionar imatges aèries obtingudes en 72 bandes diferents de l'espectre electromagnètic des d'un avió amb els mapes de collita de plantacions de cítrics. Proposen l'índex TBVI (sigla de *Two-Band Vegetation Index*) com a millor estimador del rendiment potencial del conreu.

Els vols amb avioneta comporten algunes millores respecte a les imatges preses des de satèl·lits. En volar a una alçada menor, les fotos preses des d'avions no presenten tantes distorsions degudes a les diferents capes de l'atmosfera. Fins i tot permeten fer fotos per sota de capes de núvols que fan inservibles les fotos de satèl·lit. A més a més, la utilització d'avions comporta un major grau de flexibilitat en la selecció de les dates i en la freqüència amb la que s'obtenen les imatges. En referència a aquesta última observació, per tal de reduir costos flexibilitzant encara més l'obtenció de fotografies aèries, hi ha alguns treballs de recerca que han desenvolupat plataformes de vol autònomes emprant avions teledirigits (Swain *et al.*, 2007), helicòpters teledirigits (Sugiura *et al.*, 2005) i, fins i tot, globus d'heli (Jensen *et al.*, 2007). Aquestes solucions permeten una freqüència de mostratge molt més intensiva a un cost raonable per tal de fer el seguiment de determinats paràmetres al llarg de tota la temporada.

Amb motiu de gaudir de molta més flexibilitat i de més resolució espacial, hi ha tota una sèrie de treballs basats en mesures realitzades des de plataformes terrestres i amb sensors portàtils. L'inconvenient de la seva utilització és que cal desplaçar el sensor per tota l'explotació per tal d'obtenir les mesures suficients per a poder elaborar una mapa representatiu. D'altra banda, la resolució espacial dels mapes elaborats amb aquestes tècniques serà molt superior a les obtingudes amb imatges satel·litàries. Tardáguila *et al.* (2008) van embarcar un sensor radiomètric per a determinar l'índex NDVI en un quad. Aquesta informació l'associaven a les coordenades X i Y obtingudes amb un receptor GPS, cosa que els va permetre crear mapes de vigor de vegetació de l'explotació. Als apartats 2.2.3 Agricultura de precisió basada en sensors en temps real i 2.5 Caracterització electrònica de la vegetació i aplicació de fitosanitaris es descriuen més sensors radiomètrics terrestres i amb més detall.

Finalment, és interessant destacar dos exemples d'aplicació comercial de la teledetecció en l'agricultura. El primer és l'empresa CropMaps, LLC. (Denver, Estats Units) que subministra mapes diferents de les parcel·les contractades en funció del conreu que es produeixi. En panís i soja ofereixen mapes de collita relatius (respecte a la producció mitjana) i la zonificació de la parcel·la. En cotó ofereixen mapes de vigor de la vegetació així com també la zonificació de la parcel·la. En plantacions fructícoles, aquesta empresa ofereix mapes de densitat de vegetació.

El segon exemple és el sistema de suport a la decisió Farmstar desenvolupat per Arvalis – Institut du végétal (París, França), organisme francès de recerca agrícola aplicada, i Infoterra (Toulouse, França), empresa especialitzada en el desenvolupament de productes i serveis relacionats amb la geoinformació. Farmstar es basa en l'anàlisi del conreu a partir d'imatges satel·litàries i fotografia aèria per a proporcionar els mapes de diferents variables i recomanacions específiques de maneig als agricultors que contractin els seus serveis (Blondlot *et al.*, 2005; Coquil i Bordes, 2005). A l'apartat 2.2.2.2, dedicat a la presa de decisions, es comenta més àmpliament aquesta aplicació.



Si el que es desitja és generar mapes digitals de paràmetres dels sòl, a part del treball ja citat realitzat en vinya (Arnó *et al.*, 2005a) i molts d'altres estudis en què els mostratges són de tipus manual amb anàlisi en laboratori, hi ha un nombre important d'investigadors treballant per a automatitzar aquests processos i arribar a aconseguir un monitoratge continu de diferents variables. Els paràmetres a determinar són de tipus físic per una banda i químic per l'altra. Relatius al primer grup són els treballs dedicats a mesurar la compactació, la textura, el contingut d'aigua, etc. amb sistemes que permeten una adquisició contínua de dades. En aquest sentit, hi ha un treball de revisió de diferents mètodes per a mesurar la compactació del sòl de manera contínua realitzat per Hemmat i Adamchuk (2008). Els autors fan un recull de les diferents tècniques desenvolupades fins al moment com l'ús de sensors de força i resistència a l'avanç incorporats en relles de cultivadors, sensors de penetrabilitat per a treballar en continu, sensors per a mesurar la porositat del sòl i, finalment, sensors per a la mesura del contingut d'aigua. Complementant aquest treball hi ha una altra revisió de sistemes per a la mesura contínua de paràmetres del sòl (Adamchuk *et al.*, 2004). En aquest també es descriuen tècniques elèctriques i electromagnètiques. Hi ha determinades variables fisicoquímiques del sòl capaces de modificar la resposta elèctrica o electromagnètica d'aquest de manera proporcional al seu valor (textura, matèria orgànica, salinitat i humitat entre d'altres). Aquests autors, així com d'altres, indiquen que els valors absoluts de les mesures depenen de massa factors com per a treure conclusions clares però sí que serveixen per a establir zones de característiques similars del sòl a partir de mesures relatives. Les dades adquirides amb aquests sensors es relacionen amb variables del sòl però els valors reals mesurats amb tècniques de mostreig i anàlisi convencional són necessaris per a una correcta interpretació de la informació (Hartsock *et al.*, 2000; Hartsock *et al.*, 2005). És probable que l'activa recerca que hi ha en aquest sentit aportï nous coneixements en aquest camp en la relació de determinades mesures obtingudes per sensors amb paràmetres descriptius del sòl.

Per a acabar amb els sistemes de mostreig continu del sòl, hi ha una sèrie de treballs que es centren en estimar paràmetres fisicoquímics a partir de tècniques de radiometria propera. Normalment aquests treballs analitzen la reflectància del sòl en l'espectre visible i en l'infraroig proper mitjançant espectrometria. Com a mostra, dos treballs que desenvolupen sengles prototipus formats per una rella que penetra el sòl i deixa un solc amb el fons anivellat i en la que hi ha una cavitat on s'hi allotja una font emissora de llum i un espectrofotòmetre que enregistra la reflectància del sòl (Mouazen *et al.*, 2007; Christy, 2008). Els primers troben una bona correlació entre les mesures convencionals de contingut d'aigua del sòl i les mesures dels sensors. Els segons, en canvi, troben la millor correlació entre mesures convencionals i electròniques en el contingut de matèria orgànica.



Un altre camp en el que la metodologia de treball basada en mapes té aplicacions importants és en el mapat de rodals de males herbes. L'objectiu és georeferenciar les zones infestades per tal de realitzar aplicacions selectives d'herbicida, és a dir, només en les zones afectades. En els inicis de l'agricultura de precisió, una vegada els sistemes de posicionament global per satèl·lit es van posar a disposició de la societat civil, els primers mapes de males herbes es realitzaren a partir d'exploracions visuals durant les quals s'enregistrava la localització dels diferents rodals amb dispositius electrònics portàtils connectats a un sistema de posicionament (Stafford *et al.*, 1996; Rew *et al.*, 1997). Aquesta operació es podia fer a peu o bé dalt d'un vehicle (tractor o recol·lectora) aprofitant la circulació pel camp coincidint amb la realització d'alguna operació.

No es va tardar, però, en automatitzar el procés substituint l'exploració humana per la visió artificial (Downey *et al.*, 2003; Hague *et al.*, 2006). Aquests treballs recopilen simultàniament informació de

posicionament subministrada per receptors satel·litaris i d'imatges del terreny obtingudes per càmeres digitals. Per tal de desenvolupar aquests sistemes cal comparar resultats de mostratges manuals estandarditzats amb mostratges semiautomàtics o totalment automàtics (Schuster *et al.*, 2007). Una vegada realitzat el mostratge d'imatges digitals georeferenciades cal processar aquestes imatges per tal de discriminar males herbes de conreu i determinar el grau d'infestació de la parcel·la i la localització dels rodals. Søgaard (2005) va anar més enllà i va dissenyar algorismes capaços de reconèixer diversos tipus de males herbes a partir d'imatges digitals.

Finalment, es disposarà d'un mapa amb la distribució espacial de les males herbes en la parcel·la i, segons el mètode, amb la densitat de males herbes en cada rodal. Fins i tot es podria aconseguir elaborar un mapa en el qual es representessin les diferents espècies de males herbes i la seva distribució.



Una vegada generats els mapes digitals de variables a partir de les diverses tècniques calen eines per a la seva representació i la manipulació. Els sistemes d'informació geogràfica (SIG) són l'eina informàtica més adequada. Quan es disposa de diferents mapes d'una mateixa parcel·la, tant si són de variables diferents com d'un mateix paràmetre mesurat en instants de temps diferents, un sistema d'informació geogràfica permet visualitzar la informació dels mapes, solapar-los per a posar de manifest possibles interaccions entre variables o tendències temporals d'un mateix paràmetre, així com també realitzar càlculs aritmètics que posin de manifest informació no evident a simple vista (càlcul de diferències entre mapes, normalització dels valors per a comparar mapes, aplicació de filtres, etc.).

El pas següent és analitzar la distribució espacial de les variables i veure si segueixen algun patró o tendència que permeti crear zones dins la parcel·la amb valors similars del paràmetre estudiat. La identificació de zones de característiques similars pot justificar l'aplicació d'un maneig diferenciat per a cada zona si així es creu oportú. Aquesta zonificació es pot realitzar mitjançant nombroses metodologies. La més simple és classificar els valors de la variable representada en el mapa en tantes classes com zones es vulguin crear per tal d'identificar àrees amb valors similars del paràmetre estudiat. Una altra metodologia és la de crear zones a partir de l'anàlisi de freqüències amb que es donen determinats casos (Diker *et al.*, 2004). Aquest estudi analitza els mapes de collita de 3 anys consecutius per a determinar zones a partir de sèries més àmplies que només el mapa de collita precedent. Aquesta anàlisi consisteix en determinar la freqüència amb que es dona el cas que els valors locals de rendiment del mapa són iguals o superiors a la mitjana del rendiment per a aquell mapa. Els autors argumenten que fent aquesta operació en els mapes de collita de les 3 temporades disponibles van poder delinear zones amb 3 rendiments clarament diferenciats: significativament per sota de la mitjana, significativament per sobre de la mitjana i no significativament diferents que la mitjana.

Per a realitzar la zonificació d'una parcel·la a partir de diversos mapes d'informació (de diferents variables o bé sèries temporals de la mateixa variable) es fan anar tècniques d'anàlisi estadística multivariant com l'anàlisi de clústers i l'anàlisi de components principals (de Gruijter i McBratney, 1988; Whelan, 2001; Basnet *et al.*, 2003; Taylor *et al.*, 2003; Jaynes *et al.*, 2005; Zaman i Schumann, 2006; Li *et al.*, 2007a; Li *et al.*, 2007b; Ortega i Santibáñez, 2007).

La recerca en algorismes de zonificació és actualment una de les línies de treball més actives dins de l'àmbit de l'agricultura de precisió.

### 2.2.2.2 Presa de decisions

Una vegada creats els mapes de distribució de les variables amb les zones corresponents, cal integrar tota la informació recopilada juntament amb els coneixements agronòmics que es tinguin de la zona i altres informacions d'interès per tal d'elaborar l'estratègia de maneig més adient per a la parcel·la en estudi. No s'ha d'oblidar que l'objectiu final d'aquesta etapa és prendre una decisió de maneig, una decisió agronòmica que ha de permetre millorar la productivitat de la parcel·la i/o reduir l'impacte mediambiental degut al seu conreu. És important remarcar que el coneixement i l'experiència local no podran ser mai substituïts per dades recopilades per sensors sense una correcta interpretació agronòmica. Mentre les etapes d'adquisició de dades i d'actuació sobre el terreny poden ser pluridisciplinàries, la interpretació i la presa de decisions cal que la realitzin els enginyers tècnics agrícoles o els enginyers agrònoms.

Les eines a emprar en aquesta fase són els Sistemes de Suport a la Decisió (SSD). Els SSD serveixen per a analitzar conjuntament tota la informació disponible i decidir quina operació cal dur a terme i si aquesta operació ha de ser homogènia en tota la parcel·la o bé cal crear zones d'actuació diferenciada. A tal efecte, la sortida d'un SSD podria ser un mapa digital d'actuació on s'hi ha de reflectir, si s'escau, la zonificació de la parcel·la i l'actuació a realitzar en cada zona. Actualment s'estan esmerçant molts recursos a la recerca en SSD per ser aquesta fase un factor limitant en la implantació de l'agricultura de precisió (Whelan, 2001; McBratney *et al.*, 2005). Altres autors diuen que, a més de la manca de SSD adaptats a l'agricultura de precisió, hi ha altres motius que afegeixen entrebancs a la implantació d'aquestes tecnologies. Argumenten que els SSD haurien de tenir en compte la variabilitat temporal de les dades i analitzar l'aplicació de l'agricultura de precisió en el conjunt de l'explotació, amb un enfocament global, no només a nivell de parcel·la (Bramley i Hamilton, 2004; Bramley, 2005). Altres problemes que ha d'afrontar la implantació de l'agricultura de precisió són la manca de formació dels agricultors en el maneig de les noves tecnologies però, sobretot, en la interpretació de informació generada i en la obtenció d'informació de qualitat (Griffin *et al.*, 2008). Aquests autors van realitzar enquestes entre agricultors nord americans i van veure que hi havia un cert grau d'implantació de monitors de collita però que molt pocs agricultors n'analitzaven els resultats obtinguts correctament i menys encara tenien en compte aquesta informació en el maneig posterior. També van arribar a la conclusió que un mapa de collita de baixa qualitat podia repercutir negativament en les decisions de maneig que es puguin prendre a partir d'ell.

Cal treballar per a desenvolupar productes que tinguin en compte tant la vessant més enginyera com l'agronòmica de l'agricultura de precisió (Kitchen, 2008). Tecnològicament, ja existeix la capacitat de recopilar informació del terreny i del conreu però el pas essencial és decidir què cal fer a partir d'aquesta informació. La implantació de l'agricultura de precisió serà proporcional a la capacitat que demostri de prendre decisions encertades.

En els inicis de l'agricultura de precisió, la presa de decisions ha estat molt intuïtiva; bàsicament, el que s'ha fet és adaptar el maneig tradicional per a executar-lo a una escala més petita gràcies a les noves tecnologies de maneig específic localitzat (Pierce i Nowak, 1999). Avui dia s'està investigant intensament en el disseny de SSD per a la presa de decisions sobre les actuacions que no resultin tan evidents. Aquesta recerca parteix de la integració i l'anàlisi dels paràmetres mapats amb la participació de models de simulació de conreus i sistemes experts ja existents desenvolupats per a l'agricultura "convencional". El que cal és adaptar l'abast d'aquests models per tal de reduir l'escala de maneig a l'escala que proposa l'agricultura de precisió. Exemples

d'aquestes adaptacions són els casos del conreu del cotó, amb el sistema de suport a la decisió anomenat GOSSYM-COMAX i el del conreu de la soja, amb el sistema de suport a la recerca anomenat CROPGRO. En el primer treball, McKinion *et al.* (2001) apliquen el model de simulació a una explotació d'unes 200 hectàrees però subdividint-la en unitats d'una hectàrea. A cada unitat estableixen quina hauria de ser l'aportació de nitrogen i les necessitats de reg per tal de maximitzar-ne el rendiment. El resultat teòric seria un increment mitjà de la producció d'uns 320 kg/ha amb un increment mitjà del reg (26 mm/ha) però amb una reducció mitjana important de l'aportació de nitrogen (35 kg/ha). En el segon estudi, Basso *et al.* (2001) asseguren que els mètodes analítics convencionals no són capaços de justificar o predir la variabilitat del comportament dels conreus per sí mateixos. Per aquest motiu argumenten que cal treballar amb models de simulació de conreus que complementin les anàlisis estadístiques tot incorporant la nova informació aportada per les tecnologies de l'agricultura de precisió i els coneixements agronòmics que es tinguin de la zona en estudi. Hi ha altres treballs en el sentit d'adaptar models de simulació de conreus per a l'agricultura convencional al maneig que proposa l'agricultura de precisió (Paz *et al.*, 1999; Thorp *et al.*, 2008).

Les possibilitats d'implantar estratègies de maneig de precisió seran més altes com més espacialment dependents siguin les variables estudiades però el grau de dificultat augmenta amb la variabilitat temporal d'aquestes variables. El maneig de paràmetres amb poca variabilitat temporal, com per exemple la fertilització de sòls, serà més senzill que el d'altres amb més variabilitat temporal, com per exemple l'evolució d'una plaga d'insectes (Pierce i Nowak, 1999).



Segons l'operació que es desitgi dur a terme i segons la informació de la que es disposi, la presa de decisió serà més o menys complexa. Pel que fa al maneig de males herbes per a una aplicació selectiva (aplicar o no aplicar), la decisió sobre on cal aplicar herbicida i on no resulta relativament senzilla quan es disposa d'un mapa d'infestació. El primer pas consisteix en establir un llindar d'afectació a partir del qual es decideix realitzar un tractament (Lamastus-Stanford i Shaw, 2004) i després només cal generar un mapa d'actuació que indiqui aplicació de producte en les zones infestades i no aplicació en les zones no infestades.

Un altre enfocament és decidir l'aportació de fertilitzants foliaris selectiva a partir de mapes digitals que representin l'estat nutricional de les fulles o pecíols d'una plantació (López-Granados *et al.*, 2004). El que van fer aquests investigadors fou establir un llindar per a diferents elements per sota del qual es considerava necessària una aportació suplementària de l'element analitzat. Aquestes aportacions addicionals només es portaren a terme en les zones de la plantació on el valor mesurat estava per sota del llindar establert. L'estalvi de producte aconseguit depèn de l'estat de la plantació en cada moment en que es decideixi una aplicació però els autors remarquen que en una temporada tan sols va ser necessari aplicar nitrogen en un 3% de la superfície de la parcel·la i en la temporada següent un 17%.

Quan el que es desitja és decidir la dosi de producte a aplicar (herbicides, fitosanitaris, fertilitzants, etc.) prendre una decisió de maneig ja és una tasca més complicada. Pel que fa a la determinació de la dosi en fertilització de conreus o en altres operacions de distribució, queda encara molta feina a fer per a arribar a optimitzar les dosis a aplicar amb sistemes de dosificació variable (Bullock *et al.*, 2002). Aquests autors mantenen que és possible millorar encara molt més les aplicacions utilitzant adobadores amb sistemes de dosificació variable perquè actualment les recomanacions per a aquests equips continuen basant-se en el coneixement acumulat per a cada

zona però a partir d'experiències i resultats que tenien com a unitat de mesura i com a objectiu la parcel·la sencera i amb sistemes de distribució de dosi uniforme. El fet de disposar d'informació amb una resolució espacial tan elevada com la derivada de mapes de collita i de mapes de característiques del sòl fa que les recomanacions de dosi s'hagin d'adaptar a aquesta resolució per tal d'aprofitar el potencial d'aquesta tecnologia. Per tal de millorar els models de simulació i poder generar bones recomanacions des dels sistemes de suport a la decisió, cal investigar quina és la resposta del conreu a petita escala davant d'aportacions variables (Welsh *et al.*, 2003a; Welsh *et al.*, 2003b).

Un sistema de suport a la decisió disponible actualment al mercat és Farmstar. Tal com s'ha explicat a l'apartat anterior, Farmstar és un servei ofert per Infoterra France que dona recomanacions de maneig a partir d'imatgeria satel·litària i fotografia aèria als agricultors que contractin aquest servei. Concretament, els serveis oferts són per al conreu del blat, l'ordi i la colza. Les recomanacions per al blat són la dosi total provisional de nitrogen i la creació de zones de maneig, balanç de creixement, estimació del risc de tombada, aportació de nitrogen, reactualització del potencial de rendiment, avisos contra el "mal de peu" i la fusariosi i balanç de la campanya. Pel que fa a l'ordi, les recomanacions són de dosi total provisional de nitrogen, balanç de creixements, estimació de risc de tombada i balanç de campanya. Finalment, per a la colza, es donen recomanacions de nitrogen i balanços de biomassa a l'entrada i la sortida de l'hivern i de campanya.

Totes aquestes recomanacions s'elaboren a partir de les mesures radiomètriques de la reflectància del conreu a diferents bandes de l'espectre electromagnètic. Els índex que es calculen són el GLAI (sigla de *Green Leaf Area Index* o índex d'àrea foliar verda) que quantifica el desenvolupament de la vegetació entesa com a la superfície de fulles verdes per unitat de superfície i, d'altra banda, el contingut de clorofil·la de les fulles. A partir d'aquests índex i de l'aplicació dels seus models, Farmstar estima les recomanacions relacionades en el paràgraf anterior que es fan arribar a cada agricultor (Blondlot *et al.*, 2005; Coquil i Bordes, 2005).

A més de tenir en compte informacions com els mapes de collita, de sòls, de contingut d'humitat, la resposta del conreu, etc., també hi ha sistemes de suport a la decisió que tenen en compte paràmetres de qualitat de la producció (De Baerdemaeker, 2001). Una de les aplicacions derivades del tractament dels paràmetres de qualitat que actualment es duen a terme en relació amb el maneig és la verema selectiva. Aquesta tècnica es basa en generar mapes digitals de diferents paràmetres qualitius dels ceps i dels seus fruits (com el contingut en sucres, el grau, l'acidesa total, el pH, l'índex de color, l'índex de polifenols, la concentració d'antocians, etc.) per tal de decidir si pot ser interessant o no, en termes de qualitat final del vi obtingut, el realitzar una verema selectiva del raïm (Bramley i Hamilton, 2004; Arnó *et al.*, 2005a; Bramley *et al.*, 2005; Arnó, 2008).

Tal com reconeix la majoria d'investigadors, cal seguir fent recerca en l'àmbit dels sistemes de suport a la decisió per tal de facilitar la implantació de l'agricultura de precisió a nivell comercial. Com més s'avanci en aquest camp més enllà es podrà anar en l'optimització de la producció i en la recopilació de nova informació que permeti anar refinant les tècniques aplicades.

### 2.2.2.3 Tecnologia de dosificació variable

En la metodologia específica basada en mapes, el cicle de l'agricultura de precisió (Figura 2.1) es tanca amb les operacions de maneig. Una vegada elaborat un mapa d'actuació per a una determinada operació cal portar a terme el maneig indicat en el mapa sobre el terreny. Si el mapa generat contempla actuacions diferenciades per zones és necessari disposar de maquinària amb una tecnologia tal que permeti un ajust continu dels paràmetres de treball en funció de la posició on es trobi al camp a partir de la informació representada en el mapa d'actuació. La variació del cabal de producte (volumètric o màssic) aplicat implica una variació de la dosi distribuïda i, per tant, les tecnologies dedicades a aquest objectiu són les anomenades Tecnologies de Dosificació Variable, TDV (*Variable Rate Technologies, VRT*, en la seva denominació anglosaxona). Clark i McGuckin (1996) van exposar els fonaments de la tecnologia de dosificació variable i les seves possibilitats en el futur.

Les tecnologies de dosificació variable aplicades a l'agricultura de precisió basada en mapes es poden classificar en dos grups segons la finalitat de la seva utilització:

- a) **Tecnologia de dosificació variable selectiva:** la seva finalitat és realitzar aplicacions de productes només en els llocs indicats. En el moment en que cal realitzar aplicació, la sortida de producte (cabal màssic o volumètric) és constant. La variabilitat de la dosificació consisteix, per tant, en aplicar un cabal predeterminat o bé aplicar un cabal nul. La naturalesa d'aquesta tecnologia fa que la dosi final sigui variable en termes de producte distribuït per unitat de superfície però esdevingui constant en les zones on s'ha produït aplicació. L'ús més habitual d'aquesta tecnologia es dona en conreus herbacis per a l'aplicació d'herbicida només en presència de males herbes. En conreus arboris, l'aplicació anàloga és la de no polvoritzar en les zones de la capçada sense vegetació.
- b) **Tecnologia de dosificació variable proporcional:** la seva finalitat és aplicar la quantitat necessària de producte a cada zona de la parcel·la que així ho requereixi. La distribució dels productes es realitza de manera proporcional a algun paràmetre relacionats amb el conreu o el sòl. El resultat és una dosi no uniforme que varia de forma proporcional al paràmetre o combinació de paràmetres de dosificació seleccionats.

La maquinària agrícola ha anat incorporant tecnologies de dosificació variable en operacions com, per exemple, l'aplicació de productes fitosanitaris (on és possible modificar el cabal aplicat segons la zona on es trobi el polvoritzador), la distribució de fertilitzants minerals i orgànics (on es pot modificar el cabal màssic de producte que surt de la tremuja o de la cisterna) i la sembra de llavor (on pot ser interessant modificar la quantitat de llavor dipositada per tal de variar la densitat de planta).

En fertilització, cal diferenciar tres tipus d'aportacions: fertilització orgànica, mineral i aplicació d'adobs líquids. Cadascuna empra equips ben diferenciats. Pel que fa a la fertilització mineral, avui dia ja existeixen adobadores al mercat que utilitzen tecnologies de dosificació variable que permeten modificar la dosi aplicada en funció de la prescripció indicada en mapes digitals. Koch *et al.* (2004) van fer un estudi de tres anys per tal d'analitzar la rendibilitat d'aquest tipus d'aplicacions. L'assaig va consistir en dissenyar un experiment en el que en unes àrees d'una explotació aplicaven nitrogen amb una dosi uniforme i en unes altres aplicaven nitrogen amb una dosi variable. Els resultats van mostrar que l'estalvi de nitrogen total aplicat de manera variable va

oscil·lar entre el 6% i el 46% respecte a les parcel·les amb dosi uniforme i que el benefici obtingut va ser d'entre uns 18\$ i 30\$ més per hectàrea.

Malgrat això, cal analitzar el funcionament d'aquest tipus d'equips per a determinar si realment el resultat final de la seva aplicació es correspon amb les exigències dels mapes d'aplicació. Fadel (2004) posa de manifest que no existeixen metodologies estandarditzades per a assajar correctament el comportament d'aquests equips en camp.

Pel que fa a l'adobat orgànic amb purins, Ess *et al.* (2000a) fa una revisió dels diversos mètodes que hi ha per tal d'aplicar purins amb les tècniques d'agricultura de precisió. Schellberg i Lock (2008) milloren el sistema de regulació d'un equip d'aplicació de purins. La tecnologia avança ràpidament en els camps de l'electrònica i els actuadors i els equips es van actualitzant constantment.

En referència a l'aplicació d'adobs líquids, Yang (2001) dissenya un equip capaç de realitzar aplicacions amb dosificació variable de dos fertilitzants diferents de manera simultània. La distribució d'adobs líquids i de productes fitosanitaris es realitza amb equips d'aplicació similars. Aquesta tecnologia es descriurà a l'apartat 2.6.2 Evolució dels sistemes de regulació d'equips d'aplicació.

En l'apartat de sembra variable, Bullock *et al.* (1998) van realitzar treballs amb dosificació variable per tal d'ajustar el nombre de plantes per metre quadrat de panís a les característiques del sòl. En aquest treball s'argumenta que per a ajustar la dosi de sembra cal conèixer la variació de les característiques del sòl i quina és la dosi òptima per a cada zona. Si es determinen amb precisió aquests paràmetres és viable ajustar la densitat sembra per a maximitzar la productivitat de la parcel·la.

En treballs posteriors, es detecta una bona relació entre conductivitat elèctrica del sòl, densitat de sembra i rendiment de la parcel·la sempre que es tracti d'anys humits. Aquesta relació es pot utilitzar per a modificar la densitat de sembra per tal de maximitzar el rendiment potencial (Ehsani *et al.*, 2005).

Per tal de poder realitzar tasques de sembra variable és indispensable conèixer la quantitat de llavor que circula per les conduccions cap a les diferents botes de sembra. Heege i Feldhaus (2002) dissenyen un sistema que permet mesurar la quantitat de llavor que arriba a la bota i, per tant, una vegada embarcat en una sembradora de dosificació variable, permet realitzar tasques de dosificació de manera més precisa.

#### **2.2.2.4 Avantatges i inconvenients**

Els avantatges de practicar l'agricultura de precisió basada en mapes són els següents (Ess *et al.*, 2000b):

- a) La majoria de fabricants d'equips de distribució de productes ja disposen de productes comercials preparats per a aquesta metodologia de treball.
- b) L'usuari disposa d'una base de dades que pot ser útil per a diverses activitats relacionades amb el maneig.



- c) L'usuari pot utilitzar múltiples fonts d'informació en el procés de presa de decisió per a l'elaboració de mapes d'aplicació.
- d) L'usuari té un control important en la planificació de les dosis a aplicar. Pot decidir la dosi a aplicar o bé supervisar el mapa d'aplicació resultat d'un sistema de suport a la decisió.
- e) En principi no cal reduir les velocitats de treball dels equips i es pot mantenir la mateixa capacitat de treball.
- f) La quantitat total de producte pot ser determinada abans d'anar al camp. Això permet ajustar el proveïment de producte i reduir els residus generats.
- g) El temps disponible entre la presa de mostres i l'actuació permet un processat important de tota la informació disponible.
- h) Possibilitat de saber el que toca fer amb antelació per a poder fer ajustos i compensacions.
- i) És possible practicar-la sense la participació de noves tecnologies, simplement aplicant els coneixements i mètodes que se'n deriven.
- j) Permet la traçabilitat dels productes.

Alguns inconvenients d'aquesta metodologia es relacionen a continuació:

- a) És important disposar d'un sistema de posicionament amb la precisió adequada a la operació que es vol realitzar, tant durant la recopilació de dades com durant l'operació de maneig específic.
- b) Poden existir errors de posicionament entre els diferents mapes produïts i durant l'execució del maneig.
- c) Cal tenir coneixements de geostatística i de sistemes d'informació geogràfica per tal de mapar i gestionar tota la informació recopilada.
- d) Durant el procés d'interpolació de les mesures discretes per al mapat de la variable estudiada es poden produir errors.
- e) Hi ha un decalatge temporal important entre l'instant en que es prenen de dades i el moment en que s'executa el maneig decidit.

### 2.2.2.5 Observacions

Encara que la pràctica de l'agricultura de precisió basada en mapes digitals d'informació vagi íntimament lligada a les noves tecnologies, Nowak (1997) diferencia dues maneres de dur-la a terme: la tecnologia "simple" (ell l'anomena "*soft*") i la tecnologia "complexa" (ell l'anomena "*hard*"). La tecnologia "simple" o "*soft*" es basa en l'observació visual, l'experiència de l'agricultor i altres paràmetres més intuïtius. La tecnologia "complexa" o "*hard*" es basa en els darrers desenvolupaments tecnològics disponibles al mercat. Malgrat això i les experiències d'agricultura de precisió "*soft*" que s'han dut i s'estan duent a terme en països en vies de desenvolupament, és innegable que els avenços en agricultura de precisió van estretament vinculats als avenços tecnològics que s'han produït i es seguiran produint.

En resum, s'ha fet molta recerca en agricultura de precisió basada en mapes, sobretot en la seva implantació en conreus herbacis. Més específicament, s'han realitzat millores importants en

tècniques i dispositius per a la mesura del rendiment. També hi ha hagut avenços importants en la mesura de la variabilitat de característiques del sòl i en el desenvolupament d'equips de dosificació variable per a la distribució específica d'entrades. Actualment, s'està treballant intensament en algorismes per a la zonificació de la parcel·la. Però una àrea on encara resta molta feina per fer és en la presa de decisions. Cal desenvolupar sistemes de suport a la decisió que integrin tota la informació recopilada sobre el conreu i el seu medi, que incorporin els coneixements agrònomic locals i generin estratègies fiables que permetin l'adopció de l'agricultura de precisió en l'agricultura real. Mentre això no passi, l'aplicació real de l'agricultura de precisió seguirà majoritàriament estant vinculada al guiatge de vehicles, a la generació de mapes de collita i poc més (McBratney *et al.*, 2005).

### 2.2.3 Agricultura de precisió basada en sensors en temps real

La metodologia basada en sensors i en temps real es fonamenta en la mesura d'un o diversos paràmetres amb un o diversos sensors i en decidir el dosatge a aplicar en el mateix moment en que l'equip de distribució passa per la zona on s'acaba de realitzar la lectura del o dels sensors. Amb aquesta metodologia, l'adquisició de la informació, el seu processament, la decisió de la dosi a aplicar i la mateixa aplicació del producte es realitzen en qüestió de segons o dècimes de segon. Per aquest motiu es fa servir l'expressió *temps real* en la seva denominació.

#### 2.2.3.1 Principi de funcionament

Realitzar aplicacions amb dosificació variable basant-se en sensors en temps real implica embarcar sensors que mesurin els paràmetres requerits, dispositius electrònics per a processar la informació adquirida i decidir l'actuació corresponent i un equip de dosificació variable amb el seu sistema electrònic de control i tots els elements electromecànics necessaris. Aquest darrer component, l'equip de distribució de dosificació variable, és un element comú en les dues metodologies per a la pràctica de l'agricultura de precisió. La regulació variable de l'equip de distribució és necessària tant si el dosatge s'extreu d'un mapa d'aplicació com si s'estableix unes dècimes de segons abans en un dispositiu embarcat en el mateix equip.

Una limitació important d'aquesta metodologia és la manca de temps per a analitzar la informació i decidir una actuació (Ess *et al.*, 2000b). La disponibilitat de temps vindrà condicionada per la distància entre sensor i actuador i per la velocitat d'avanç del tractor. Per aquest motiu els sensors s'acostumen a posar a la part davantera de l'equip i, fins i tot, sobre el mateix tractor.

Igual que en el cas de l'agricultura de precisió basada en mapes, les tecnologies de dosificació variable basades en sensors en temps real es poden classificar segons la finalitat de la seva utilització. A més de la tecnologies de dosificació variable selectiva i de dosificació variable proporcional ja descrites (apartat 2.2.2.3), l'agricultura de precisió basada en sensors a temps real presenta una tecnologia de dosificació addicional: la dosificació variable per a dosi uniforme. La finalitat d'aquesta tecnologia és realitzar una aplicació de producte uniforme sobre tota la superfície conreada evitant que les variacions en la velocitat d'avanç del conjunt tractor i equip puguin alterar el resultat final. En maquinària amb un cabal de sortida de producte constant, una reducció en la velocitat del tractor comporta un augment local de la dosi aplicada i viceversa. Per tal d'evitar aquest efecte, ja fa temps que estan disponibles en el mercat sistemes de regulació mecànics i electrònics en equips de distribució d'entrades agràries com fens, productes

fitosanitaris, adobs minerals, etc. Aquesta aplicació de la tecnologia de dosificació variable va ser prèvia a l'aparició de les altres dues i, estrictament, no seria una metodologia d'agricultura de precisió ja que el seu objectiu és aconseguir una dosi uniforme, sense tenir en compte l'especificitat de cada zona de la parcel·la.

En el cas de la metodologia basada en sensors i en temps real, la informació que es genera amb aquests equips no ha de ser necessàriament georeferenciada i, per tant, no és necessària la presència d'un receptor GPS ni el posterior tractament geostadístic de la informació ni la representació amb sistemes d'informació geogràfica. D'aquesta manera s'eliminen processos complicats per a l'elaboració d'instruccions de maneig i s'elimina el desfasament temporal entre la recollida d'informació i l'aplicació de l'entrada en qüestió.

Una de les aplicacions més conegudes d'aquesta metodologia és la distribució selectiva d'herbicida. Actualment ja hi ha un dispositiu al mercat amb aquesta finalitat. Un dels més coneguts és el WeedSeeker (NTech Industries, Inc., Ukiah, EUA). El seu principi de funcionament es basa en analitzar la resposta espectral de l'objecte que enfoca el sensor per tal de determinar si es tracta de vegetació o bé de sòl nu. Quan es detecta vegetació, aquesta s'interpreta que és una mala herba i automàticament es genera l'ordre d'aplicar herbicida. Balsari *et al.* (2005a) van analitzar el comportament del sistema en laboratori i van determinar que la seva utilització era viable. Un altre enfocament similar però encara en fase de recerca és el presentat per Dammer *et al.* (2003). Els autors van estudiar l'aplicació del seu polvoritzador en conreus de cereals i pèsols en bandes arribant a quantificar estalvis de prop del 25% en herbicida sense afectació en el rendiment final ni en les infestacions de males herbes post recol·lecció (Dammer i Wartenberg, 2007).

Una altra aplicació reconeguda de la metodologia basada en sensors i en temps real és la dosificació variable de fertilitzants minerals. Heege i Thiessen (2002) descriuen tres sistemes per a la dosificació variable de fertilitzants en conreus baixos. Dos d'aquests sistemes es basen en sensors òptics per a la mesura i anàlisi de la reflectància del conreu per a determinació del seu vigor. El tercer sistema es basa en un sensor mecànic que estima la biomassa del conreu.

Els sensors òptics comercials més coneguts són el Yara N-Sensor (Yara International ASA, Oslo, Noruega) i el GreenSeeker (NTech Industries, Inc., Ukiah, EUA). Aquests dispositius, a més de diferenciar entre vegetació i sòl nu, són capaços de quantificar la resposta radiomètrica del conreu i estimar el seu vigor. A l'apartat 2.5 Caracterització electrònica de la vegetació i aplicació de fitosanitaris es descriurà amb més detall el principi de funcionament d'aquests sensors. La interpretació de la informació i la decisió de la dosi de fertilitzant a aplicar en cada punt la fa un controlador embarcat en l'equip, que és el que genera l'ordre d'actuació que regularà l'adobadora de dosificació variable. Tot això cal realitzar-ho el més ràpidament possible ja que el temps disponible entre la detecció i l'actuació és d'un segon o fins i tot menys, depenent de la distància entre el sensor i la sortida de l'adob i la velocitat d'avanç.

Els investigadors continuen desenvolupant sistemes radiomètrics per a la dosificació variable de fertilitzants en vista dels bons resultats obtinguts amb aquestes tècniques en relació al rendiment i als continguts proteic i en midó del gra (Lammel *et al.*, 2001). Malgrat això, no tots els resultats d'assajos realitzats són satisfactoris. Jørgensen i Jørgensen (2007) realitzen una sèrie de proves en una parcel·la amb una topografia irregular esperant que l'aportació amb dosificació variable incrementi el rendiment global de la parcel·la. El resultat de l'assaig mostra que no hi ha

diferències significatives en el rendiment de les zones amb dosi uniforme i les de dosi variable, posant de manifest que hi ha molts altres factors que intervenen en el procés productiu i que els equips de dosificació variable no poden tenir en compte.

Una altra visió és l'aportada pels economistes. En un treball d'anàlisi econòmica dels costos i del rendiment d'una parcel·la, Biermacher *et al.* (2009) analitzen l'opció d'aplicar fertilitzants líquids amb tècniques de dosificació variable en contraposició al dosatge uniforme i en diferents moments de la temporada. El resultat és que el sistema de dosificació variable és econòmicament competitiu però no apareix com una alternativa superior a les convencionals. Els autors subratllen que si l'algorisme que decideix la quantitat de nitrogen a aplicar tingués en compte el preu del fertilitzant, es podrien aconseguir encara millors resultats en termes de rendiment econòmic net per hectàrea. Actualment no hi ha cap algorisme de dosificació que tingui en compte els costos del fertilitzant, tots busquen maximitzar la productivitat únicament tenint en compte criteris agrònomic.

També és possible utilitzar sensors mecànics en la pràctica de la dosificació variable. El CROP-meter (Müller-Elektronik GmbH & Co. KG, Salzkotten, Alemanya) és un dispositiu mecànic de tipus pendolar que actualment es pot trobar al mercat per a la quantificació de la biomassa en conreus baixos. A l'apartat 2.5 Caracterització electrònica de la vegetació i aplicació de fitosanitaris es descriurà amb més detall el principi de funcionament d'aquest sensor. Si es disposa del controlador electrònic necessari i d'un equip adequat, és possible dosificar de manera variable l'aportació de fertilitzants, de fungicides i reguladors de creixement utilitzant aquest sensor. Els resultats obtinguts són diversos depenent dels assajos realitzats. Kalk *et al.* (2004) només observen comportaments significativament millors en la dosificació variable amb sensor pendolar de biomassa en una de les tres parcel·les on realitzen assajos tot i que en la resta no detecten efectes negatius en els rendiments obtinguts. Ehlert *et al.* (2004) realitzen assajos en els que obtenen estalvis mitjans en fertilitzants entre el 10 i el 12% sense reducció dels rendiments ni variació en la qualitat del gra (contingut proteic). Més endavant, Ehlert i Dammer (2006) mostren resultats en els que obtenien un lleuger increment mitjà del 3,1% en la producció amb estalvis de fertilitzants mitjans del 14,6%.

Des del moment en que el sensor CROP-meter mesura la biomassa del conreu, les mesures obtingudes estan relacionades amb la superfície foliar del conreu i, per tant, amb l'índex d'àrea foliar (IAF o *Leaf Area Index, LAI*, en anglès). És per aquest motiu que altres autors utilitzen aquest sensor per a aplicacions de dosificació variable d'altres productes com fungicides i reguladors de creixement (Dammer *et al.*, 2003; Dammer i Ehlert, 2006). Aquests darrers reporten estalvis mitjans del 22% de fungicida sense variacions en els rendiments atribuïbles a la dosificació variable. Els resultats obtinguts són coincidents amb els assajos de Ehlert i Dammer (2006), els quals aconseguen estalvis mitjans del 23,1% de fungicides i reguladors de creixement sense variacions en el rendiment atribuïbles a la dosificació variable de fungicides.

Un exemple diferent de l'aplicació de metodologies de dosificació variable basada en sensors i en temps real és el proposat per Maleki *et al.* (2008). La seva aplicació consisteix en fer una aportació variable de fòsfor al sòl a partir de la informació recopilada per dos espectrofotòmetres incorporats en una rella per a mesurar la reflectància del sòl en dos longituds d'ona: 305 nm (radiació visible) i 1.711 nm (radiació de l'infraroig proper). A partir de la resposta radiomètrica del sòl i d'unes relacions prèviament establertes, els autors estimen el contingut en fòsfor i generen una dosatge consigna que un equip de dosificació variable aplicarà. Els resultats obtinguts en panís indiquen un

increment estadísticament significatiu en el rendiment obtingut en les zones on s'han realitzat aportacions variables.

L'aplicació amb dosificació variable de productes fitosanitaris s'explicarà amb detall a l'apartat 2.6.2 Evolució dels sistemes de regulació d'equips d'aplicació.

Finalment, per a acabar aquest apartat de metodologies d'agricultura de precisió basades en sensors i en temps real, cal no oblidar el control no químic de males herbes. Aquests sistemes es basen en la detecció eficient de les males herbes, l'estimació del seu impacte en la producció i en l'aplicació de tractaments herbicides no químics. Aquests tractaments poden ser descàrregues elèctriques, tractaments tèrmics (mitjançant flama directa o bé amb aplicació de líquids, vapors o escumes a altes temperatures) i, finalment, tractaments mecànics per a l'eliminació física de la mala herba (De Baerdemaeker, 2001). Aquestes tècniques requereixen una selectivitat important per a que puguin ser eficients. Seguidament s'exposen dos exemples de control mecànic de males herbes mitjançant escardat. Malgrat no estar estrictament incloses en el conjunt de tècniques de distribució d'entrades agràries, com es veurà seguidament, no es pot negar que es tracta de metodologies basades en sensors i en temps real. El primer exemple és el descrit en Tillett *et al.* (2003). Els autors dissenyen un cultivador per a escardar mecànicament les males herbes en conreus en línia. L'objectiu de l'operació és eliminar les males herbes pròximes a la línia de conreu que entren en competència directa amb aquest. El risc de l'operació amb equips convencionals és que el tractorista no guii bé el tractor o bé que les línies de conreu no siguin del tot rectes per desviacions en l'operació de sembra i les pues acabin arrencant el conreu. Per a solucionar aquest problema i l'estrès i la fatiga que aquest creava en el tractorista, els investigadors del treball citat dissenyen un sistema capaç d'identificar les línies de conreu mitjançant visió artificial i modificar la posició de les pues en temps real per tal d'adaptar-se a les desviacions del tractor o de la línia de sembra. Aquest sistema permet treballar a velocitats més elevades que els equips convencionals sense risc per al conreu i aconseguint que el tractorista hagi de concentrar-se únicament en no aixafar el conreu amb les rodes del tractor. Aquest sistema es comercialitza amb el nom de Robocrop (Garford Farm Machinery, Peterborough, Regne Unit).

El segon exemple, encara en desenvolupament, és el descrit en Cirujeda *et al.* (2007). Aquí l'element birbador no són les pues del cultivador sinó uns raspalls rotatius que poden actuar entre línies i, fins i tot, entre plantes de la mateixa línia si estan suficientment separades. El moviment dels raspalls el determina un dispositiu electrònic de control a partir de l'anàlisi d'imatges digitals preses amb un càmera de vídeo. En cada imatge presa s'identifica el conreu i les possibles males herbes adjacents. En el moment que es detecta alguna mala herba, el controlador ordena el moviment dels raspalls rotatius per tal d'eliminar-la tot respectant el conreu. Aquests dispositiu està previst que vagi embarcat en un equip capaç de navegar autònomament per la plantació sense la intervenció humana. Aquest tipus de solucions es presenta com una bona alternativa per al futur agrícola ja que elimina la contaminació del medi ambient amb herbicides i permet realitzar aquesta operació sense cap cost de mà d'obra.

### 2.2.3.2 Avantatges i inconvenients

Els avantatges de practicar l'agricultura de precisió basada en sensors i en temps real són els següents (Ess *et al.*, 2000b):

- a) Pràcticament no existeix desfasament temporal entre la presa de dades i l'actuació; això fa que aquesta metodologia sigui adient en operacions on hi hagi una gran variació temporal de la variable mesurada.
- b) Si es compara amb mapes generats a partir de mostres convencionals i no a partir de sensors continus, la resolució espacial dels sensors en temps real és major.
- c) No és necessari disposar d'un sistema de posicionament per tal de practicar aquesta metodologia i, per tant, desapareixen els possibles errors de posicionament de les mesures i de les actuacions.
- d) No requereix una anàlisi de les dades prèvia a la sortida a camp.
- e) No requereix que l'usuari tingui coneixements de geostatística ni de sistemes d'informació geogràfica, necessaris per a l'elaboració de mapes i per a la visualització i tractament de les dades.
- f) S'eliminen els errors inherents a la interpolació de mesures discretes necessària per a l'elaboració dels mapes.

Alguns inconvenients d'aquesta metodologia es relacionen a continuació:

- a) És una metodologia que encara no està estesa i no és disponible per a totes les operacions de distribució.
- b) La decisió es pren a partir de les mesures d'un sol paràmetre.
- c) L'usuari no té participació en el procés de presa de decisió més enllà de la regulació inicial que faci de l'equip.
- d) En algunes aplicacions podria ser necessari reduir la velocitat de treball per tal de donar una mica més de temps al sistema de presa de decisions.
- e) No és possible determinar *a priori* la quantitat de producte a aplicar.
- f) No hi ha temps entre l'adquisició de les dades i l'actuació per a un processat important de les dades. La decisió no pot ser fruit de càlculs massa complexes.
- g) No és possible dur-la a terme sense la participació de components altament especialitzats i sofisticats.
- h) No permet la traçabilitat de les aplicacions a no ser que, a més a més dels dispositius necessaris, l'equip embarqui un receptor satel·litari i un dispositiu per a enregistrar les coordenades de cada punt i la dosi de producte aplicada.

### 2.2.3.3 Observacions

La metodologia basada en sensors i en temps real és, en aquest cas, una tecnologia “complexa” o “hard” (Nowak, 1997) ja que la seva pràctica requereix la participació d'elements sofisticats com són els sensors, els controladors dels processos i els actuadors.

Pel que fa a la recerca en aquesta metodologia, es continua treballant en dos línies de treball complementàries. Per un costat cal desenvolupar sensors que permetin el mostratge en continu i amb una bona resolució espacial i cal correlacionar les lectures d'aquests sensors amb paràmetres que permetin una certa actuació correctora per part de l'agricultor. Per altre costat, cal seguir desenvolupant algorismes per a la dosificació variable d'entrades en funció de la informació recopilada pels sensors que permetin maximitzar les produccions a nivell agronòmic però també a nivell econòmic.

### 2.2.4 Agricultura de precisió basada en mapes i en sensors en temps real

Aquesta metodologia basada alhora en mapes i en sensors en temps real busca aprofitar els avantatges de les metodologies descrites en els apartats anteriors. El mapa d'aplicació fruit del procés d'elaboració de la metodologia basada en mapes permet tenir en compte moltes informacions complementàries que poden enriquir el procés de presa de decisió i analitzar-les amb profunditat mentre que els equips que treballen amb sensors i en temps real proporcionen un ajust fi de la dosi final aplicada.

Aquest concepte de l'agricultura de precisió s'ha començat a aplicar en la distribució de fertilitzants. Auernhammer (2001) ja va pronosticar que l'agricultura de precisió del futur tindria en compte la informació en temps real de sensors però solapada sobre mapes digitals d'informació prèvia. En el seu cas, la metodologia es proposava per a decidir la dosi de nitrogen a aplicar en un camp a partir de sensors radiomètrics (com en una aplicació basada en sensors i en temps real) però corregint aquesta aportació en funció d'un mapa previ de disponibilitat d'aigua al sòl (creat a partir de mesures anteriors de sensors d'humitat del sòl seguint la metodologia basada en mapes digitals d'informació). L'any 2004, Ostermeier i Auernhammer presenten un primer model teòric per a poder portar a terme la metodologia amb mapes i sensors en temps real i l'apliquen al procés de distribució de nitrogen mineral a partir de sensors en temps real i mapes digitals. Els mateixos autors creen, més recentment, un entorn de simulació amb un sistema expert capaç de fusionar en temps real informació provinent de múltiples sensors i de l'usuari. Per un costat hi ha la informació adquirida en temps real per un sensor radiomètric que, una vegada processada, proporciona l'índex hiperespectral REIP (sigla de *Red Edge Inflection Point*) relacionat amb l'estat de la vegetació. Per altre costat hi ha mapes d'informació. En aquest cas, els autors utilitzen el mapa de collita de la temporada anterior, el mapa de conductivitat elèctrica del sòl, un mapa de característiques texturals del sòl i el mapa de la distribució de nitrogen de la primera aportació de la temporada. I, finalment, restriccions per a la protecció mediambiental i consideracions de l'usuari. Tota aquesta informació es fusiona en el sistema expert i el resultat és una consigna de quantitat de nitrogen a aplicar en la zona de la parcel·la on es troba l'equip de distribució (Ostermeier *et al.*, 2007).

### 2.2.4.1 Avantatges i inconvenients

Els avantatges de practicar l'agricultura de precisió basada en mapes i en sensors en temps real són els següents:

- a) L'usuari disposa d'una base de dades que pot ser útil per a diverses activitats relacionades amb el maneig.
- b) L'usuari pot utilitzar múltiples fonts d'informació en el procés de presa de decisió per a l'elaboració de mapes d'aplicació.
- c) L'usuari té un cert control en la planificació de les dosis a aplicar. Pot decidir la dosi "grollera" a aplicar o bé supervisar el mapa d'aplicació resultat d'un sistema de suport a la decisió però la dosi "fina" l'acaba decidint el controlador del sistema en temps real.
- d) La quantitat total de producte a aplicar es pot aproximar bastant abans de començar l'operació. Això permet ajustar el proveïment de producte i reduir els residus generats.
- e) El temps disponible entre la presa de mostres i l'actuació permet un processat important de tota la informació disponible.
- f) Possibilitat de saber el que toca fer amb antelació per a poder fer ajustos i compensacions.
- g) Permet la traçabilitat dels productes.

Alguns inconvenients d'aquesta metodologia continuen essent:

- a) És una tecnologia complexa i molt sofisticada.
- b) És una metodologia que encara no està estesa i no disponible per a totes les operacions de distribució.
- c) És important disposar d'un sistema de posicionament amb la precisió adequada a la operació que es vol realitzar tant durant la recopilació de dades com durant l'operació de maneig específic.
- d) Poden existir errors de posicionament entre els diferents mapes produïts i durant l'execució del maneig.
- e) Cal tenir coneixements de geostatística i de sistemes d'informació geogràfica per tal de mapar i gestionar tota la informació recopilada.
- f) Durant el procés d'interpolació de les mesures discretes per al mapat de la variable estudiada es poden produir errors.
- g) Hi ha un decalatge temporal important entre l'instant en que es prenen les dades i el moment en que s'executa el maneig decidit.
- h) En algunes aplicacions podria ser necessari reduir la velocitat de treball per tal de donar una mica més de temps al sistema de presa de decisions.



### 2.2.5 Implantació de l'agricultura de precisió

Malgrat els avantatges productius i mediambientals, la implantació de l'agricultura de precisió al món està essent més lenta del que en un principi s'havia previst. Aquest retràs és atribuïble a diverses causes. Una d'aquestes causes és no haver tingut en compte els paradigmes de l'adopció de les noves tecnologies. Moltes vegades, els nous desenvolupaments s'han fet per promoció dels sectors investigadors i fabricants més que per demanda del sector productiu. Això provoca, endemés, un decalatge de coneixements entre els dos sectors al qual caldria dedicar més esforços per a reduir. És necessari elaborar protocols i criteris de funcionament realistes per part dels desenvolupadors per tal d'estendre l'adopció de l'agricultura de precisió a la majoria de productors (Lamb *et al.*, 2008). En l'agricultura de precisió també ha succeït que les tècniques que es van començar a comercialitzar estaven poc cohesionades i, en nombroses ocasions, el grau de desenvolupament no era complet (Valero, 2002). A més, els equips no seguien cap estàndard d'interconnectivitat i calia comprar tots els components al mateix fabricant, normalment a costos excessivament elevats. Valero (2007) argumenta que la creació d'excessives expectatives sobre les solucions de l'agricultura de precisió també ha contribuït a "desencantar" els observadors dels primers resultats. Segons l'autor, l'agricultura de precisió s'ha centrat molt en obtenir dades però poc en extreure'n informació útil per al maneig. També critica que, tal vegada, s'han desenvolupat grans aplicacions poc pràctiques en comptes de petites solucions de problemes quotidians.

Un altre aspecte a tenir en compte és la formació dels usuaris. L'agricultura de precisió pot comportar la utilització de disciplines alienes a l'agricultura i de dispositius electrònics i informàtics, amb els seus corresponents protocols i programes de control. Normalment, les generacions més grans presenten més reticències i lentitud en l'adopció d'aquestes tecnologies mentre que les generacions més joves les incorporen amb més facilitat. Relacionat amb aquest aspecte, Fernández-Quintanilla i Cook (2007), manifesten que hi ha una mancança important de tècnics assessors formats en aquestes tecnologies i que són els que haurien d'acompanyar els agricultors més agosarats en la implantació d'aquestes tecnologies.

Finalment, una altra causa retardant són els dubtes sobre la rendibilitat de les inversions necessàries per a la implantació d'aquestes tecnologies. Els equips i dispositius per a dur a la pràctica l'agricultura de precisió solen ser molt costosos a nivell econòmic i, a més, impliquen una despesa important de temps en el seu aprenentatge i en la seva utilització. Tanmateix, en els estudis de costos no s'acostuma a tenir en compte el benefici mediambiental que implicaria la utilització d'aquestes tecnologies. En l'aplicació de productes fitosanitaris, per exemple, la utilització de tècniques d'agricultura de precisió podria implicar reduccions importants de la quantitat de productes fitosanitaris utilitzats. Si el maneig de l'explotació fos correcte, aquest fet podria implicar una reducció de les pèrdues de producte i, per tant, de la contaminació generada. En les definicions recollides del terme agricultura de precisió, la majoria tenen en compte un component de reducció de l'impacte ambiental de l'activitat agrícola. Potser seria més just computar aquest possible benefici mediambiental per tal de no presentar resultats econòmics esbiaixats (Zhang *et al.*, 2002). Potser cal seguir realitzant treballs de recerca per tal de demostrar al sector i a l'opinió pública que la utilització de tecnologies de l'agricultura de precisió pot contribuir a la conservació del medi ambient (Auernhammer, 2001).

### 2.2.5.1 Implantació de l'agricultura de precisió al món

El conjunt de tecnologies que conforma l'agricultura de precisió és ampli i divers. Cada conreu i/o situació i els condicionants econòmics de les explotacions permet la implantació de part d'aquestes tecnologies. En cada cas es poden adoptar diferents nivells de tecnificació i cal valorar els condicionants particulars que han de permetre l'adopció d'elements puntuals o del "paquet complet", passant per un ampli rang de possibilitats (Valero, 2001). Probablement, el detonant de l'agricultura de precisió tal com es coneix actualment van ser els mapes de collita. Tot i que els elements necessaris per a confeccionar-los són costosos i la formació requerida és elevada, en molts casos aquests dispositius s'han pres com a indicador de la implantació de l'agricultura de precisió (Griffin, en premsa). També s'ha constatat que molts agricultors, malgrat disposar dels mapes de collita, no utilitzen la informació que se'n deriva en les seves tasques de maneig. A la Taula 2.1 es pot apreciar una recopilació de diverses estimacions del nombre de monitors de collita emprats en diferents països. Tanmateix, aquesta informació resulta, en molts casos, molt poc precisa donat que no es disposa d'estadístiques oficials que detallin els tipus de dispositius ni el nombre dels que realment s'estan utilitzant.

**Taula 2.1.-** Nombre de monitors de collita estimats per països i en diferents anys (font: Griffin, en premsa).

País	Nombre estimat de monitors de collita	Any de realització de l'estimació	Monitors de collita per 10 <sup>6</sup> ha
Alemanya	4.250	2003	523
Estats Units	30.000	2000	335
Dinamarca	400	2000	247
Argentina	4.500	2008	180
Suècia	150	2000	119
Regne Unit	400	2000	107
Austràlia	800	2000	42
Països Baixos	6	2000	27
Chile	12	2000	19
Bèlgica	6	2000	17
Uruguay	15	2000	12
Portugal	4	2003	6
França	50	2000	5
Brasil	250	2008	5
Sud Àfrica	15	2000	3
Espanya	5	2003	1

De la Taula 2.1 es desprèn, en primer lloc, que el major grau d'implantació relativa de monitors de collita es dona en països amb una agricultura altament mecanitzada. En segon lloc, els països capdavanters són aquells que tenen conreus amb produccions elevades i/o amb alt valor afegit (com alguns països europeus) o bé disposen d'explotacions amb una elevada superfície conreada (com els Estats Units i Argentina). Cal aclarir que l'estimació del nombre de monitors de collita a Espanya es va realitzar a partir de les impressions dels assistents a la 4a Conferència europea sobre agricultura de precisió, celebrada el 2003.

A la Conferència internacional sobre agricultura de precisió que se celebrarà a Denver el mes de juliol de 2010 hi ha prevista una comunicació que presentarà dades actualitzades de la implantació de l'agricultura de precisió al món. La comunicació estarà elaborada, entre d'altres, pel Dr. Griffin i portarà per títol *Worldwide Adoption of Precision Agriculture Technology: the 2010 Update*.

### Nord Amèrica

Els Estats Units i Canadà són dos dels països on hi ha hagut una implantació més alta de l'agricultura de precisió al món. En aquests països hi ha enquestes que indiquen un alt grau d'acceptació de diverses tecnologies de l'agricultura de precisió ja a finals dels anys 90 (Valero, 2002). Actualment, l'adopció d'aquestes tècniques és més estesa però és difícil fer estimacions acurades. Griffin i Erickson (2009) reporten informació detallada de les superfícies recol·lectades amb monitors de collita. L'any 2005, el 28% de la superfície de panís de tots els Estats Units va ser collit amb monitors de collita. Tanmateix, sembla ser que menys de la meitat empraven sistema de posicionament *GPS* i, per tant, podien generar informació georeferenciada per a poder elaborar mapes de collita. Altres conreus amb menys implantació foren el blat d'hivern i la soja, mentre que l'arròs, el cotó i altres blats no tenen la mateixa implantació.

Anualment, el *Center for Food and Agricultura Business* de la Universitat de Purdue i la revista *Crop Life* realitzen una enquesta als proveïdors d'entrades agràries (*inputs*) per tal de monitorar la implantació de l'agricultura de precisió als Estats Units. L'enquesta del 2009 resulta poc significativa a nivell de resposta (250 enquestes) però permet intuir la tendència en la utilització de sistemes de monitoratge de collita i de guiatge (Whipker i Akridge, 2009). A la Figura 2.2 es mostra una estimació de la superfície que utilitza monitors de collita amb i sense georeferenciació i de la que utilitza sistemes per a l'ajut al guiatge o sistemes d'autoguiat.

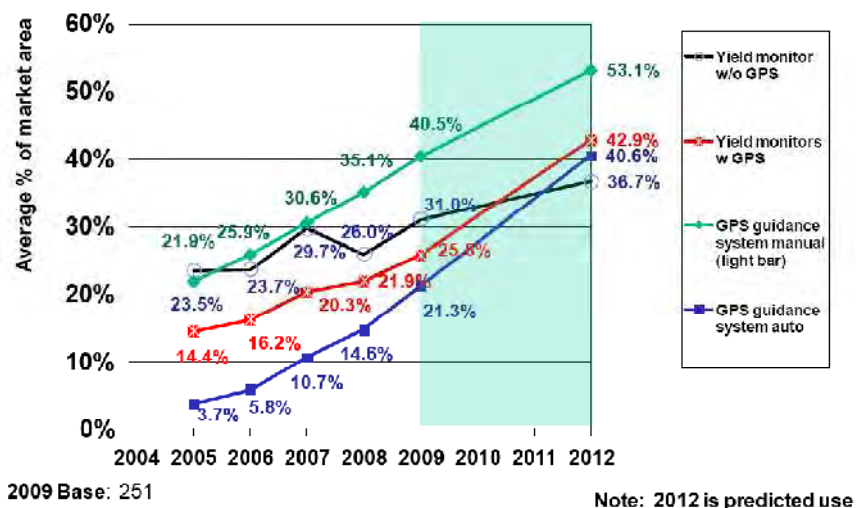


Figura 2.2.- Estimació de la superfície comercial dels Estats Units utilitzant monitors de collita i sistemes de guiatge (font: Whipker i Akridge, 2009).

Com es pot observar, la tendència és clarament a l'alça amb notòria implantació dels sistemes d'ajut al guiatge. Els sistemes d'autoguiat no tenen tanta acceptació, probablement degut al seu elevat cost. Els monitors de collita sense georeferenciació van perdent pes en favor dels monitors de collita equipats amb sistemes de posicionament.

## Sud Amèrica

El màxim exponent en l'adopció de tecnologies de l'agricultura de precisió a Sud Amèrica és Argentina tot i que Chile ja fa uns anys que va adoptant tècniques de viticultura de precisió en la seva producció vinícola. A Argentina, el procés d'implantació està motivat per l'*Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria* (INTA), un organisme públic depenent del *Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca* del govern argentí. El 1995, l'*Estación Experimental Agropecuaria* de Manfredi (INTA) es posà al capdavant del projecte *Agricultura de Precisión (PPR AP)* en col·laboració amb altres centres de l'INTA i amb el recolzament d'algunes empreses privades (Bragachini *et al.*, 2005). El projecte "té com a finalitat millorar la productivitat, qualitat i consistència de la producció de cereals, oleaginoses, pastures i farratges per a consum directe i agroindustrial. Això, mitjançant l'eficiència de l'ús dels recursos productius amb rendibilitat i innocuïtat ambiental en un marc de sostenibilitat a través del desenvolupament i actualització tecnològica d'Agricultura de Precisió". Fruit de la posada en marxa d'aquest projecte, Argentina disposa actualment de gran quantitat d'eines electròniques per a la pràctica de l'agricultura de precisió (Taula 2.2).

**Taula 2.2.-** Evolució temporal de l'adopció de diferents tecnologies de l'agricultura de precisió a Argentina (font: EEA Manfredi, INTA, a [www.agriculturadeprecision.org](http://www.agriculturadeprecision.org)).

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Monitores de Rendimiento	50	200	300	450	560	600	850	1300	1600	2500	3600
Monitores de Rendimiento con GPS	25	75	155	270	400	420	600	900	1300	2200	3300
Monitores de Rendimiento Sin GPS	25	125	145	180	160	180	250	400	300	300	300
Dosis Variabe sembradoras y fertilizadoras (sólidos)	3	4	5	6	10	12	25	40	80	420	700
Dosis Variabe fertilizadoras (líquido)									50	80	215
Monitores de siembra interactivos	400	500	700	1000	1300	1500	1800	2200	3000	4200	6500
Banderilleros Satelitales en Aviones	35	60	100	160	200	230	300	450	480	550	680
Banderilleros Satelitales en Pulverizadores	0	10	70	200	400	500	2000	3000	4000	5000	7600
Guía Automática	0	0	0	0	0	0	0	3	25	50	190
Sensores de N en tiempo real	0	0	2	2	4	5	6	7	7	12	15
Sensores de electro conductividad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4

Com es pot observar, la tecnologia més estesa és l'ajut al guiatge de tractors per a la realització de tractaments fitosanitaris (*banderilleros satelitales*), que es pot considerar la tecnologia amb millor relació cost-rendibilitat. A continuació apareixen els monitors de sembra, dispositius que indiquen el desenvolupament de l'operació de sembrat, i els monitors de collita amb georeferenciació. Menys implantació tenen les tecnologies de dosificació variable, el guiatge automàtic i els sensors per a la realització d'aplicacions variables o bé per al mapat de variables del sòl. No obstant això, el percentatge de superfície conreada amb aquestes tecnologies és encara baix en relació amb el seu potencial.

Bongiovanni i Lowenberg-DeBoer (2006) analitzen la situació argentina i indiquen els factors que, al seu entendre, afavoreixen la implantació de l'agricultura de precisió a Argentina i els factors que l'alenteixen. Com a factors positius identifiquen les grans dimensions que presenten les explotacions, especialment a la zona de la Pampa, l'elevat grau de formació dels agricultors que els permet d'accedir ràpidament a les tecnologies proposades i les ganes que tenen aquests agricultors d'obtenir informació dels seus conreus. A més, cal tenir en compte la proximitat geogràfica i la similitud en la producció agrícola amb els Estats Units, sobretot entre la zona nord americana anomenada Cinturó del panís i les zones humides de la Pampa. Com a factors negatius, els autors citen l'alt cost de la inversió inicial i l'elevat risc que presenta l'activitat agrària argentina deguda a la fluctuació dels preus del gra.

### **Oceania**

A Austràlia, la implantació de l'agricultura de precisió està essent un procés llarg i costós: va costar tretze anys arribar a un 10% o 20% dels agricultors (Fernández-Quintanilla i Cook, 2007). L'any 2001 tan sols hi havia menys del 5% dels agricultors fent mapes de collita (Cook *et al.*, 2006). En aquest cas, la demanda de desenvolupament de tecnologies relacionades amb l'agricultura de precisió va partir dels mateixos agricultors. Tanmateix, la inversió en R+D+i per part de les autoritats públiques durant la primera meitat de la dècada dels 2000 ha estat inferior a l'1%. Cook *et al.* (2006) argumenta que, tot i haver-hi la demanda, el país no té la capacitat de subministrar aquesta tecnologia als agricultors de manera ràpida. Tot i que Austràlia ha generat recerca molt important en aquest camp, els investigadors encara són insuficients i les empreses tecnològiques no estan reaccionant a temps. Un centre de recerca de referència en agricultura de precisió ha estat l'*Australian Center for Precision Agriculture (ACPA)* depenent de la Universitat de Sydney. Tot i això, pocs són els que dubten que l'agricultura que practicarà la propera generació d'agricultors australians serà l'agricultura de precisió.

### **Àsia**

L'agricultura de precisió a Àsia és pràcticament inexistent a nivell comercial. Tanmateix, l'interès per aquesta tecnologia és evident en diversos països. Actualment es té constància que s'està duent a terme recerca relacionada amb l'agricultura de precisió en països com Japó, Xina, Índia, Corea, Malàisia, Filipines, Tailàndia i Sri Lanka. Els conreus sobre els que s'està treballant són l'arròs, la soja, el blat, el cotó, l'oli de palma, la canya de sucre i la remolatxa, el te i algunes espècies d'arbres fruiters. Les tecnologies assajades són tals com el monitoratge de la collita i de la qualitat del gra, el mapa de plagues i malalties i de variables del sòl, la dosificació variable d'entrades i la collita selectiva (Srinivasan, 2006).

### **Àfrica**

Àfrica és un gran continent amb un gran potencial agrícola. Tradicionalment, la pràctica de l'agricultura intensiva ha estat molt estructurada i s'ha organitzat en petit blocs. Cada bloc podia estar sotmès a un estricte procés de monitoratge dels seus resultats i de control de les seves entrades. Sense anomenar-ho d'aquesta manera, ja fa temps que, en determinades explotacions, es porten a terme pràctiques del maneig específic localitzat que proposa l'agricultura de precisió (Nell *et al.*, 2006). Tanmateix, en el conegut com a triangle del panís de Sud Àfrica es van introduint tecnologies de l'agricultura de precisió com els monitors de collita, els sistemes de guiatge i la dosificació variable (Taula 2.3).

**Taula 2.3.-** Estimació del nombre d'unitats utilitzades de dispositius relacionats amb l'agricultura de precisió a Sud Àfrica l'any 2005 (font: Nell *et al.*, 2006).

<b>Tecnologia</b>	<b>Nombre aproximat d'unitats</b>
Monitors de collita georeferenciats	600
Dosificació variable	500
Ajut al guiatge	200
Guiatge automàtic	50

## **Europa**

Possiblement, els països europeus que més recursos han dedicat al desenvolupament i implantació de l'agricultura de precisió són Alemanya, Dinamarca i el Regne Unit (Blackmore *et al.*, 2006). Els primers a iniciar projectes de recerca en aquest àmbit van ser els britànics, endegant un projecte a cinc anys vista el 1996. El projecte es va dur a terme al *Silsoe Research Institute* de la Universitat de Cranfield amb finançament públic i la participació d'empreses del sector com Massey Ferguson. Els resultats d'aquest projecte foren importants i van obrir les portes al disseny, interpretació i implantació de tecnologies de l'agricultura de precisió al Regne Unit. Els següents, iniciant un projecte de cinc anys el 1998, foren els danesos. El projecte es va centrar, entre d'altres aspectes, en l'aplicació de nitrogen, donat que la legislació danesa en limita la quantitat màxima a aplicar. Els alemanys van iniciar el seu projecte sobre agricultura de precisió el 1999. L'objectiu va ser crear eines i mètodes per a un maneig de les parcel·les més precis d'acord amb criteris agronòmics, econòmics i mediambientals. Altres països també han desenvolupat petits projectes relacionats amb l'agricultura de precisió però sense ser tan importants com els esmentats.

### **2.2.5.2 Implantació de la agricultura de precisió a Espanya**

Actualment, a part de la informació recollida a la Taula 2.1, no s'ha trobat cap font d'informació que faci una estimació de la implantació de les tecnologies de l'agricultura de precisió a Catalunya o a Espanya. El que sí que es pot afirmar és que, a dia d'avui, no hi ha cap estadística oficial que reculli les vendes o l'ús de maquinària agrícola equipada amb aquest tipus de tecnologies.

Per tal de conèixer la situació a Espanya, l'any 2006 l'*Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos* (ETSIA) de Madrid va organitzar una jornada d'agricultura de precisió i tecnologies de la informació. A aquesta jornada es van convocar investigadors de diversos centres de recerca, professors universitaris, fabricants i representants de les institucions (Valero i Escribano, 2006). Una vegada posats en comú els treballs duts a terme per cada grup, es va convenir que la situació de la recerca i del desenvolupament en aquells moments a Espanya era força avançada i, fins i tot, era reconeguda internacionalment. Tanmateix, es va estar d'acord en que la transferència al sector i la implantació a nivell comercial era pràcticament nul·la.

### **Grups de recerca relacionats amb l'agricultura de precisió**

Fruit de la jornada d'agricultura de precisió i tecnologies de la informació celebrada l'any 2006 l'ETSIA de Madrid, es van identificar diversos grups de recerca amb línies de recerca relacionades amb l'agricultura de precisió. La llista presentada a continuació no vol ser exhaustiva sinó tan sols una mostra de l'activitat de recerca relacionada amb l'agricultura de precisió a Espanya. És evident

que, d'ençà de l'any 2006, la recerca en aquestes tecnologies ha experimentat un fort creixement. Malauradament, actualment no és possible determinar la seva transferència al sector.

El *Consejo Superior de Investigaciones Científicas* (CSIC) disposa de tres centres que actualment estan duent a terme recerca en l'àmbit de l'agricultura de precisió. Dins de *Centro de Ciencias Medioambientales*, l'*Instituto de Ciencias Agrarias* té el *Departamento de Protección Vegetal* on hi ha un grup dedicat a l'aplicació de tècniques de l'agricultura de precisió a la malherbologia. L'*Instituto de Automática Industrial* dedica part de la seva recerca al desenvolupament de tecnologies aplicables a la robòtica i a l'automatització de tasques agrícoles. Finalment, a l'*Instituto de Agricultura Sostenible* hi ha un equip desenvolupant tasques relacionades amb l'agricultura de precisió dins del *Departamento de Protección de Cultivos* i, concretament, dins de la *Unidad de Agricultura de Precisión y Teledetección*.

Altres organismes de recerca públics també han dedicat i continuen dedicant esforços a aquestes línies de recerca. L'Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA), de la Generalitat de Catalunya, investiga el reg de precisió des d'inicis dels anys 90. El *Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón*, ha investigat en temes de teledetecció, sistemes d'informació geogràfica i en sensors propers. L'Institut Valencià d'Investigacions Agràries (IVIA) van començar a investigar sobre robòtica agrícola i automatització a finals de la dècada dels 80.

Les universitats espanyoles també dediquen esforços a la docència i a la recerca en aquest àmbit (Valero i Escribano, 2006). La Universidad Politécnica de Madrid i, concretament, el seu departament de Ingeniería Rural ha participat en projectes relacionats amb sensors, comunicació entre tractors i atifells i amb l'agricultura i la viticultura de precisió. La Universidad de Santiago de Compostela ha dut a terme treballs relacionats amb la presa de dades de propietats del sòl amb sensors i la modelització de la variabilitat. La Universidad de Valladolid ha treballat amb temes d'autoguiat i visió artificial, sensors de rendiment, telegestió de regadius i automatització de processos enològics. A la Universidad de Córdoba, el departament d'*Ingeniería Rural* ha investigat sobre mapes de collita en cotó, mapes de variabilitat del sòl i rendibilitat d'aquestes tècniques. El departament d'Enginyeria Agroforestal de la Universitat de Lleida, juntament amb el Centre de Mecanització Agrària, van començar a treballar en la protecció de cultius de precisió a finals dels anys 90 i també investigat la caracterització electrònica de la vegetació. Aquestes línies també han estat treballades des del departament de Mecanització i Tecnologia Agrària de la Universitat Politècnica de València i des de l'IVIA.

### **Primers treballs d'agricultura de precisió realitzats a Espanya**

En aquest apartat es citen alguns dels projectes pioners de l'agricultura de precisió a l'estat espanyol, sense ànim de fer una relació exhaustiva de tots els treballs duts a terme.

A finals del anys 90, l'empresa Massey Ferguson, del grup Agco Iberia, va posar l'equipament necessari per a dur a terme el que probablement siguin els primers mapes de collita a Espanya. L'empresa va ser de les primeres en comercialitzar sistemes de posicionament i georeferenciació de dades embarcats en recol·lectores automotrius amb la gamma de dispositius Fieldstar. Les comunitats autònomes escollides foren Nafarroa, Andalusia i Castilla-León. Majoritàriament, els treballs es van emmarcar en projectes de recerca; a més de les mesures electròniques de la producció, es van realitzar multitud de mesures manuals georeferenciades de paràmetres del sòl i

del conreu. Els resultats obtinguts indiquen una alta variabilitat de la collita en les explotacions andaluses (Navarro *et al.*, 1999) i en les explotacions lleoneses (Escribano *et al.*, 2001).

Una de les primeres experiències documentades de mesura de rendiments realitzades a Catalunya amb tecnologies d'agricultura de precisió es va dur a terme a la comarca de La Segarra. Es tracta d'un treball dissenyat per a quantificar la variabilitat de la productivitat d'ordi en parcel·les de secà i analitzar si seria interessant tancar el cycle i implantar alguna estratègia de maneig específic localitzat. Els autors del treball van detectar una alta variabilitat en el rendiment i proposen analitzar com reaccionaria la parcel·la davant d'un maneig específic localitzat per tal de valorar-ne la seva implantació. Malgrat les bones perspectives, un inconvenient important és la reduïda dimensió que tenen les parcel·les en aquesta zona (Tous *et al.*, 2001). Tanmateix, a Catalunya, el Centre de Mecanització Agrària i la Universitat de Lleida van iniciar els treballs d'aplicació de precisió de fitosanitaris a mitjans dels anys 90 (Rosell *et al.*, 1996).

Un aspecte important per a la implantació de tecnologies de l'agricultura de precisió és la creació de xarxes d'estacions terrestres per a la difusió de correccions de les coordenades estimades per receptors de sistemes de navegació. En aquest sentit, actualment a l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC) es disposa de 18 estacions terrestres que permeten generar correccions de coordenades en diferents formats. Les primeres correccions que es van emetre a Catalunya es van difondre mitjançant el sistema RASANT (sigla anglosaxona de *Radio Aided Satellite Navigation Technique*, traduïble per tècnica de navegació satel·litària assistida per ràdio). Aquest sistema consisteix en incorporar els missatges de correcció en el senyal de ràdio comercial convencional mitjançant el sistema RDS (sigla anglosaxona de *Radio Data System*, sistema de dades per ràdio). Concretament, a Catalunya el senyal de correcció s'emete a través de l'emissora Catalunya Música des de 1996 (des de l'any 1995 en fase de proves). Aquest sistema de correcció permet assolir una precisió aproximada d'1 m. L'ús d'aquesta tecnologia requereix un receptor DGPS (sigla anglosaxona de *Differential Global Positioning System*) amb un mòdul específic per a la sintonització de l'emissora de ràdio i la descodificació del senyal de correcció (Talaya *et al.*, 1997). Actualment, l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC) disposa de 18 estacions terrestres que generen correccions diferencials de diferents tipus. A més de mantenir el sistema RASANT, des de l'any 2006, l'ICC ofereix altres serveis de correcció de coordenades en temps real. Aquestes correccions es difonen via internet i via telefonia mòbil (GPRS, sigla anglosaxona de la tecnologia *General Packet Radio Service*). Aquests serveis són el DGPS (precisió aproximada d'1 m), el CADCAT (precisió submètrica) i el RTKAT (precisió en planimetria aproximada de 4 cm i vertical de 6 cm). L'any 2004, l'*Instituto de Cartografía de Andalucía* va començar a implementar una xarxa de 22 estacions terrestres permanents separades un màxim de 100 km. Aquestes estacions van començar a emetre correccions via internet, ràdio i telefonia mòbil en configuració de xarxa l'any 2009 (Gil, 2008).

### **Procés d'implantació i condicionants a Espanya**

Des de l'aparició de les primeres aplicacions comercials de l'agricultura de precisió, diversos autors han observat la implantació al territori català i espanyol, analitzant la situació i els condicionants particulars. Des d'Extremadura, per exemple, Morillo *et al.* (2003) diu que les primeres passes s'han donat de la mà de l'Administració i que són les institucions les que han de promoure la recerca per tal de poder fer una correcta transferència d'aquestes tecnologies al sector. Tanmateix, també reclama que els fabricants de maquinària agrícola facin un bon



acompanyament en la implantació dels equips necessaris i que els assessors dels agricultors permetin la introducció d'aquests darrers en aquests coneixements.

Valero (2004) opinà el 2004 que s'estava en el punt de veure si era el moment oportú per a començar la implantació de l'agricultura de precisió a Espanya o encara no. Tot i això, manifestà que en aquells moments hi havia diversos grups que ja s'hi havien llançat. En primer lloc, les empreses de serveis (més aviat per a administració de flotes i facilitar informació a l'agricultor); en segon lloc, els grans grups de fabricants de maquinària agrícola; en tercer lloc, petites empreses de base tecnològica com a intermediaris entre fabricants i agricultors per a tasques d'assessorament i servei a l'agricultor; en quart lloc, els agricultors primerencs i més agosarats; i, finalment, els grups de recerca que treballen implantant la tecnologia que ha funcionat en altres llocs però també desenvolupant coneixement autòcton. En un article posterior (Valero, 2006), l'autor argumenta que no es pot esperar la mateixa implantació de les tecnologies de l'agricultura de precisió que a la que s'ha donat en els països capdavanters. En els cereals de secà espanyols els rendiments no són comparables amb els d'aquests països. Tanmateix, no descarta que altres conreus com l'horticultura, la vinya o els olivers tinguin més èxit. Un fet que ressalta, és l'èxit que estan aconseguint els sistemes d'ajuda al guiat o d'autoguiat. Tot i això, argumentava que no es disposava de dades que avalessin la utilitat i rendibilitat reals d'aquests equips.

Valero i Escribano (2006) van recollir les conclusions de la jornada d'agricultura de precisió i tecnologies de la informació. En elles es recullen algunes causes que poden justificar la baixa implantació a Espanya. Per un costat, podria ser que l'agricultor tingués dificultat per interpretar tota la informació generada i no acabés de tenir clara la rendibilitat de les inversions necessàries. En aquest sentit, es manifestà una mancança de serveis tècnics i consultories per a l'assessorament de l'agricultor tant en l'adquisició de la maquinària necessària com en el seu ús i aplicació per a practicar l'agricultura de precisió. També es va subratllar que alguns d'aquests equips més avançats tecnològicament no estaven adaptats a les condicions mediterrànies. Des del sector dels fabricants de maquinària, l'*Asociación Nacional de Maquinaria Agropecuaria, Forestal y de Espacios Verdes*, ANSEMAT, i d'altres van posar de manifest que les línies de recerca es centressin en necessitats reals dels usuaris i que el desenvolupament de nous equips tingués en compte la seva rendibilitat. Un altre tema important que es va identificar va ser la formació del sector en aspectes relacionats amb l'agricultura de precisió. En aquest sentit, es va subratllar la necessitat de formar tècnics especialitzats a tots els nivells, per al sector comercial, per a consultories especialitzades i per a centres de recerca. També es va instar als organismes oficials a divulgar les possibilitats de l'agricultura de precisió, a organitzar demostracions d'equips d'agricultura de precisió, a potenciar les empreses de serveis agraris i a incloure aquestes tècniques en les convocatòries oficials d'ajuts per a R+D+i.

Fernández-Quintanilla (2006) fa una anàlisi dels diferents factors que condicionen la implantació de la agricultura de precisió a Espanya. Segons l'autor, el primer condicionant és el propi conreu. Als Estats Units, els conreus on més s'han implantat les tecnologies de l'agricultura de precisió són cultius d'alt valor com el panís, la soja i el cotó. Tot i que també s'han dut a terme experiències en cereals d'hivern, els resultats no han estat tan satisfactoris. L'autor veu possibilitats d'implantació en conreus de regadiu d'alta rendibilitat mentre que expressa els seus dubtes sobre els conreus de secà. Tanmateix, les primeres experiències espanyoles s'han dut a terme en conreus de secà, probablement perquè és en aquests conreus en que és més senzilla l'elaboració de mapes de collita. Un altre aspecte important és la variabilitat que presenta la collita del conreu en qüestió, tant per la seva magnitud com per la seva distribució espacial. A efectes de rendibilitat, com més

grans són les explotacions més fàcil és que s'hi pugui implantar la pràctica de l'agricultura de precisió. A Espanya, la mida mitjana de les explotacions és més aviat petita i això representa una dificultat afegida. Tanmateix, actualment hi ha un nombre elevat d'explotacions de grans dimensions i la previsió és que, degut al despoblament del camp, la superfície que gestionarà cada agricultor vagi en augment. Un fre important a la implantació de l'agricultura de precisió són els coneixements addicionals que es requereixen per a dur-la a terme. L'autor exposa l'experiència d'altres països, en que aquesta mancança l'han cobert les empreses de serveis i les consultories mediambientals. Aquesta podria ser també una bona opció per a Espanya, sempre que el sector públic aconsegueixi anar introduint tècnics competents en aquesta matèria. Finalment, els ajustats marges de benefici que han d'afrontar els agricultors i la seva variabilitat al llarg de les campanyes no motiva l'assumpció dels riscos que implica la inversió en aquesta tecnologia. Els sectors beneficiats per l'agricultura de precisió podrien ser la pròpia empresa agrícola però també les empreses de serveis, els fabricants de maquinària agrícola i els fabricants de dispositius i aplicacions informàtiques per a la integració de la informació i per al suport a la presa de decisions.

Fernández-Quintanilla i Cook (2007) analitzen conjuntament el cas australià i n'extreuen conclusions per a la implantació de l'agricultura de precisió a Espanya. Els autors mantenen que és imprescindible ser pacients i evitar falses o exagerades expectatives que poden conduir a la frustració i a l'alentiment de la difusió d'aquesta tecnologia. En aquesta línia, cal que al mercat només arribin productes acabats i amb contrastada rendibilitat. Mentre que a Austràlia la demanda d'implantació va procedir dels agricultors, a Espanya és a l'inrevés. És per aquest motiu que cal ser curosos en la planificació i subvenció de la recerca per tal de respondre a les necessitats del sector. Un aspecte clau, identificat també per altres autors, és la formació dels nous agricultors i de la resta de professionals que hauran d'acompanyar-los i assessorar-los en la difusió i implantació de l'agricultura de precisió als nostres camps.

## 2.3 Agricultura de precisió en conreus fruiters

---

L'agricultura de precisió ha avançat molt en els darrers anys però el seu avenç s'ha centrat principalment en els conreus baixos. Els conreus englobats en el terme fructicultura també han experimentat avenços en el camp de l'agricultura de precisió però, en la majoria dels casos, molt menys importants. Algunes de les dificultats que presenten aquests tipus de conreus són el fet que es tracta d'estructures en tres dimensions on l'alçada té una magnitud considerable enfront de la poca alçada de la majoria dels primers; el fet que siguin conreus perennes enfront de conreus anuals; el fet que no tinguin una cobertura total en la parcel·la sinó que estiguin organitzats en files; però un dels majors impediments és que, actualment i en la seva majoria, es tracta de conreus la recol·lecció dels quals és manual i la generació de mapes de collita és difícil o poc viable (amb l'excepció clara de la viticultura). Per aquest motiu, un dels pocs conreus fructícoles que ha experimentat grans canvis vers l'agricultura de precisió és la viticultura, un conreu que permet la mecanització de la seva recol·lecció mitjançant maquinària específica i en la que s'hi poden embarcar monitors de collita. Cal tenir en compte que el mapa de collita és una de les bases de l'agricultura de precisió i en ell es posa de manifest la variabilitat de la producció i les zones amb problemes. D'aquesta manera, mentre en els conreus baixos una de les limitacions és la rendibilització de les noves tecnologies, en la fructicultura la limitació és, precisament, la manca de tecnologies adaptades (Brown i Rosenstock, 2006). Cal fer esment, però, que malgrat en l'actualitat els robots recol·lectors encara no han trobat el seu espai en la fructicultura, als anys 80 i 90 del segle XX hi va haver un gran desenvolupament d'aquestes tecnologies.

En altres vessants de l'agricultura de precisió, Roberson (2000) manté que algunes pràctiques com l'exploració del terreny, el mapat de característiques dels camps, les aplicacions amb dosificació variable i el mapat de les produccions ja és tècnicament possible adaptar-les a la fructicultura. L'esforç cal dirigir-lo vers la recerca en la determinació dels beneficis econòmics i mediambientals d'aquests elements de l'agricultura de precisió.

En una explotació fructícola, la mínima unitat productiva és l'arbre. Les condicions entre arbres dins de la mateixa parcel·la, i fins i tot en la mateixa fila, poden arribar a ser molt diferents en termes de característiques del sòl, de topografia, de reg i d'altres paràmetres menys influents. Aquest fet acaba provocant una gran variabilitat no solament en la producció sinó també en la qualitat dels fruits recol·lectats (De Baerdemaeker, 2001). Amb les noves tecnologies de l'agricultura de precisió ara s'està en disposició de reconèixer aquesta unitat productiva i arribar a fer un maneig localitzat a nivell d'arbre, reconeixent les seves necessitats i el seu potencial. Això permetrà realitzar aportacions individualitzades així com la traçabilitat dels productes una vegada desenvolupats els sistemes de suport a la decisió i els equips amb dosificació variable necessaris (Meron *et al.*, 2003).

Segons De Baerdemaeker (2001), hi ha diverses aplicacions de l'agricultura de precisió en la fructicultura que poden ser molt interessants. Cal desenvolupar sensors i mètodes que permetin l'adquisició de paràmetres de qualitat sobre el terreny per tal de generar informació amb una altra resolució de mostratge de manera ràpida i econòmica. Aquests paràmetres podrien facilitar la presa de decisió del moment òptim de recol·lecció. Com que es tracta de conreus perennes, les anàlisis de mapes cal que siguin plurianuals, dissenyant eines d'interpretació que relacionin tota aquest informació com, per exemple, tècniques convencionals d'anàlisi d'imatges, tècniques de lògica difosa i xarxes neurals.

Mentre que la rendibilitat de la implantació de tècniques d'agricultura de precisió pot no ser massa evident, el que sí que poden aportar aquestes noves metodologies és un increment de la qualitat final dels productes. El fet d'incorporar noves tecnologies de la informació i la comunicació a la producció fructícola permetrà la traçabilitat dels productes, és a dir, permetrà al distribuïdor i al consumidor saber d'on ve i com s'ha produït aquella fruita i, alhora, obre un canal de comunicació en sentit contrari: el productor podrà rebre informació de les preferències qualitatives de cada segment de mercat i decidir a quin sector dedica els diferents atributs qualitius que, inevitablement, té la fruita de la seva plantació (color, matèria seca, diàmetre, etc.). Si l'agricultor aplica tècniques de zonificació, podrà tenir identificades diferents zones a partir de les característiques del fruit i fer un maneig diferenciat per tal d'aconseguir les característiques desitjades. Per a poder implementar aquestes aplicacions s'ha d'arribar a poder mapar paràmetres de qualitat i rendiment de manera ràpida i econòmica i per a això s'han de desenvolupar sensors i mètodes que ho permetin (Bollen *et al.*, 2001).

En aquest apartat es descriuen aplicacions concretes de l'agricultura de precisió en la fructicultura com l'elaboració de mapes de collita i altres paràmetres en diferents conreus, la zonificació de les parcel·les i estratègies de maneig diferencial, eines per a la caracterització de la capçada i les seves aplicacions, l'estudi de la distribució de plagues i la determinació de dosis per a l'aplicació de productes fitosanitaris. També es fa referència a sistemes per a la navegació autònoma en plantacions fructícoles amb plataformes robotitzades que permetran embarcar sensors de tot tipus per a realitzar tasques de mesura i maneig sense la intervenció de les persones.

Els temes relacionats amb l'aplicació de productes fitosanitaris es relacionaran amb detall a l'apartat 2.4 Agricultura de precisió i aplicació de fitosanitaris.

### **2.3.1 Fructicultura de precisió**

En fructicultura de llavor s'han dut a terme treballs de recerca interessants. Alguns d'aquests treballs estan relacionats amb tècniques d'aplicació de productes fitosanitaris i, concretament, amb el disseny de polvoritzadors. Aquests darrers treballs no es relacionen en aquest apartat sinó que seran objecte d'una anàlisi detallada als apartats 2.4.4 Projectes sobre noves tecnologies i aplicació de fitosanitaris.

Una de les majors dificultats que troba la implantació de l'agricultura de precisió en la fructicultura és la recol·lecció manual de la fruita. El fet de no poder generar mapes de collita amb facilitat és una limitació important ja que, tal com s'ha comentat en apartats anteriors, aquesta informació és en molts casos el punt de partida del cicle de l'agricultura de precisió. El treball descrit en Bollen *et al.* (2001) proposa una metodologia per tal de poder relacionar paràmetres productius i qualitius del fruit amb la zona de la plantació on s'han produït. La manera d'aconseguir-ho sense interferir excessivament en les tasques de recol·lecció es basa en identificar electrònicament els contenidors mitjançant codis de barres i enregistrar la seva posició sobre el terreny. Una vegada recollit el contenidor, traslladat a la planta classificadora i classificada la seva càrrega per pes i per coloració sense barrejar-se amb la d'altres contenidors, és possible seguir el procés a la inversa aplicant tècniques de traçabilitat. La informació generada permet obtenir distribucions aproximades de la producció i paràmetres qualitius en la plantació.

Seavert *et al.* (2005) fan un altre estudi en una plantació per tal d'analitzar la seva productivitat. A tal efecte realitzen una collita manual específica per arbre per tal de determinar la producció i els diàmetres dels fruits de cada individu. La recol·lecció individualitzada interfereix clarament el procés habitual de collita però, a canvi, aporta molta més informació. A partir d'aquest punt apliquen tècniques d'agricultura de precisió i realitzen mapes de producció de la parcel·la estudiada. Aquesta informació els serveix per a detectar arbres amb baixa producció o amb fruits de diàmetre reduït així com per a establir relacions entre altres variables com la secció transversal de la capçada dels arbres. L'aplicació d'aquesta metodologia els permet detectar zones de més baixa productivitat, analitzar aquestes zones amb més detall, establir hipòtesis de treball i generar estratègies de maneig per a intentar corregir els rendiments baixos.

Una altra vessant important de la fructicultura de precisió és el treball que van dur a terme Ribes-Dasi *et al.* (2005) centrat en monitorar la distribució espacial de plagues en una regió. El fet de disposar mapes de distribució i incidència de plaga a escala regional i, fins i tot, a escala de parcel·la permetria decidir tant el moment d'aplicació com la dosi a aplicar de manera localitzada implementant tècniques de dosificació variable de productes fitosanitaris.



Una altra línia de recerca en fructicultura de precisió és el projecte *Comprehensive Automation for Specialty Crops* (automatització comprensiva per a conreus especialitzats), també anomenat CASC. Es tracta d'un projecte atorgat a un centre de robòtica de la Universitat de Carnegie Mellon, als Estats Units. El fet que el projecte estigui liderat per un grup de robòtica fa que el primer objectiu sigui dissenyar equips que permetin la navegació per les plantacions de forma segura. Una vegada dissenyada aquesta plataforma autònoma, s'hi aniran afegint dispositius que permetin la realització d'operacions relacionades amb la fructicultura de precisió com l'adquisició de dades sobre l'estat del conreu i la qualitat dels fruits. Els vehicles també podran realitzar aplicacions de productes diversos i executar tasques rutinàries com operacions de manteniment de la plantació. En definitiva, es tracta d'integrar la tecnologia robòtica amb la fructicultura per tal de millorar l'eficiència de producció de les plantacions fruiteres. Les dades del projecte es relacionen a la Taula 2.4.

La descripció oficial del projecte és la següent:

«La indústria dels conreus especialitzats (entre d'altres, els conreus fruiters) s'enfronta a una crisi cada vegada més gran de costos i escassetat de mà d'obra i, si continuen les tendències, les explotacions agrícoles estan en risc de fallida econòmica. L'augment de l'eficiència de producció és vital per a la supervivència d'aquesta important indústria. A més dels costos laborals, una creixent demanda per part dels consumidors de fruita d'alta qualitat, segura, assequible, amb possibilitats de traçabilitat, i la necessitat de reduir al mínim l'impacte mediambiental representen desafiaments clau per a la sostenibilitat de conreus especialitzats als Estats Units. En aquest projecte, un equip pluridisciplinari d'enginyers, agrònoms, economistes, professionals d'extensió agrària i socis comercials proposa esforços centrats en la recerca, l'educació i l'extensió a efectes d'actuar sobre l'avaluació dels conreus, la cura del medi ambient, l'eficiència de producció, la seguretat alimentària i la sostenibilitat. El nostre enfocament reduirà els costos i incrementarà la qualitat i arranjarà la necessitat urgent de reduir la mà d'obra per a la indústria de conreus especialitzats. Els productors i líders de les comunitats rurals han estat totalment involucrats en el desenvolupament d'un pla estratègic per a aprofitar l'estat de les tecnologies més avançades per a desenvolupar un sistema automatitzat comprensible i mediambientalment, econòmicament i socialment sostenible des del productor fins al consumidor. Els plans d'acció inclouen el desenvolupament, integració, assajos i desplegament d'un conjunt acuradament seleccionat de tecnologies de la informació, la mobilitat i el maneig de conreus i transferir els resultats als usuaris finals a través de la divulgació i la comercialització. Les tecnologies proposades inclouen mobilitat reconfigurable, posicionament precís, recollida de dades, mapat, presa de decisions i recol·lecció assistida. Les tècniques agronòmiques inclouen la detecció de l'estrès de les plantes, la detecció de malalties i plagues, el

monitoratge de poblacions d'insectes, el calibratge dels fruits i determinació de la càrrega del conreu. Es duran a terme validacions econòmiques en plantacions comercials de diferents dimensions de les noves tecnologies i es realitzaran estudis en profunditat en 12 plantacions pilot comercials amb la finalitat d'avaluar la compatibilitat de l'estructura de les capçades amb la seva automatització. Per tal de garantir la transferència de tecnologia, diverses empreses associades estaran involucrades des de l'inici del projecte.»

**Taula 2.4.-** Dades del projecte *Comprehensive Automation for Specialty Crops*, CASC.

<b>Títol del projecte</b>	<i>Comprehensive Automation for Specialty Crops.</i>		
<b>Acrònim</b>	CASC		
<b>Data d'inici</b>	01/11/2008	<b>Data de finalització</b>	31/10/2012
<b>Cost del projecte</b>	12,020,464\$	<b>Cost subvencionat</b>	6,010,232\$
<b>Entitat finançadora</b>	Agència <i>Cooperative State Research, Education and Extension Service</i> , del Departament d'Agricultura d'Estats Units		
<b>Tipus de programa</b>	<i>Specialty Crop Research Initiative</i>		
<b>Sigla del programa</b>	SCRI		
<b>Subprograma</b>	<i>Coordinated Agricultural Projects</i>		
<b>Referència</b>	PENW-2008-04961		
<b>IP - Coordinació (País)</b>	Dr. Sanjiv Singh - Carnegie Mellon University (Estats Units)		
<b>Centres col·laboradors</b>	5 universitats, 5 empreses i el Dep. d'Agricultura d'Estats Units (USDA)		

### 2.3.2 Viticultura de precisió

La viticultura és, sens dubte, el conreu fructícola en el que més s'han desenvolupat i implantat tecnologies d'agricultura de precisió. La possibilitat de mecanitzar la verema i l'alt valor afegit que té actualment el vi són dos factors clau que propicien aquest fet (McBratney i Taylor, 2000).

Taylor *et al.* (2005) fan una revisió exhaustiva de les tecnologies que s'utilitzen en viticultura de precisió. En els darrers anys s'han implantat tecnologies que han permès la recopilació de grans volums d'informació fins al moment no disponible o massa costosa d'aconseguir. Proposen solucions relacionades amb el maneig de la capçada amb la utilització d'eines com sensor remot i propers per a poder-la caracteritzar, la identificació de zones de risc de proliferació de plagues i malures, la realització d'accions preventives de manera localitzada, la dosificació de productes adaptada a les seves característiques així com esporgar i despampolar de forma localitzada. Acaba dient que cal saber què fer amb tota la informació recopilada. Aquesta informació no resulta útil si no s'utilitza en la presa de decisions i la pregunta que es fan els autors és com incorporar tot aquest volum d'informació a la pràctica agronòmica de la viticultura per tal de millorar els sistemes productius. Conclouen que això ja no només afecta les àrees de l'electrònica i l'automatització sinó que cal treballar de manera pluridisciplinària per a treure'n profit.



Un dels àmbits en el que més s'ha avançat en la viticultura de precisió és en el mapat de variables del sòl i del conreu per a la posterior anàlisi i relació amb paràmetres agronòmics de la producció. A partir dels mapes digitals d'informació obtinguts s'han realitzat, també, molts treballs relacionats amb la creació de zones amb paràmetres similars dins les parcel·les. Hi ha treballs que han combinat tècniques analítiques convencionals amb tècniques de gestió de la informació

importades de l'agricultura de precisió (Arnó *et al.*, 2005a; Arnó *et al.*, 2005b; Arnó, 2008). En aquests treballs es realitzen anàlisis de sòls, anàlisis foliars i anàlisis de paràmetres qualitius amb mostratges d'alta resolució per tal de poder mapar les diferents variables que participen en el procés productiu de la vinya. També es realitzen mesures de dades topogràfiques (elevació i pendent) dins de les parcel·les i s'enregistren les dades dels monitors de collita instal·lats en les veremadores. Una vegada generats tots els mapes digitals es procedeix a analitzar quines d'aquestes variables intervenen de manera decisiva en la productivitat i la qualitat del raïm obtingut i a estudiar les seves relacions. A partir de tota aquesta informació s'estima convenient delimitar zones de maneig diferenciat.

La teledetecció és una altra eina important per al mapat de variables en la viticultura de precisió. A més a més de detectar característiques dels sòls, com ja s'ha descrit, pot aportar informació d'interès sobre el conreu. Fins a l'actualitat, la teledetecció ha desenvolupat dues funcions diferents en la viticultura. La primera ha estat el mapat general de vinyes per a la discriminació de varietats i, la segona, el mapat del vigor relatiu per a l'establiment de diferències en el comportament dels ceps dins d'un mateix bloc varietal. Aquesta darrera funció té diverses aplicacions tals com la detecció precoç de plagues i malures, l'estimació de paràmetres qualitius i productius així com la identificació de problemes en els sistemes de regadiu (Hall *et al.*, 2002).

Johnson *et al.* (2003) comparen mesures manuals sobre el terreny de l'índex d'àrea foliar en vinya amb l'índex NDVI extret d'imatges satel·litàries i troben que hi ha correlació suficient com per a emprar la teledetecció en la caracterització de les capçades dels ceps. Tanmateix, Taylor *et al.* (2005) reconeixen els avantatges de la teledetecció però mantenen que cal no menystenir les observacions i mesures locals, sobretot en el maneig de la capçada.

Arnó *et al.* (2006) utilitzen un sensor lidar (acrònim de *light detection and ranging*, és a dir detecció d'objectes i mesura de la distància mitjançant feixos de llum) per a correlacionar les dades obtingudes amb mesures de l'índex d'àrea foliar determinat de manera manual. El resultat és una correlació important entre les dades, cosa que permet caracteritzar la capçada i representar aquesta informació en mapes digitals per al seu estudi posterior. La caracterització electrònica de la capçada es tractarà amb més profunditat a l'apartat 2.5 Caracterització electrònica de la vegetació i aplicació de fitosanitaris.



Altres estudis fan referència a l'anàlisi de la productivitat de les parcel·les. Com s'ha comentat en apartats anteriors, la recol·lecció del raïm és una operació totalment mecanitzada. L'aparició de tècniques d'agricultura de precisió ha permès implementar dispositius com els monitors de collita per a quantificar i localitzar la producció. A partir d'aquest esdeveniment, molts autors s'han dedicat a analitzar aquesta producció i la seva distribució en l'espai per a quantificar el grau de variabilitat que presenta i les seves causes. Una vegada identificades les causes, el que caldrà és realitzar actuacions que permetin incrementar la productivitat tot reduint aquesta variabilitat. Per aquest motiu, el pas previ a l'actuació és la identificació de zones en la parcel·la que tinguin un comportament similar en relació amb la productivitat. Bramley i Hamilton (2004) analitzen el rendiment en parcel·les de vinya i observen una gran variabilitat. En analitzar els mapes de collita de diverses temporades, s'adonen que hi ha zones que mantenen tendències similars al llarg de les temporades. A partir dels mapes de collita, els autors estudien dos mètodes per a la zonificació de la parcel·la estudiada.

Els investigadors coincideixen en la necessitat d'analitzar els mapes de collita de diverses temporades de manera conjunta per tal d'eliminar la variabilitat causada per fenòmens estacionals com podrien ser els deguts a la meteorologia (Arnó *et al.*, 2005a; Arnó *et al.*, 2005b; Arnó, 2008). Bramley (2005) defensa que un maneig específic localitzat en vinya és necessari però subratlla que la zonificació segons paràmetres agronòmics del conreu amb mostratge i anàlisi convencionals resulta excessivament cara. Per aquest motiu argumenta que, mentre no es disposi de sensors per a la determinació de paràmetres qualitius del conreu en temps real, la informació més adient per a fer la zonificació d'una parcel·la són les dades de producció georeferenciades.



La conseqüència de l'adquisició i l'anàlisi de tota aquesta informació ha de ser la capacitat de prendre millors decisions agronòmiques durant el procés productiu. Després de constatar que no sempre és viable incrementar la producció en les zones de rendiment més pobre amb la utilització de tecnologies de dosificació variable d'entrades agrícoles, una solució que s'ofereix és la recol·lecció selectiva per a l'obtenció d'un producte final amb diferents qualitats. En el cas de la viticultura, la verema selectiva del raïm permet l'elaboració de vins de diferents qualitats que en el mercat tindran un valor diferenciat, cosa que podria arribar a millorar els resultats econòmics de les explotacions (Bramley i Hamilton, 2004). Hi ha treballs que documenten estudis econòmics on l'opció de maneig amb verema selectiva incrementa els beneficis de la temporada per l'increment de qualitat assolit en els vins obtinguts (Ortega *et al.*, 2003; Bramley *et al.*, 2005). A Arnó (2008) també es contempla l'opció de la verema selectiva però a partir de criteris de qualitat del raïm a més a més de mapes de collita.

### 2.3.3 Citricultura de precisió

Un altre grup de conreus on hi ha hagut un gran desenvolupament de tècniques d'agricultura de precisió són els cítrics. Malgrat això, no s'ha arribat al mateix desenvolupament de la viticultura de precisió, entre d'altres motius per la manca d'una tecnologia de recol·lecció mecanitzada o robotitzada que permeti la generació senzilla i ràpida de dades per a elaborar mapes de producció.

Per aquest darrer motiu hi ha molts treballs relacionats amb la recerca d'un mètode que permeti la generació d'informació per al mapat de la producció sense interferir el procés de recol·lecció. El resultat abasta diverses opcions que van des de la més senzilla i econòmica fins a solucions més sofisticades i costoses. Dins del primer grup hi ha la possibilitat d'enregistrar la posició dels contenidors que van omplint els recol·lectors mitjançant sistemes de posicionament satel·litari per tal de confeccionar mapes de densitat de contenidors que es poden convertir en mapes de collita si es considera un pes constant per a tots els palots de 400 kg (Schueller *et al.*, 1999; Whitney *et al.*, 2001b). A més a més, aquests sistemes permeten l'enregistrament electrònic de la tasca realitzada per cada recol·lector a efectes de remuneració del seu treball.

Altres sistemes més sofisticats incorporen, a més del sistema de posicionament, un sistema de pesatge embarcat en el camió que va recollint els contenidors escampats per la plantació. En el moment de carregar el contenidor es procedeix a la seva georeferenciació i al seu pesatge, cosa que millora els sistemes anteriorment descrits (Whitney *et al.*, 1999; Whitney *et al.*, 2001a; Tumbo *et al.*, 2002b).



El problema d'aquests sistemes és l'assignació de la fruita collida als arbres d'origen. Cada contenidor de 400 kg contindrà fruita de diversos arbres. A efectes de mapat o, fins i tot, de traçabilitat, cal establir una zona de representativitat per a cada contenidor. Si es desitja més precisió cal decantar-se per sistemes mecànics d'ajut a la recol·lecció o, en el moment que sigui possible, per sistemes robotitzats de recol·lecció automatitzada. Si s'acaben implantant sistemes de recol·lecció robotitzada, el ventall de possibilitats que s'obre és molt interessant. Evidentment, incorporant sistemes de posicionament i de pesatge es podrà disposar d'informació per a l'elaboració de mapes de collita però la incorporació de sensors per a la mesura de paràmetres qualitius dels fruits permetrà generar mapes inèdits fins al moment. Un exemple d'aquesta darrera aplicació és el desenvolupament d'un sensor per tal de determinar el contingut de sòlids solubles en cada fruit mitjançant tècniques d'espectroscòpia d'infraroig proper. Aquest paràmetre està íntimament lligat a l'estat maduratiu del fruit en conreus cítrics i permetria generar un model de la plantació a partir del qual es podria establir la data òptima de recol·lecció (Zude *et al.*, 2008). Un robot recol·lector que incorporés aquest sensor podria collir cada fruit en el seu moment òptim i així pal·liar la variabilitat de paràmetres qualitius de la collita.

Altres treballs es centren en relacionar paràmetres del conreu mesurats amb sensors amb valors de productivitat per tal de trobar-hi alguna relació que permeti estimar el rendiment a partir de la mesura del paràmetre correlacionat. Zaman *et al.* (2006) troben relació entre les dimensions dels arbres i la seva productivitat. Per aquest motiu mesuren la capçada amb sensors ultrasònics per a estimar el rendiment potencial de la plantació. Ye *et al.* (2008) fan fotografies aèries en 72 bandes de l'espectre electromagnètic per a calcular l'índex radiomètric anomenat *Two-Band Vegetation Index* (TBVI) i correlacionar-lo amb el rendiment obtingut en cítrics per tal de poder, en un futur, fer previsions de collita.



Una altra línia de treball en la citricultura ha estat, i continua essent, la caracterització de la capçada i l'ús d'aquesta informació per al maneig de les plantacions. Els mètodes utilitzats per a la caracterització es comentaran amb detall a l'apartat 2.5 Caracterització electrònica de la vegetació i aplicació de fitosanitaris però algunes de les aplicacions derivades es relacionen a continuació.

Un dels sensors més adients per a la caracterització d'alta resolució de la capçada és el sensor lidar. Recentment, aquest tipus de sensors s'han validat en diversos conreus per tal de contrastar els resultats obtinguts amb metodologies de caracterització tradicionals i per a explorar el potencial de la seva aplicació en la fructicultura. En cítrics, concretament, es desenvolupà una aplicació per a determinar l'alçada dels arbres, el volum de les capçades i una estimació de la densitat foliar de la capçada (Wei i Salyani, 2004; Wei i Salyani, 2005). A partir d'aquest darrer paràmetre, Salyani *et al.* (2007) dissenyen un polvoritzador capaç de modificar el cabal d'aire utilitzat en l'aplicació de productes fitosanitaris en funció de la densitat foliar de la capçada estimada.

Schumann i Zaman (2005) utilitzen sensors d'ultrasons per a determinar les dimensions de la capçada (alçada, amplada i volum de la capçada). A partir de les mesures simultànies de diversos sensors i la seva georeferenciació desenvolupen un programa informàtic que realitza un mapat de la informació en temps real. Més endavant, Zaman *et al.* (2005) utilitzen els mapes generats en una plantació de 17 ha de cítrics per a generar un mapa de prescripció per a l'aplicació de fertilitzants de manera variable proporcional al volum de capçada de cada arbre. Per a aquesta finalitat es disposa d'una adobadora amb un sistema de regulació electrònic que interpreta el mapa de prescripció i s'autoregula per a aplicar la dosi de fertilitzant establerta. Les diferents dosis a

aplicar són cinc, determinades a partir de la classificació dels volums de capçada en cinc classes diferents. Els resultats indiquen estalvis importants de fertilitzants en comparació amb dosificacions uniformes amb la dosi més alta per a satisfer les necessitats dels arbres amb més vegetació. El motiu de l'estudi era demostrar que és possible reduir les quantitats aplicades de fertilitzant en les plantacions de cítrics de Florida per tal de reduir la contaminació derivada dels excessos de nitrats que acaben percolant i contaminant les aigües subterrànies. En un article posterior, però, Schumann *et al.* (2006) assagen el funcionament de dos models comercials d'adobadores per a la dosificació variable en arbres individuals i comproven que el temps necessari per a modificar la regulació dels equips és excessiu treballant a velocitats d'avanç convencionals. Si es vol treballar en base a arbres individuals en marcs de plantació densos a velocitats que permetin capacitats de treball rendibles cal millorar els sistemes de dosificació variable. Una de les dificultats que es presenten és la descrita per Fadel (2004), que posa de manifest que no existeixen metodologies estandarditzades per a assajar correctament el comportament d'aquest tipus d'equips al camp.

Els mateixos autors també estudien la relació entre el creixement dels arbres i diversos paràmetres del sòl i del conreu per tal de poder realitzar un maneig diferenciat que redueixi la variabilitat de la producció (Zaman i Schumann, 2006). Concretament, a partir d'imatgeria satel·litària es determina l'índex radiomètric NDVI i mitjançant tècniques de mostreig i anàlisi convencionals es determinen diversos paràmetres del sòl i de la vegetació. L'índex NDVI dona idea del creixement o vigor de la vegetació i, segons els autors, les mesures de paràmetres del sòl realitzades sobre el terreny arribaren a explicar el 90% de la seva variabilitat. A partir de les dades obtingudes es va proposar un maneig diferenciat en tres zones delimitades a partir del NDVI i del contingut de matèria orgànica del sòl per tal de procedir a aplicar esmenes dels continguts minerals necessaris.

Finalment, assenyalar que en el camp de l'aplicació de precisió de productes fitosanitaris també s'ha realitzat una recerca important en cítrics. Aquests treballs, en estar altament relacionats amb l'objecte d'aquesta tesi, seran analitzats amb detall a l'apartat 2.4 Agricultura de precisió i aplicació de fitosanitaris.

### **2.3.4 Agricultura de precisió en altres conreus**

En altres conreus fructícoles, la implantació de l'agricultura de precisió segueix línies de treball similars a les ja esmentades en els conreus principals. La voluntat dels diferents sectors és determinar les possibilitats d'implantació d'aquest tipus de tecnologies i les millores en la productivitat i/o en la qualitat que puguin comportar per tal de fer-ne viable la seva implantació en els diferents sistemes productius. Els treballs se centren en l'elaboració de mapes de collita tant en els conreus amb recol·lecció mecanitzada com en els de recol·lecció manual, en la representació espacial de variables tant del conreu com del sòl per tal de relacionar-les amb el procés productiu, en la classificació de les parcel·les en zones de comportament similar per tal d'establir un maneig zonal específic i en la traçabilitat dels productes a partir de la interpretació de la informació generada.

En aquest apartat hi ha treballs com el de Brown i Rosenstock (2006) que, tal com s'ha esmentat anteriorment, van adaptar un vibrador per a la recol·lecció de pistatxos per tal que quantifiqués els fruits collits en cada arbre i en georeferenciés el resultat. L'obtenció del mapa de collita de la

parcel·la és un bon punt de partida per tal de quantificar la variabilitat de la producció, detectar problemes derivats del maneig i dissenyar estratègies per a optimitzar la productivitat i minimitzar l'impacte ambiental de l'activitat agrícola. Els resultats d'aquest treball es podrien estendre a qualsevol altre conreu que es recol·lecti mecànicament amb vibradors per tal d'assentar les bases per a començar a aplicar tècniques d'agricultura de precisió.

En olivicultura, per exemple, Álamo *et al.* (2003) i López-Granados *et al.* (2004) realitzen mostratges foliaris i anàlisis convencionals tot georeferenciant els resultats per tal de construir mapes digitals dels paràmetres estudiats. Els primers, integren el model digital del terreny de la parcel·la, els mapes de collita de tres campanyes i la distribució espacial del contingut foliar de nitrogen, fòsfor, potassi, ferro i bor de dos campanyes consecutives en un sistema d'informació geogràfica. El pas següent seria la interpretació de tota aquesta informació, la recerca d'interaccions entre els paràmetres, la creació de zones i la presa de decisions per a un possible maneig diferenciat. Els segons, realitzen també un mostratge foliar per a la determinació dels mateixos paràmetres i elaboren els mapes corresponents per tal d'establir un esquema de fertilització amb aplicació selectiva. Estableixen un llindar de control per a cada element per sota del qual es fa necessària una aportació externa de l'element en qüestió. En les zones on el contingut de l'element superi el llindar establert no es procedeix a realitzar cap aportació suplementària. Aquesta actuació comporta estalvis de productes fitosanitaris i, per tant, beneficis per a l'explotació i el seu medi però és necessari validar la bondat del sistema realitzant anàlisis foliar *a posteriori* per a determinar la seva efectivitat.

Panagopoulos *et al.* (2006) duen a terme una experiència en una plantació d'albercoquers (*Prunus armeniaca* L. cv. 'Beliana' i *Prunus armeniaca* L. cv. 'Lindo') per a mapar paràmetres qualitius dels fruits com el contingut en sòlids solubles, la fermesa, la matèria seca i el color. La distribució espacial d'aquests paràmetres permet pensar en una recol·lecció selectiva a partir de la zonificació de la parcel·la per a optimitzar la qualitat de la producció i també per a adaptar-se a les demandes del mercat.

On també s'ha produït una certa implantació de tècniques d'agricultura de precisió ha estat en la producció de kiwis (*Actinidia deliciosa* o *Actinidia chinensis*). Woodward (2006) realitza una tesi doctoral per a estudiar les fonts de la variabilitat en la producció de kiwis i la seva distribució i identificar oportunitats per a gestionar-la. Les seves conclusions indiquen que, malgrat hi ha certa variabilitat espacial entre plantacions i entre soques, aquesta queda diluïda per altres components no espacials de la variabilitat i, per tant, no justificaria un maneig zonal específic. On sí que hi ha potencial i es podria incidir és en aconseguir incrementar la mida i la uniformitat dels fruits i el contingut de matèria seca. També en kiwis, Gillgren (2001) proposa incrementar la resolució actual de la traçabilitat (en aquell moment només fins a nivell de parcel·la) fins a poder determinar l'origen i condicions de producció de la fruita a nivell de la zona dins la parcel·la on va créixer. Aquest canvi permetria al productor disposar de més informació de cara al maneig però també de cara a seleccionar un producte uniforme amb unes especificacions concretes demandades pel mercat. L'autor proposa un mètode de recol·lecció basat en la identificació mitjançant codis de barres i la georeferenciació de cada contenidor o palot per tal d'assignar cada fruit collit a la seva àrea d'origen. El millor fóra arribar a identificar la planta originària però argumenta que això no és possible sense variacions importants en el procés de recol·lecció que podrien arribar a fer inviable el conreu.

## 2.4 Agricultura de precisió i aplicació de fitosanitaris

---

### 2.4.1 Marc normatiu de l'aplicació de fitosanitaris

Els darrers anys s'ha assistit a un canvi important en la consciència mediambiental de la societat europea. L'aparició de substàncies contaminants provinents dels productes fitosanitaris en cursos d'aigua i en els ecosistemes del voltant de les explotacions agrícoles ha motivat la prohibició de diferents productes així com l'elaboració de normes cada vegada més restrictives.

Per extensió de la societat, existeix també una gran preocupació per part de les diferents administracions locals, nacionals, europees i mundials vers el medi ambient. L'any 2002, a la Unió Europea es va establir el Sisè Programa d'Acció Comunitari en Matèria de Medi Ambient (DOUE, 2002). Amb l'aprovació d'aquest programa, es va reconèixer, entre molts altres temes, que era necessari reduir l'impacte dels productes fitosanitaris en la salut humana i en el medi ambient. El document considera probable l'existència de vincles entre la degradació ambiental i determinades malalties humanes derivades, entre d'altres, de l'ús de plaguicides. A partir d'aquest i d'altres fets, proposa diversos objectius entre els que es troben els següents:

«Article 6, apartat 2.f

- el foment d'una agricultura més respectuosa amb el medi ambient, incloent, en el seu cas, mètodes extensius de producció, pràctiques agrícoles integrades, la agricultura ecològica i la agrobiodiversitat, en les futures revisions de la política agrícola comú, tenint en compte la necessitat d'un plantejament equilibrat sobre el paper multifuncional de les comunitats rurals.

Article 7, apartat 1

- reduir l'impacte dels plaguicides en la salut humana i el medi ambient i, en termes més generals, aconseguir un ús més sostenible dels plaguicides així com una important reducció global dels riscos i de la utilització de plaguicides compatible amb la necessària protecció de les collites (...).

Article 7, apartat 2.c

- una estratègia temàtica sobre la utilització sostenible de plaguicides que abasti els elements següents:
  - i) la reducció al mínim dels riscos i perills que planteja la utilització de plaguicides per a la salut i el medi ambient,
  - ii) millors controls de la utilització i distribució de plaguicides,
  - iii) (...)
  - iv) Foment de pràctiques agrícoles que impliquin un ús reduït de plaguicides o que no els utilitzin, entre altres coses conscienciant a aquest respecte els usuaris, promovent la utilització de codis de bones pràctiques i la possible utilització d'instruments financers»

Arran d'aquest programa d'acció es va promoure un procés d'elaboració d'una estratègia temàtica sobre la utilització sostenible de plaguicides que va concloure l'any 2006 (Comissió Europea, 2006). En aquesta estratègia temàtica, la Comissió Europea es planteja objectius generals com “fomentar l'ús racional i precís dels productes fitosanitaris així com pràctiques adequades de gestió de conreus i sòls”, “millorar el comportament dels usuaris (en particular dels professionals), que són responsables d'una sèrie de mals usos, com la sobreutilització de productes, per tal d'augmentar la qualitat de la seva formació i educació”. Un altre objectiu es centra en “millorar la qualitat i la eficàcia dels equips d'aplicació de productes fitosanitaris per tal d'optimitzar els tractaments tot minimitzant els eventuais efectes negatius sobre la salut humana i el medi ambient”. Finalment, la Comissió pretén que l'estratègia temàtica permeti “el desenvolupament d'un enfocament horitzontal i transversal” que tingui en compte les diferents legislacions sobre

productes fitosanitaris en altres àmbits que els estrictament agrícoles, com la política d'aigües, la protecció dels treballadors i la investigació.

Una de les mesures de l'estratègia temàtica va ser la impulsó d'un procés que va concloure el mes d'octubre de 2009 amb la publicació de la Directiva 2009/128/CE per la que s'estableix el marc de l'actuació comunitària per a aconseguir un ús sostenible dels plaguicides (DOUE, 2009a). L'objecte d'aquesta directiva és establir "un marc per a aconseguir un ús sostenible dels plaguicides mitjançant la reducció dels riscos i els efectes de l'ús de plaguicides en la salut humana i el medi ambient, i el foment de la gestió integrada de plagues i de plantejaments o tècniques alternatives, com les alternatives no químiques dels plaguicides". Per a aconseguir aquest objectiu, la directiva planteja diverses accions entre les que podem destacar les següents, per la seva relació amb el present treball de recerca:

- a) **La formació dels usuaris professionals**, els distribuïdors i els assessors per a que facin un ús correcte dels productes en cadascun dels seus àmbits professionals.
- b) **La inspecció dels equips d'aplicació de plaguicides** en ús per tal de garantir la possibilitat de realitzar una bona distribució dels productes al camp.
- c) **L'adopció de pràctiques i usos específics**: en aquest apartat cal fer esment de l'article 11, que tracta de les mesures específiques per a protegir el medi aquàtic i l'aigua potable, apartat 2.b, on es diu que cal «donar preferència a les tècniques d'aplicació més eficients com l'ús d'equips d'aplicació de plaguicides de baixa deriva (...)». a l'apartat 2.c, també es promou «la utilització de mesures paliatives que redueixin al mínim el risc de contaminació cap a fora ocasionada per la deriva de la polvorització, la filtració i l'escorrentia. Aquestes mesures inclouran l'establiment de bandes de seguretat de dimensions adequades per a la protecció dels organismes aquàtics no objectiu (...)».

L'enduriment de la normativa que s'està observant respon a la detecció de contaminants derivats de productes fitosanitaris lluny del seu punt d'aplicació. Una de les respostes d'aquestes administracions està essent la prohibició de determinats productes fitosanitaris. Tanmateix, es podria aconseguir una reducció dels contaminants detectats millorant les tècniques d'aplicació per tal d'aconseguir aplicacions més localitzades, més selectives i més eficients. Un exemple clar d'aplicació de la tecnologia als polvoritzadors per tal de reduir la contaminació és el cas que descriuen Brown *et al.* (2008). A Califòrnia es va demostrar la contaminació d'aigües superficials deguda a l'escorrentia de diversos pesticides que afectaven el correcte desenvolupament d'espècies aquàtiques. Davant d'aquest fet, es va estudiar amb èxit la incorporació de sensors per tal de realitzar aplicacions només en presència d'arbres i evitar aplicar producte entre capçades en plantacions de pruners amb marcs amplis (5,5 m per 5,5 m). El resultat fou una reducció del 40% de la dosi aplicada per hectàrea i en una reducció de més del 40% de les pèrdues a terra i en la concentració de producte en una escorrentia simulada i, per tant, no es va creure oportú retirar els esmentats productes del mercat.

El desenvolupament de tècniques de polvorització més eficients i menys contaminants com la que es presenta en aquesta tesi doctoral coincideix de ple amb les línies que proposa la recentment aprovada directiva.

Darrerament també s'ha aprovat la Directiva 2009/127/CE, que fa referència a les màquines d'aplicació de plaguicides (DOUE, 2009b) i que modifica la Directiva 2006/42/CE (DOUE, 2006). Tanmateix, aquests dos textos fan referència a aspectes de disseny, la construcció i el manteniment de les màquines en general i dels equips d'aplicació de productes fitosanitaris en particular. En concret, la Directiva 2009/127/CE s'ha aprovat per tal "d'incloure una referència a la protecció del medi ambient en la Directiva 2006/42/CE" i "es limita als requisits essencials que han de complir les màquines abans de la seva introducció al mercat".

Un altre text legal que fa referència als productes fitosanitaris és el Reglament (CE) núm. 1107/2009, relatiu a la comercialització de productes fitosanitaris (DOUE, 2009c). El reglament fa referència als requisits necessaris per tal de poder arribar a posar un producte fitosanitari al mercat. En aquest sentit, entre molts altres aspectes, indica com cal realitzar els assajos per tal de valorar la seva eficàcia biològica i estableix una sèrie de condicions sempre suposant que els productes s'apliquen d'acord amb un codi de bones pràctiques fitosanitàries molt generalista (OEPP, 2003). La realització dels assajos s'ha d'ajustar al que marquen dues directrius promogudes per l'Organització Europea de Protecció de les Plantes (OEPP/EPPO). La primera, denominada PP1/152 (OEPP, 2007), és de contingut eminentment estadístic i estableix un marc per al disseny dels experiments, les dades que cal recol·lectar i les anàlisis que cal dur a terme. La segona, denominada PP1/181 (OEPP, 2004), estableix un codi de Bones Pràctiques Experimentals i les guies per tal de d'organitzar, planificar, conduir i analitzar els experiments d'eficàcia biològica de productes fitosanitaris. Aquesta directriu és força exhaustiva en relació a la informació que cal recollir durant els assajos i estableix els requisits que ha de tenir una organització per tal de poder-los dur a terme de manera correcta. Tanmateix, l'única referència a la tècnica d'aplicació a emprar és que "hauria de ser la mateixa que la utilitzada en la sol·licitud de registre del producte".

Aquest fet desvetlla un dels problemes existents en relació amb la dosificació de productes fitosanitaris: la realització dels assajos de registre. En la majoria dels casos, els assajos de registre de productes fitosanitaris es realitzen amb equips que no són els que habitualment fan anar els fructicultors. Fins i tot alguns fabricants reconeixen que, al Regne Unit, aquest fet pot afectar les corbes de resposta de la dosi dels productes (Garnett, 2006). Aquest mateix autor indica que fins a l'elaboració de l'Estratègia temàtica per a l'ús sostenible de pesticides, la normativa només es fixava en el registre dels productes i en els residus però no en les tècniques d'aplicació. A Espanya, els textos legals pels quals s'estableixen els principis uniformes per a l'avaluació y autorització de productes fitosanitaris (BOE, 1993 i la seva modificació BOE, 1995) tan sols demanen que es reporti el mode d'aplicació i el tipus d'equip utilitzat. L'expressió "polvorització normal" inclou qualsevol tipus d'aplicació que es faci mitjançant polvorització fins al punt de degoteig de la vegetació i no dona més informació en relació a com s'ha de dosificar específicament el producte. Si bé és cert que en els assajos de registre cal incloure la dosi màxima d'aplicació i els volums mínims i màxims d'aplicació unitaris, aquesta informació no s'estableix tenint en compte la distribució del producte sobre el conreu sinó el seu efecte tòxic sobre l'operari i altres organismes que es puguin veure afectats. Així doncs, a la majoria de les etiquetes dels productes fitosanitaris comercialitzats a l'estat espanyol només hi consta la indicació de la concentració de la preparació en el brou fitosanitari. En alguns productes hi ha la indicació del volum d'aplicació unitari màxim però només com a llindar a no superar. En d'altres ocasions hi ha recomanacions sobre el volum d'aplicació unitari a utilitzar però, com a molt, es relaciona amb l'edat de la plantació (arbres joves o plantacions adultes). En cap cas es relaciona el volum d'aplicació unitari amb característiques de la plantació com el marc de plantació, les dimensions de

la capçada, la frondositat del fullatge, etc. En els productes on només hi consta la indicació de la concentració del brou a polvoritzar no hi ha cap més indicació que la de "polvorització normal". Com és evident, la dosi final distribuïda depèn de la concentració de matèria activa al brou i també del volum d'aplicació unitari. És per aquest motiu que aquesta forma d'expressió de la dosi és totalment insuficient. El punt de degoteig al que fa referència la "polvorització normal" és directament proporcional, entre d'altres paràmetres, a la superfície foliar continguda en la capçada. Com és evident, aquest paràmetre varia contínuament al llarg de la campanya. Durant l'aplicació mecanitzada de productes fitosanitaris, el fructicultor no pot estar pendent de si s'ha arribat o no al punt de degoteig. A més a més, aquest punt és altament variable en funció de paràmetres com la mida de les gotes, l'assistència d'aire, els additius que porti el preparat, el tipus de fulla del conreu, etc. És per aquest motiu que esdevé necessari desenvolupar un model que permeti ajustar la dosi en cada moment de la temporada.

Això planteja diversos problemes referents a com establir la dosi necessària per a una determinada plantació. La utilització de mitjans d'aplicació diferents als emprats a nivell comercial pot donar peu a que els fabricants hagin de majorar les dosis recomanades per tal que els seus productes tinguin l'efecte desitjat fins i tot amb els equips d'aplicació menys eficients. Aquest fet podria implicar que equips en bon estat i correctament regulats apliquin més producte que el que seria estrictament necessari, amb el risc de contaminació ambiental que això podria comportar. El segon problema és la mínima informació que inclouen les etiquetes comercials de productes fitosanitaris en els seus envasos. L'única informació sobre dosificació que aporten les etiquetes de productes comercialitzats a Espanya fa referència a la concentració de producte fitosanitari al brou fitosanitari i que s'ha d'aplicar segons "polvorització normal" (veure Capítol 3). "Polvorització normal" implica emprar el volum de brou fitosanitari necessari per tal de mullar la vegetació just fins que comenci a degotar. Aquesta indicació és altament imprecisa i pot donar peu a dosificacions de producte molt inferiors o superiors a la necessària. A més, el fet que el producte comenci a degotar des de les fulles del conreu fins a terra provoca dos efectes altament contraproduents. El primer és que l'excés de brou aplicat pot acabar rentant les superfícies del conreu i enduent-se el producte dipositat prèviament. El segon és que aquestes gotes excessivament concentrades van a parar a terra amb la consegüent contaminació que això pot suposar (Walklate *et al.*, 2003a).

L'aprovació de la Llei 43/2002, de 20 de novembre, de sanitat vegetal (BOE, 2002) tampoc no va arranjar la situació. L'objecte d'aquesta Llei és "establir la normativa bàsica i les normes de coordinació en matèria de sanitat vegetal". Entre les seves finalitats hi ha la de protegir els conreus i altres vegetals dels danys ocasionats per plagues i protegir la salut de les persones i animals així com el medi ambient. També es compta entre les seves finalitats "garantir que els mitjans de defensa fitosanitària compleixin les condicions d'utilitat, eficàcia i seguretat adequades". En aquesta darrera finalitat mancaria esmentar el concepte eficiència, per tal que els mitjans de defensa fitosanitària siguin el més eficients possible, és a dir, que esmercin el mínim producte fitosanitari per a garantir l'eficàcia del tractament. Aquesta mancança implica que en la utilització dels productes fitosanitaris només es tingui en compte l'eficàcia del producte i la salut humana i, en canvi, no es tingui en compte que hi ha situacions en que la dosi a aplicar es podria reduir atenent a criteris com la quantitat de vegetació o d'altres. Aquesta informació no es considera i, per tant, no és obligatòria que surti a les etiquetes dels productes. Tanmateix, la llei sí que exigeix als usuaris la formació necessària per a la correcta utilització dels productes d'acord amb l'establert en les bones pràctiques fitosanitàries. També insta a les administracions públiques a

dedicar esforços a finançar “programes d’investigació per a la recerca d’alternatives tècniques i econòmicament viables que possibilitin la resolució de problemes de caràcter fitosanitari”.

Tota aquesta problemàtica posa de manifest una qüestió sobre la que en les darreres dècades molts investigadors han treballat: els actuals models d’expressió de la dosi de productes fitosanitaris en conreus arboris.

#### **2.4.2 Models d’expressió de la dosi en fructicultura**

L’ajust de la dosi de productes fitosanitaris distribuïda ha estat un objectiu important per tal d’adaptar la quantitat de matèria activa a les característiques del conreu i de la plaga o malaltia. En les aplicacions no mecanitzades, aquest ajust es realitzava (i encara es realitza) de manera intuïtiva ja que l’agricultor dedicava més o menys estona a polvoritzar una determinada zona de la capçada en funció de la quantitat de vegetació que apreciava. La mecanització de l’aplicació de productes fitosanitaris va provocar que es deixés de contemplar la variabilitat de la plantació per a passar a realitzar tractaments homogenis. Actualment, una part de la recerca en l’aplicació de productes fitosanitaris està dirigida vers el desenvolupament d’una forma d’expressió de la dosi que permeti reduir al mínim la variabilitat de les deposicions entre plantacions.

Fins fa pocs anys, en la majoria dels països europeus la recomanació de dosi a l’etiqueta dels productes fitosanitaris emprats en conreus arboris s’expressava en concentració de producte al brou fitosanitari (massa/volum o bé volum/volum). Aquesta expressió es tradueix, a la pràctica, en una àmplia disparitat de dosis aplicades per unitat de superfície tractada. Això és degut al fet que el personal aplicador decideix de forma discrecional el volum d’aplicació unitari que, juntament amb la concentració del brou, és el paràmetre que estableix la dosi aplicada. Generalment, es tenen en compte paràmetres com el polvoritzador emprat, les condicions ambientals o les característiques del conreu. Tanmateix, sovint, aquests criteris solen estar faltats de rigor, no estan sistematitzats i deriven de recomanacions com la “de tractar fins al punt de degoteig”, avui dia totalment fora de lloc per ineficients i, fins i tot, per ineficaces. Tal com argumenten alguns autors, polvoritzar fins al punt de degoteig era una condició d’eficàcia en alguns productes fitosanitaris primerencs. Tanmateix, l’evolució de l’agroquímica fa que molts productes no requereixin aquests volums d’aplicació unitari tan elevats (Walklate *et al.*, 2003a; Walklate *et al.*, 2003b). Aquest tipus d’ajust ha respost més a un procés empíric de prova i error que al desenvolupament de models que incorporin els paràmetres corresponents als elements que intervenen en els tractaments. Un altre fet que podria contribuir a mantenir aquest model de polvorització amb volums d’aplicació unitaris elevats és que fa unes dècades, les varietats i portaempelts utilitzats eren molt més vigorosos que actualment. És per aquest motiu que alguns autors el consideren un model anacrònic i que cal ajustar les dosis i els polvoritzadors a les característiques de les capçades (Doruchowski *et al.*, 1996; Cunningham i Harden, 1999; Viret *et al.*, 1999; Steffek *et al.*, 2000). Aquest tipus de polvorització ha estat anomenada per alguns autors Polvorització Adaptada al Conreu o *Crop Adapted Spraying, CAS*, en la seva denominació anglosaxona (Felber, 1997; Rüegg i Bak, 2001).

Uns dels primers autors a plantejar la necessitat d’adaptar la dosi a les dimensions del conreu fou Morgan (1964). El que va començar a promoure aquest investigador va ser passar d’expressar la dosi en volum de brou fitosanitari per unitat de superfície conreada a volum de brou per unitat de superfície polvoritzada, el que més endavant es desenvoluparà sota el nom de Superfície de Paret



Vegetal (*Fruit Wall Area, FWA*, o bé *Leaf Wall Area, LWA*). Més endavant, Planas (1990) i Planas i Pons (1991), van observar que era possible reduir els volums unitaris d'aplicació en plantacions fruïteres de la zona de Lleida, i, per tant, reduir la dosi de producte fitosanitari, si es millorava l'eficiència de les aplicacions.

Pergher i Petris (2008) argumenten que, actualment, les etiquetes dels productes comercialitzats a Itàlia, Espanya o en països amb expressions de dosi similars, no motiven als agricultors a ajustar-les a les seves plantacions. Segons els autors, això és degut a que manca informació sobre quina ha de ser la quantitat de producte fitosanitari a aplicar en funció de les dimensions de la capçada o de la seva frondositat. El desenvolupament d'un model per a l'ajust precís de la dosi a cada plantació permetria distribuir la justa quantitat de producte en cada cas i, per tant, reduir la variabilitat de les deposicions entre parcel·les diferents. Segons Walklate *et al.* (2003a), l'expressió universal de la dosi seria aquella que fos capaç d'aconseguir deposicions mitjanes semblants en plantacions diferents independentment de les seves característiques. El primer pas és analitzar les causes d'aquesta variabilitat interplantació i ajustar la dosi de manera que la seva aplicació redueixi tant com sigui possible les diferències entre deposicions. Per a Walklate *et al.* (2003b), una part d'aquesta variabilitat la introdueix la mateixa expressió de la dosi quan es dona en volum o massa de producte fitosanitari per unitat de superfície. Aquest tipus d'expressió pot ser adient en conreus baixos, sempre que les aplicacions es realitzin correctament, però no en conreus arboris, degut a la influència de la densitat de les capçades. Tanmateix, Cross i Walklate (2008) mantenen que davant d'aquesta variabilitat que ha estat identificada pels investigadors, en comptes de modificar l'expressió de la dosi per tal de reduir-la, els fabricants han optat per incrementar el marge d'error tot majorant les dosis recomanades. Jaeken *et al.* (2000) defensen que les dosis recomanades en les etiquetes han estat dissenyades per a ser efectives en un ampli i divers ventall de situacions. A més a més, les dosis recomanades són molt conservadores per tal d'evitar manques d'eficàcia que es poguessin atribuir al producte i l'aparició de resistències degudes a infradosificacions. Davant d'aquesta situació podria semblar que, en determinades situacions, les dosis recomanades podrien reduir-se sense risc de ser ineficaces; el que cal és establir en base a quin o quins paràmetres es podria realitzar aquesta reducció. Walklate *et al.* (2006a) mantenen que les dosis recomanades són les adients en les condicions més desfavorables i que, per tant, en situacions amb menys vegetació es podria aplicar menys producte. Pergher i Petris (2008) argumenten que molts investigadors han comprovat que les deposicions aconseguïdes disminueixen a mesura que augmenta l'IAF de la plantació. Per aquest motiu, sembla raonable pensar que, en condicions de poca vegetació, es puguin reduir les dosis recomanades.

L'any 2001, l'Organització Europea i Mediterrània per a la Protecció de les Plantes (OEPP/EPPO) va convocar un panell d'experts per tal de determinar la millor "expressió de dosi en conreus arboris". Les conclusions de la reunió celebrada el 21 de maig a París incloïen els següents punts que reflecteixen la situació actual del sector i les seves necessitats (Planas, 2001):

- La forma d'expressar la dosi de productes fitosanitaris en l'actualitat (per exemple, concentració en el líquid aplicat fins a punt de degoteig) és insatisfactori per diverses raons. Especialment, aquest sistema no té en compte el tipus i les característiques estructurals del conreu.
- Existeix la necessitat d'harmonitzar l'expressió de les dosis de productes fitosanitaris per a augmentar l'eficiència dels tractaments, reduir les pèrdues de productes fitosanitaris i els riscos mediambientals i per a afavorir l'intercanvi d'informació entre països.

- El mateix criteri de dosificació hauria d'emprar-se en els assajos de desenvolupament de matèries actives i altres treballs experimentals, en informes d'assajos, en etiquetes de productes fitosanitaris així com en estudis d'impacte ambiental.
- Amb l'objectiu de disposar d'una metodologia precisa i pràctica per a l'ajustament de dosi, se suggereix la realització d'assajos en les diferents zones de produccions arbòries europees. Aquesta recomanació es dirigeix especialment a les regions mediterrànies en les quals es dediquen importants superfícies agrícoles als conreus arboris.
- Les espècies fruíteres (perer, pomer, presseguer), la vinya en espatllera i els cítrics són les espècies de major interès.
- Inicialment, els assajos podrien anar destinats a determinar la correlació entre el volum d'aplicació unitari (L/ha) i la deposició foliar ( $\text{ng/cm}^2$ ) en diferents espècies arbòries, formes de conducció i estats vegetatius.
- El resultat d'aquestes experiències, al marge de la seva aplicació immediata en el seu entorn més pròxim, hauria de ser aportat en el marc de la OEPP/EPPO, per tal de dissenyar una metodologia genèrica que finalment permeti la recomanació de dosis fitosanitàries de forma totalment ajustada a les característiques estructurals de cada plantació.
- El mètode ideal per a l'expressió de la dosi hauria de tenir en compte la relació entre l'àrea foliar total i l'àrea del conreu (per exemple, combinant el volum de capçada de la planta amb l'índex d'àrea foliar, juntament amb el marc de plantació). A més hauria de ser suficientment simple per a ser entès a l'etiqueta del producte i pràctic per a l'aplicador. Finalment, també s'hauria de tenir en compte l'eficiència dels diferents mètodes d'aplicació de fitosanitaris.

Diversos autors advoquen per l'harmonització de les expressions de la dosi de productes fitosanitaris en conreus arboris i arbustius dels països europeus i dels membres de l'EOPP (Rüegg *et al.*, 2001; Frießleben i Koch, 2005; Frießleben *et al.*, 2007). Aquests autors indiquen que, a més, seria interessant harmonitzar els protocols dels assajos d'eficàcia necessaris per a registrar els diferents productes fitosanitaris. Aquest fet permetria comparar els resultats obtinguts i reduir els costos d'inscripció dels nous productes. Més endavant, l'Organització Europea i Mediterrània per a la Protecció de les Plantes va publicar una directriu titulada *Expressió de la dosi de productes fitosanitaris* (OEPP, 2005). En aquest document, l'EOPP reconeix que les expressions de la dosi que havia emprat en documents anteriors (com les que expressen el producte en L o kg per unitat de superfície o en concentració de producte al brou fitosanitari) no eren adients per a conreus arboris donat que no consideraven la seva alçada. Tot i reconèixer que els experts no estan d'acord en quina és la millor expressió, l'EOPP proposa expressions basades en la Superfície de Paret Vegetal, en el *Tree Row Volume* o en la *Tree Area Density* (aquests mètodes es comenten més endavant). L'única cosa en que els experts s'han posat d'acord és que l'expressió de la dosi com a concentració de brou fitosanitari, el mètode adoptat per Espanya, no aporta la informació necessària per a aconseguir una correcta dosificació. El que caldria evitar de totes passades és que, tal com diu Manktelow *et al.* (2004), l'agricultor hagi de fer un acte de fe cada vegada que faci una aplicació de productes fitosanitaris. I és que l'autor manté que en molts casos, la informació de les etiquetes és insuficient per a saber què cal aplicar i quin serà el resultat obtingut.

Davant de la diversitat d'expressions emprades en l'actualitat, diversos autors han analitzat els avantatges i inconvenients de cadascuna d'elles i alguns han fet propostes de noves expressions (Jaeken *et al.*, 2000; Jaeken, 2001; Frießleben i Koch, 2005; Koch, 2005a; Frießleben *et al.*, 2007; Koch, 2007; Pergher i Petris, 2008; Steffek *et al.*, 2000; Rüegg *et al.*, 2001; Walklate *et al.*, 2003a; Walklate *et al.*, 2003b; Viret i Siegfried, 2004; Richardson *et al.*, 2006). A continuació es detallen i es comenten els mètodes emprats actualment.

### 2.4.2.1 Expressió genèrica de la dosi

L'ideal de qualsevol expressió de la dosi és que, sigui quina sigui la plantació que es desitgi tractar i sigui qui sigui la persona que dissenya el tractament, la quantitat de producte aplicada sigui la mateixa. Aquesta quantitat, a més, hauria de coincidir amb la quantitat de matèria activa necessària per al control eficaç de la plaga o malaltia en qüestió. En tractaments amb polvorització foliar, l'objectiu de les aplicacions és aconseguir una determinada quantitat de matèria activa dipositada per unitat de superfície de fulla. Aquest paràmetre el podem anomenar deposició objectiu,  $d_o$ , i normalment s'expressa amb unitats de massa de matèria activa per unitat de superfície foliar, com per exemple  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ . Seguint el raonament de diversos autors (Gil, 2001b; Gil, 2003; Walklate *et al.*, 2003a; Planas *et al.*, 2004b; Planas *et al.*, 2006a; Pergher i Petris, 2008), la deposició es pot estimar a partir de l'Equació 2.1.

**Equació 2.1**

$$d_f = \frac{D \cdot \varepsilon_a}{2 \cdot IAF} \cdot 10^{-2}$$

On  $d_f$  és la deposició foliar, expressada en  $\mu\text{g}/\text{cm}^2_{\text{fulla}}$ ;  $D$  és la dosi de producte aplicada a la plantació, expressada en g/ha;  $\varepsilon_a$  és l'eficiència d'aplicació entesa com a percentatge de producte dipositat en la capçada respecte al total aplicat, expressada en tant per u;  $IAF$  és l'Índex d'Àrea Foliar, adimensional.

L'estimació de l'eficiència del tractament ha de tenir en compte quatre grups de factors que provoquen que el producte fitosanitari no arribi a dipositar-se en l'objectiu (Gil, 2003; Solanelles *et al.*, 2004b; Planas *et al.*, 2006a; Gil i Escolà, 2009):

- Característiques estructurals de la plantació.
- Característiques del polvoritzador i la seva regulació.
- Paràmetres operatius del polvoritzadors.
- Condicions meteorològiques durant i després de l'aplicació.

Suposant que la relació entre deposició aconseguida i dosi aplicada sigui constant (Equació 2.2), si es vol aconseguir una determinada deposició objectiu,  $d_o$ , caldrà aplicar una determinada dosi,  $D_o$  o dosi requerida, que es pot determinar a partir de l'Equació 2.1 i de l'Equació 2.2.

**Equació 2.2**

$$\frac{d_f}{D} = \frac{d_{fo}}{D_o} = k$$

On  $d_f$  és la deposició aconseguida aplicant una dosi  $D$ ;  $d_{fo}$  és la deposició objectiu requerida per al control de la plaga o malaltia aconseguida quan s'aplica la dosi requerida  $D_o$ ;  $k$  és una constant.

**Equació 2.3**

$$D_o = \frac{200 \cdot IAF \cdot d_{fo}}{\varepsilon_a}$$

On  $D_o$  és la dosi requerida, expressada en g/ha;  $IAF$  és l'Índex d'Àrea Foliar, factor adimensional;  $d_{fo}$  és la deposició foliar objectiu requerida per al control de la plaga o malaltia, expressada en  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ;  $\varepsilon_a$  és l'eficiència d'aplicació, expressada en tant per u.

Per tal de facilitar la determinació de la dosi requerida a l'Equació 2.3, l'Índex d'Àrea Foliar també es pot expressar com el producte del volum de capçada unitari,  $V_{CS}$ , i la densitat foliar,  $\rho_f$  (Equació 2.4).

**Equació 2.4**

$$IAF = V_{CS} \cdot \rho_f = \frac{C \cdot b}{a} \cdot \rho_f$$

On  $V_{CS}$  és el volum de capçada unitari, expressat en  $\text{m}^3_{\text{capçada}}/\text{ha}$ ;  $\rho_f$  és la densitat foliar, expressada en  $\text{m}^2_{\text{fulla}}/\text{m}^3_{\text{capçada}}$ ;  $C$  és l'amplada de la capçada, expressada en m;  $b$  és l'alçada de la capçada, expressada en m;  $a$  és l'amplada de carrer, expressada en m.

Substituint l'expressió de l'IAF de l'Equació 2.4 a l'Equació 2.3, la dosi requerida es pot expressar tal com s'indica a l'Equació 2.5.

**Equació 2.5**

$$D_o = 200 \cdot d_{fo} \frac{C \cdot b \cdot \rho_f}{a \cdot \varepsilon_a}$$

On  $D_o$  és la dosi requerida, expressada en g/ha;  $d_{fo}$  és la deposició foliar objectiu requerida per al control de la plaga o malaltia, expressada en  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ;  $C$  és l'amplada de capçada, expressada en m;  $b$  és l'alçada de la capçada, expressada en m;  $\rho_f$  és la densitat foliar, expressada en  $\text{m}^2_{\text{fulla}}/\text{m}^3_{\text{capçada}}$ ;  $a$  és l'amplada de carrer, expressada en m;  $\varepsilon_a$  és l'eficiència d'aplicació, expressada en tant per u.

De l'Equació 2.5 es desprèn que la dosi requerida,  $D_o$ , per a aconseguir la deposició objectiu,  $d_{fo}$ , és proporcional a l'amplada de la capçada,  $C$ , a l'alçada de la capçada,  $b$ , a la densitat foliar,  $\rho_f$ , a l'amplada de carrer,  $a$ , i a l'eficiència d'aplicació,  $\varepsilon_a$ . Els enginyers tècnics agrícoles o els enginyers agrònoms poden desenvolupar procediments o eines per a la determinació dels paràmetres estructurals de la capçada i de l'eficiència d'aplicació però correspon als fabricants de productes facilitar la deposició foliar objectiu de cada producte necessària per al control de cada plaga o malaltia. Actualment, aquesta informació no està a l'abast ni dels fructicultors ni dels investigadors.

A partir d'aquesta expressió es valorarà la capacitat de cadascun dels diferents mètodes actualment en ús arreu del món per a expressar la dosi de producte a aplicar en una plantació determinada.

### 2.4.2.2 Expressió de la dosi en funció de la concentració del brou fitosanitari

En la majoria de països europeus (Espanya, Portugal, Itàlia, Països Baixos i Noruega, entre d'altres) i de la resta del món, l'etiqueta dels productes destinats a polvorització foliar indica la concentració de la preparació en el brou fitosanitari (g/hL o L/hL o bé expressada en percentatge). Tanmateix, és evident que per a establir la dosi cal especificar un volum d'aplicació unitari (volum de brou que cal aplicar per unitat de superfície conreada,  $L_{\text{brou}}/\text{ha}$ ). En algunes etiquetes hi consta un volum d'aplicació unitari indicatiu, el volum d'aplicació unitari màxim o bé la quantitat màxima de preparat per unitat de superfície. En d'altres productes, la indicació d'aquest volum d'aplicació unitari és simplement la d'"aplicar segons polvorització normal" cosa que implica "aplicar fins a punt de degoteig" segons la interpretació que es fa a Catalunya i a Espanya.

D'acord amb l'Equació 2.5, el sistema de dosificació segons concentració de producte proposa una dosi requerida,  $D_o$ , constant (resultat de repartir el brou del dipòsit a la concentració indicada amb un determinat volum d'aplicació unitari). Per tant, el mètode de dosificació només serà vàlid quan els valors mitjans de l'expressió  $(C \cdot b \cdot \rho_f / (a \cdot \varepsilon_a))$  siguin constants, cosa difícil de trobar entre plantacions diferents i gairebé impossible que es doni dins la mateixa plantació quan el que es consideri siguin els valors instantanis.

Els dubtes que genera aquest sistema són diversos. En cas que el volum d'aplicació unitari estigui indicat a l'etiqueta, no es pot assegurar que el volum d'aplicació unitari que necessiti una determinada plantació coincideixi amb el proposat perquè manca informació relativa a les característiques de la plantació de referència. En cas que s'indiqui un volum d'aplicació unitari màxim, no acostuma a aparèixer cap indicació per a determinar quin seria el volum d'aplicació unitari més indicat per a la plantació que es desitgi tractar. Finalment, en cas que a l'etiqueta hi consti una quantitat de preparació màxima per unitat de superfície conreada, no hi ha, tampoc, massa indicacions per a determinar quina seria la quantitat òptima a aplicar en un cas concret. En la majoria de casos, però, el volum d'aplicació unitari no consta a l'etiqueta dels productes i cal seguir la indicació de tractar segons "polvorització normal", és a dir, fins a punt de degoteig.

En el cas de la indicació de tractar "fins a punt de degoteig", cal determinar quin és aquest punt de degoteig. S'entén per "punt de degoteig" el volum de brou que el conreu és capaç de retenir en la capçada en el moment que aquesta comença a degotar. El problema és que el volum necessari per a assolir aquesta situació és molt elevat i pot ser altament variable en funció dels adjuvants que incorporin els diferents productes fitosanitaris i d'altres paràmetres (Walkate *et al.*, 2003a). L'apreciació d'aquest punt en la vegetació pot resultar altament subjectiva. D'altra banda, la capçada no es mulla per igual i podria començar a degotar en algunes zones mentre que d'altres encara no haurien assolit la quantitat de producte necessària. Un altre problema és que, quan la capçada comença a degotar, el que realment està succeint és que part del producte dipositat en la capçada és rentat per aquest excés de volum aplicat i degota fins a terra acumulant dipòsits de producte altament concentrats de forma localitzada en les fileres d'arbres, a peu de soca.

Encara que es passessin per alt aquests primers inconvenients, apareix un altre problema. La dosi final de producte aplicat es refereix a una determinada quantitat de matèria activa per unitat de superfície conreada, quan és evident que la zona que ha de rebre el producte és la capçada dels arbres. La dosi s'hauria d'expressar, per tant, en alguna unitat que hi fes referència.

### 2.4.2.3 Expressió de la dosi en funció de la superfície conreada

Aquest mètode de dosificació és el més adient en la dosificació de conreus herbacis. El fet d'utilitzar-lo en fructicultura en països com França, pot portar problemes si no es duu a terme amb una sèrie d'adaptacions. A l'etiqueta dels productes s'hi indica la quantitat de producte o brou fitosanitari a aplicar per unitat de superfície conreada (g/ha o L/ha).

D'acord amb l'Equació 2.5, el sistema de dosificació segons unitat de superfície conreada proposa una dosi requerida,  $D_o$ , constant. I, com en el cas anterior, el mètode de dosificació només serà vàlid quan els valors mitjans de l'expressió  $(C \cdot b \cdot \rho_f / (a \cdot \varepsilon_a))$  siguin constants.

En les etiquetes d'aquests productes hi caldria especificar quina és l'hectàrea de referència. Paràmetres com el marc de plantació, l'estadi vegetatiu, l'alçada i l'amplada dels arbres, el sistema de formació i la densitat foliar que comporta, entre d'altres, provoquen grans variacions en la quantitat de vegetació localitzada en una hectàrea. A mode d'exemple, una parcel·la amb un marc de plantació de 2 m per 4,5 m té una densitat de planta de 1.111 peus/ha. Una altra parcel·la amb un marc de plantació de 1,5 m per 4 m, rebria la mateixa dosi de producte atenent a les indicacions de l'etiqueta quan, en realitat, aquesta segona parcel·la, té una densitat de planta de 1.666 peus/ha, cosa que representa un 50% més de vegetació i, per tant, requeriria un 50% més de dosi.

La regulació del cabal de brou a polvoritzar pels equips d'aplicació quan es treballa amb aquesta expressió de la dosi cal fer-la seguint l'expressió de Equació 2.6. Aquesta expressió és l'emprada per a qualsevol operació de distribució uniforme d'un producte en una superfície conreada.

Equació 2.6

$$Q = \frac{a \cdot v \cdot V_A}{600}$$

On  $Q$  és el cabal que ha d'aplicar el polvoritzador en el seu conjunt, expressat en L/min;  $a$  és l'amplada de carrer de la plantació, expressada en m;  $v$  és la velocitat d'avanç de l'equip, expressada en km/h;  $V_A$  és el volum d'aplicació unitari, expressat en L/ha.

Pràcticament tota la bibliografia és crítica amb aquesta expressió de la dosi argumentant que si l'etiqueta no dona informació sobre les característiques de la capçada a tractar ni sobre el marc de plantació, el sistema és totalment invàlid.

#### 2.4.2.4 Expressió de la dosi en funció de l'alçada de capçada

Aquest model de dosificació, emprat a Alemanya, presenta una lleugera millora respecte a l'anterior. L'expressió de la dosi té en compte un paràmetre de la vegetació: l'alçada de la capçada. En les etiquetes, la dosi s'expressa en massa o volum de preparat per unitat de superfície conreada i unitat d'alçada de capçada. Les unitat solen ser g/ha/m<sub>capçada</sub> o bé de L/ha/m<sub>capçada</sub>. D'aquesta manera s'anul·la una de les incerteses que presenten els models que només tenen en compte la superfície conreada. Malgrat això, continua sense tenir-se en compte el marc de plantació, l'estadi vegetatiu, l'amplada dels arbres ni el sistema de formació amb la corresponent densitat foliar.

D'acord amb l'Equació 2.5, el sistema de dosificació segons alçada de capçada proposa una dosi requerida,  $D_o$ , proporcional al valor mitjà de l'alçada de capçada,  $b$ . Per tant, el mètode de dosificació només serà vàlid quan els valors mitjans de l'expressió ( $C \cdot \rho_f / (a \cdot \varepsilon_a)$ ) siguin constants cosa difícil de trobar entre plantacions diferents i gairebé impossible que es doni dins la mateixa plantació quan el que es consideri siguin els valors instantanis.

Anteriorment, a Alemanya es feia anar una expressió de la dosi per concentració del brou i es considerava un volum d'aplicació unitari de referència de 1.500 L/ha. Posteriorment, aquest volum unitari es va passar a expressar en funció de l'alçada de la capçada (500 L/ha/m<sub>capçada</sub>). L'any 1990 la legislació alemanya va canviar per tal d'expressar les dues variables (dosi i volum d'aplicació unitari) en funció de l'alçada de la capçada (Jaeken, 2001). Això representa un avantatge interessant ja que les expressions són diferents i independents una de l'altra. Per un costat es determina la dosi que cal aplicar i, per l'altre, el volum d'aplicació unitari necessari per a distribuir-la correctament. Una vegada determinades les dues variables i establerts els paràmetres de funcionament del polvoritzador es procedeix a determinar la concentració de preparat al brou fitosanitari.

### 2.4.2.5 Expressió de la dosi en funció de la superfície de paret vegetal

La dosificació de productes fitosanitaris a Bèlgica s'indica a les etiquetes utilitzant simultàniament l'expressió per unitat de superfície conreada i per superfície de paret vegetal, SPV (*Leaf Wall Area*, LWA, o *Fruit Wall Area*, FWA en la seva denominació anglosaxona). Aquest darrer mètode es basa en traslladar la superfície horitzontal tractada en conreus herbacis al pla vertical i utilitzar el símil dels tractaments fitosanitaris superficials. En aquest cas, es proposa dosificar per unitat de superfície de paret vegetal vertical. Aquesta superfície de paret vegetal es calcula mitjançant l'Equació 2.7, que determina la superfície vertical de plantació exposada al polvoritzador que realitza el tractament. El model, per tant, té en compte dos paràmetres de la capçada: la separació entre files i l'alçada de capçada.

D'acord amb l'Equació 2.5, el sistema de dosificació segons superfície de paret vegetal proposa una dosi requerida,  $D_o$ , proporcional al valor mitjà de la ràtio ( $b/a$ ). Per tant, el mètode de dosificació només serà vàlid quan els valors mitjans de l'expressió ( $C \cdot \rho_f / \varepsilon_a$ ) siguin constants, cosa difícil de trobar entre plantacions diferents i gairebé impossible que es doni dins la mateixa plantació quan el que es consideri siguin els valors instantanis. Per tal de determinar el volum d'aplicació unitari o la dosi que requereix el conreu en funció de la superfície de paret vegetal, caldria que les companyies fabricants de productes fitosanitaris adaptessin les seves etiquetes a aquest model de dosificació.

Equació 2.7 
$$SPV = 2 \cdot \frac{b}{a} \cdot A$$

On SPV és la superfície de paret vegetal, expressada en ha;  $b$  és l'alçada de la capçada, expressada en m,  $a$  és la separació entre files, expressada en m;  $A$  és la superfície total de la parcel·la a tractar, expressada en ha.

Un dels primers autors en insinuar aquest mètode fou Morgan (1964). Més endavant, Koch (1993) formula una proposta més raonada d'expressió de dosi i l'anomena mètode *Fruit Wall Area*. El nom ve donat perquè tant Koch com altres autors consideraven la fila de capçades com una paret vegetal regular. Aquest fet podria donar-se en plantacions centreeuropees, que són plantacions menys vigoroses i que no es desenvolupen tant com les de la zona d'estudi de la tesi, que reben més insolació. Aquests investigadors assumeixen que la variabilitat dins les files de conreu és mínima i que no cal ser considerada a efectes de dosificació. Amb aquesta premissa, els autors consideren que la polvorització de conreus arboris és similar a la polvorització de conreus herbacis però sobre una superfície vertical. Cada broquet s'encarrega de polvoritzar una determinada franja de la capçada. En publicacions posteriors, els autors perfeccionen el mètode d'expressió i la seva argumentació (Koch *et al.*, 2001; Weisser i Koch, 2002; Koch, 2005b; Koch, 2007).

Tanmateix, així com una extensió de conreu herbaci es podria considerar pràcticament com una superfície bidimensional a efectes d'aplicació de productes fitosanitaris, una plantació d'arbres té clarament definides les tres dimensions de l'espai: longitud de la fila, alçada de la capçada i amplada de la capçada. El mètode de la superfície de paret vegetal no té en compte l'amplada de la capçada, una magnitud que pot arribar a ser considerable i molt variable en funció de les varietats plantades, del sistema de formació i de l'àrea geogràfica. Fins i tot en plantacions en palmeta, la capçada té una certa variabilitat al llarg de la fila que el mètode SPV no contempla en considerar la fila simplement com un pla vertical.



### 2.4.2.6 Expressió de la dosi en funció del volum de capçada

En aquest model de dosificació es tenen en compte tres paràmetres del conreu: la separació entre files, l'alçada de la capçada o del conreu i l'amplada d'aquesta capçada. El mètode més conegut és el *Tree Row Volume (TRV)*, traduïble per "volum de la fila d'arbres", consistent en estimar el volum de la capçada per unitat superfície conreada. Una vegada determinat aquest volum de vegetació unitari cal ajustar-hi un volum d'aplicació unitari adient a partir d'una plantació de referència. El mètode *TRV* s'utilitza actualment als Estats Units per a determinar el volum d'aplicació unitari necessari per a una determinada plantació. A Suïssa, a més de servir per a determinar el volum d'aplicació unitari més adient, és un dels mètodes homologats per a dosificar productes fitosanitaris. Estrictament, el mètode anomenat *TRV* és el que mesura el volum de capçada a partir de l'Equació 2.8, tenint en compte l'alçada i l'amplada màximes dels arbres (Figura 2.3 a), tal i com es practica als Estats Units, d'on és originari (Byers *et al.*, 1971).

**Equació 2.8**

$$TRV = \frac{10^4 \cdot C \cdot B}{a}$$

On *TRV* és el volum de capçada unitari, expressat en m<sup>3</sup>/ha; *C* és l'amplada de la capçada, expressada en m; *B* és l'alçada total de l'arbre, expressada en m; *a* és l'amplada de carrer, expressada en m.

A Suïssa, han mantingut la terminologia però han introduït lleugeres adaptacions al procés de càlcul del volum de capçada unitari. En el cas de la vinya, es té en compte l'alçada corresponent a la capçada i no la del cep (Equació 2.9). En el cas d'arbres fruiters, els suïssos diferencien dos tipus de capçada segons la forma. En plantacions d'arbres amb capçades globulars, es té en compte l'alçada de la capçada i no de l'arbre i l'amplada considerada són dues terceres parts de la màxima (Equació 2.10). En plantacions d'arbres intensives, més modernes amb capçada de tipus triangular, és d'aplicació l'expressió descrita en l'Equació 2.11 (Figura 2.3 b). Les estacions de recerca Agroscope RAC Changins i Agroscope FAW Wädenswil, dependents de l'administració federal suïssa, tenen una llarga trajectòria en aquesta temàtica. Han desenvolupat procediments per a la correcta realització de les mesures per a la determinació del volum de capçada unitari (Rüegg i Viret, 1999; Viret i Höhn, 2008) i per a determinar el volum d'aplicació unitari (Pfammatter *et al.*, 1997; Rüegg *et al.*, 1999; Viret *et al.*, 1999). A més, disposen d'un lloc web amb una utilitat per tal de facilitar aquests càlculs per a fruiters ([http://www.agrometeo.ch/dosagearbo/noyau\\_fr.html](http://www.agrometeo.ch/dosagearbo/noyau_fr.html)) i per a vinya ([http://www.agrometeo.ch/dosagevigne/index\\_fr.html](http://www.agrometeo.ch/dosagevigne/index_fr.html)).

**Equació 2.9**

$$TRV = \frac{10^4 \cdot C \cdot b}{a}$$

On *C* és l'amplada de la capçada, expressada en m; *b* és l'alçada de la capçada, expressada en m; *a* és l'amplada de carrer, expressada en m.

**Equació 2.10**

$$TRV = \frac{10^4 \cdot 2/3 \cdot C \cdot b}{a}$$

Equació 2.11

$$TRV = \frac{10^4 \cdot C' \cdot b}{a}$$

On  $C'$  és l'amplada mesurada a la meitat de l'alçada de capçada, expressada en m;  $b$  és l'alçada de la capçada, expressada en m;  $a$  és l'amplada de carrer, expressada en m.

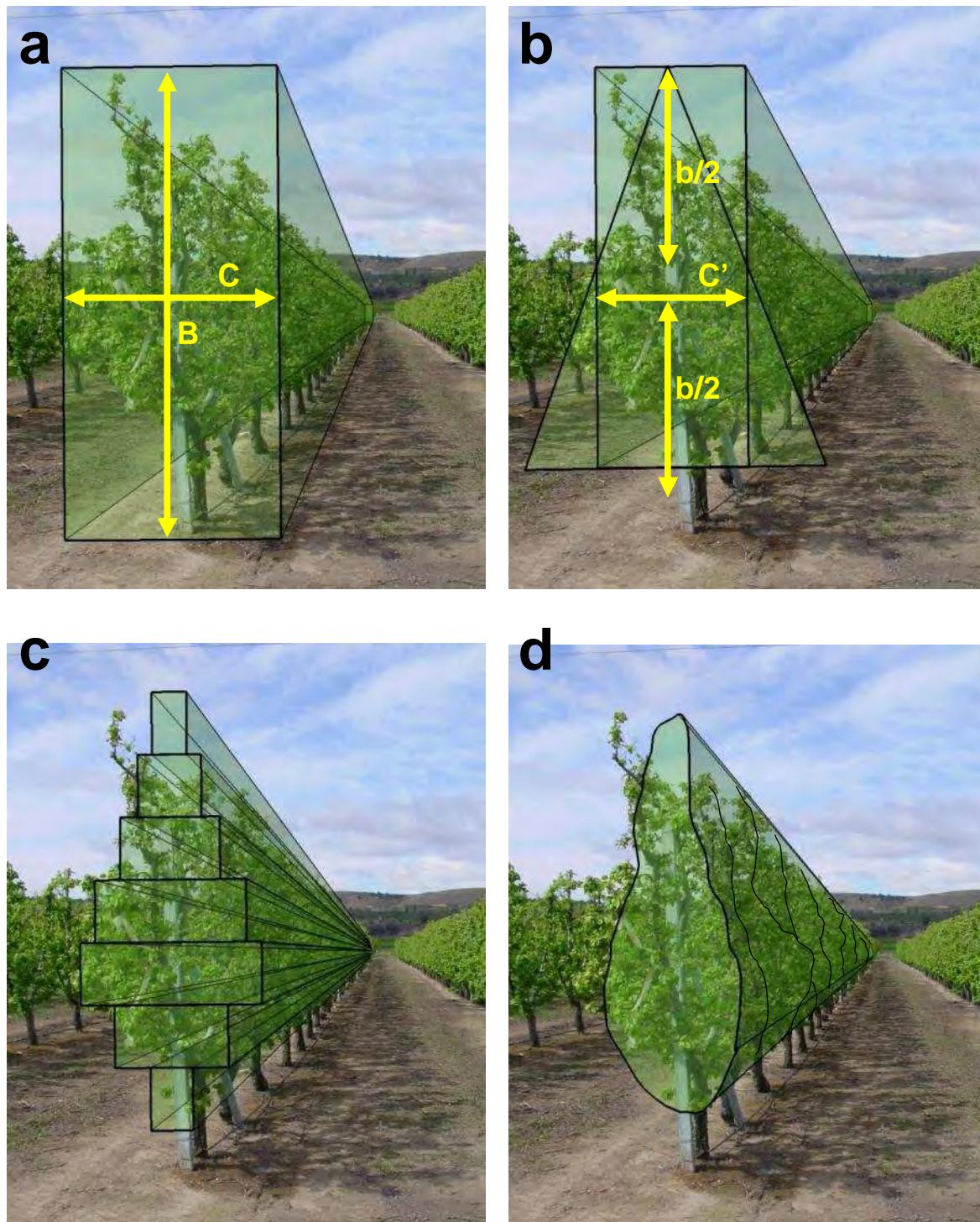
El mètode  $TRV$  es basa en determinar la secció transversal de la capçada i extrudir-la per a obtenir el volum de capçada unitari. Com més acurada sigui la quantificació, més proper a la realitat serà el valor de volum de capçada unitari obtingut. Per aquest motiu hi ha autors que proposen un  $TRV$  d'alta resolució (Manktelow i Praat, 1997; Jaeken, 2001; veure Figura 2.3 c) i altres que proposen la mesura electrònica d'aquesta secció transversal (veure apartat 2.5 Caracterització electrònica de la vegetació i aplicació de fitosanitaris i Figura 2.3 d). En qualsevol cas, cal ser curosos amb la terminologia per tal d'evitar errors d'interpretació. El  $TRV$  té unes fórmules de càlcul determinades acceptades en la bibliografia científica. Altres metodologies i tecnologies utilitzades en la determinació del volum de capçada han de rebre un nom diferenciat i una descripció suficient. Una confusió en els mètodes de mesura podria comportar errors en la determinació de la dosi quan el volum de capçada es faci servir en el procés de dosificació.

D'acord amb l'Equació 2.5, el sistema de dosificació estrictament segons volum de la capçada proposa una dosi requerida,  $D_o$ , proporcional al valor mitjà de  $(C \cdot b/a)$ . Per tant, el mètode de dosificació només serà vàlid quan els valors mitjans de l'expressió  $(\rho_f / \varepsilon_a)$  siguin constants, fet possible entre plantacions que mantinguin semblants els paràmetres mitjans que intervenen en l'expressió de la dosi, el sistema de formació i l'edat de la plantació. Quan es tenen en compte els valors instantanis dels diferents paràmetres de la plantació, les suposicions realitzades no es poden mantenir per la variabilitat que presenta la capçada. L'ajust del volum d'aplicació unitari al volum de capçada unitari ha anat evolucionant al llarg dels anys però va començar d'una forma molt intuïtiva. Byers *et al.* (1971) va observar que la majoria de plantacions de fruiters americanes tenien unes dimensions que donaven uns 580.000 peus cúbics per acre (40.600 m<sup>3</sup>/ha) i que normalment es polvoritzaven, amb bons resultats, amb un volum d'aplicació de 400 galons per acre (3.740 L/ha). El que els autors van proposar, per tant, va ser una relació lineal entre el volum d'aplicació i el de capçada unitaris. Amb el temps, els mètodes de dosificació basats en el volum de capçada van anar incorporant un factor addicional relacionat amb la densitat de la capçada ja que les necessitats de producte fitosanitari no són les mateixes en un volum de capçada amb alta densitat foliar que en una capçada menys frondosa. En aquest cas, el sistema de dosificació segons volum i densitat foliar de la capçada proposa una dosi requerida,  $D_o$ , proporcional al valor mitjà de  $C \cdot b \cdot \rho_f / a$ . Per tant, el mètode de dosificació serà vàlid sempre que mantinguem constant l'eficiència del tractament. Quan es tenen en compte els valors instantanis dels diferents paràmetres de la plantació, les suposicions realitzades no es poden mantenir degut a la variabilitat que presenta la capçada. Els primers a incorporar la densitat foliar a l'expressió de la dosi basada en el  $TRV$  van ser els mateixos autors (Byers *et al.*, 1984; Byers, 1987; Byers *et al.*, 1989) però ràpidament el mètode es va anar estenent i molts d'altres autors van anar adaptant-lo a les plantacions de les seves respectives zones (Sutton i Unrath, 1984; Sutton i Unrath, 1988a; Sutton i Unrath, 1988b). L'expressió de la dosi segons el mètode  $TRV$  es basa en el volum de capçada unitari (m<sup>3</sup>/ha) i en la quantitat de brou fitosanitari per a distribuir correctament la matèria activa en un metre cúbic de capçada (referida en aquesta tesi com a coeficient d'aplicació). El producte d'aquests dos paràmetres determina del volum d'aplicació unitari per a la plantació a tractar (Equació 2.12). La concentració del brou ha de ser l'adient en cada cas.

Equació 2.12

$$V_A = TRV \cdot F \cdot i$$

On  $V_A$  és el volum d'aplicació unitari,  $TRV$  és el volum de capçada unitari;  $F$  és l'índex de frondositat, per a tenir en compte la densitat foliar de la capçada;  $i$  és el coeficient d'aplicació.



**Figura 2.3.-** Diferents mètodes per a determinar el volum de la fila: a) Mètode *TRV* (*Tree Row Volume*) utilitzat als Estat Units; b) Mètode *TRV* utilitzat a Suïssa; c) Mètode *TRV* amb més resolució proposat per Manktelow i Praat (1997); d) Simulació del resultat que es podria aconseguir amb l'ús de tècniques sensorials d'alta resolució.

El primer coeficient d'aplicació el van establir Byers *et al.* (1971) en el seu primer treball i era de  $0,092 \text{ L}_{\text{brou}}/\text{m}^3_{\text{capçada}}$  o, el que és el mateix, d'un litre de brou per cada  $10,86 \text{ m}^3$  de capçada. En els

successius treballs publicats es va anar adaptant aquest paràmetre a les diferents varietats i situacions corresponents a cada grup de recerca. Altres autors americans proposen un coeficient d'aplicació,  $i$ , d'1 galó per cada 1000 peus cúbics de vegetació, que equival a 1 litre per cada 7,48 m<sup>3</sup> de vegetació (Sutton i Unrath, 1984; Sutton i Unrath, 1988a). Aquests mateixos autors proposen un avaluació subjectiva de la densitat foliar a partir d'un índex determinat amb l'ajuda d'una descripció de les característiques de la capçada. La gradació varia entre *arbres extremadament oberts amb molta penetració de llum* (ajust de la densitat = 0,7) i *arbres no esporgats, extremadament densos i d'una alçada superior als 6 m* (ajust de la densitat = 1).

Als Països Baixos es van fer diversos assajos de deposició i d'eficàcia biològica per tal d'avaluar la bondat del mètode *TRV* i establir els paràmetres de treball (Heijne *et al.*, 1997a; Heijne *et al.*, 1997b). El resultat obtingut és una nova expressió per a determinar el volum d'aplicació (Equació 2.13). Els autors empen un coeficient d'aplicació  $i = 0,0125 \text{ L/m}^3$  i un volum d'aplicació unitari mínim de 125 L/ha. Tanmateix, no incorporen l'ajust de la densitat foliar proposat per Sutton i Unrath (1984).

#### Equació 2.13

$$V_A = (TRV \cdot i) + V_{Am}$$

On  $V_A$  és el volum d'aplicació unitari, *TRV* és el volum de capçada unitari;  $i$  és el coeficient d'aplicació;  $V_{Am}$  és el volum d'aplicació unitari mínim.

Felber (1997) i Pfammatter *et al.* (1997) expliquen que el *TRV* és el mètode oficial de dosificació a Suïssa des de 1995 per a fruiters de llavor. En el seu cas, el coeficient d'aplicació és de 0,04 L/m<sup>3</sup> per a la plantació de fruiters de referència de 10.000 m<sup>3</sup>/ha. L'expressió d'aquest volum d'aplicació unitari també és la descrita en l'Equació 2.13 amb un coeficient d'aplicació  $i = 0,02 \text{ L/m}^3$  i un volum d'aplicació unitari mínim de 200 L/ha. En treballs posterior, investigadors suïssos van comprovar que la dosificació segons volum de vegetació amb el mètode *TRV* també s'ajustava correctament als fruiters de pinyol sempre que el polvoritzador estigués ben regulat. Treballs conjunts amb investigadors austríacs van arribar a conclusions similars encara que amb coeficients d'aplicació diferents (Steffek *et al.*, 2000). Els dos països coincidien en reclamar una harmonització de l'expressió de la dosi a partir de la metodologia *TRV*. Ambdós grups de recerca van estudiar la densitat foliar en relació al volum de capçada unitari i van comprovar que els arbres petits acostumaven a ser més densos que els grans. Aquest fet l'explicaren argumentant que els arbres grans no ocupaven tot el seu volum amb fullatge sinó que tendien a situar les fulles a l'exterior per tal de captar la màxima insolació possible. Aquest fet va provocar que, a més del *TRV*, també es tingués en compte la superfície foliar en la dosificació de productes fitosanitaris en fruiters (Viret i Siegfried, 2004). Altres autors també van detectar una certa correlació entre el volum de capçada unitari i l'IAF (Doruchowski *et al.*, 2003).

Diversos autors han realitzat assajos per tal de validar el mètode de dosificació *TRV* a les plantacions típiques de les seves zones geogràfiques. A Polònia es recomana un coeficient d'aplicació de 0,033 L/m<sup>3</sup> (Doruchowski *et al.*, 1996). Magdalena i Bemher (2001), per exemple, van provar amb èxit la dosificació *TRV* en plantacions de pomers de la zona de Río Negro, a Argentina, on l'eficàcia biològica dels tractaments va ser suficient. Sánchez-Hermosilla *et al.* (2005a), en canvi, van voler comprovar la bondat del mètode en el conreu protegit del pebrot. Van adaptar el concepte *TRV* a les línies de conreu hortícoles amb el nom de *Plant Row Volume, PRV*. En diversos assajos van comparar els resultats de tractaments amb dosificació segons el *PRV* i segons l'IAF. Tanmateix, el resultat va ser millor en el segon cas. Als Estats Units es continua

recomanant l'ús del *TRV* (Welty, 2008) i ajusten el coeficient d'aplicació entre 0,94 L/m<sup>3</sup> i 0,134 L/m<sup>3</sup> en funció de si les capçades són molt poc o molt denses, respectivament.

Tanmateix, el coeficient d'aplicació, *i*, és un paràmetre canviant al llarg de la campanya. Per tal de poder expressar la dosi en funció del volum de capçada caldria determinar el coeficient d'aplicació abans de cada tractament. Aquesta determinació podria ser experimental o bé s'hauria de disposar d'uns valors tabulats per a diferents situacions o d'una metodologia per a estimar-ne el valor. Ade *et al.* (2007) van desenvolupar un polvoritzador de tipus túnel que permetia reciclar el brou no dipositat en la capçada. Aquests autors van proposar aquest tipus de polvoritzadors com a eina per a determinar de manera precisa la quantitat de brou que realment quedava dipositat en la capçada. Tot i això, encara caldria descomptar el possible degoteig a terra. Aquesta metodologia permetria establir uns coeficients d'aplicació tipus per a cada cultivar i sistema de formació que caldria matisar en funció de la densitat foliar apreciada en cada moment.

Altres autors critiquen l'expressió de la dosi segons el mètode *TRV* per diversos motius. Per un costat, n'hi ha que argumenten que el mètode és massa simplista i no té en compte paràmetres importants que intervenen en el procés de dosificació com la densitat foliar. Els principals paràmetres que troben a faltar són la densitat foliar (a excepció de la proposta nord americana) i l'eficiència d'aplicació (Manktelow *et al.*, 2004). Altres investigadors, a més dels paràmetres ja esmentats, troben a faltar paràmetres importants que afecten la deposició com l'efecte de la mida de les gotes, el cabal d'aire utilitzat i la velocitat d'avanç del polvoritzador (Cross *et al.*, 1997b; Cross *et al.*, 2001b). Furness *et al.* (1998) i Furness i Magarey (2000) argumentaren que si després de pràcticament 30 anys d'haver-se proposat el mètode *TRV* no s'havia estès àmpliament devia ser perquè era massa complicat portar-lo a la pràctica correctament.



Davant de les mancances identificades en l'expressió de la dosi únicament basada en el *TRV*, Gil (2003) va presentar una aplicació informàtica per a la determinació del volum d'aplicació unitari en tractaments per a vinya a partir de dues metodologies diferents. L'eina s'anomenà DOSAVIÑA. Ambdues metodologies es basaven en l'ajust de la dosi a partir de la variació del volum d'aplicació unitari, mantenint la concentració del brou fitosanitari constant. L'eina informàtica va anar evolucionant amb les aportacions d'altres investigadors i estenent el seu àmbit d'aplicació a d'altres cultius com els fruiters, DOSAFRUT, i els olivers, DOSOLIVO (Planas *et al.*, 2004a; Planas *et al.*, 2004b; Solanelles *et al.*, 2004a; Planas *et al.*, 2006b; Planas, 2007; Gil i Escolà, 2009). L'objectiu de l'aplicació va ser facilitar al sector una eina intuïtiva i alhora rigorosa per a determinar la dosi de producte fitosanitari a aplicar d'una manera objectiva i repetible. Una de les metodologies basa la determinació del volum d'aplicació unitari en el volum de capçada unitari de la plantació. L'altra metodologia es basa en l'índex d'àrea foliar *i*, per tant, es comentarà més endavant. En una primera versió, es va determinar el volum unitari d'aplicació a partir del *TRV*, del coeficient d'aplicació i de l'eficiència d'aplicació teòrica del tractament segons l'Equació 2.14. L'eficiència d'aplicació teòrica es definia a partir de la introducció, per part de l'usuari, de paràmetres relacionats amb les característiques estructurals de la plantació, amb el polvoritzador i els seus components, amb les condicions de treball, amb les condicions meteorològiques, amb característiques de la plaga o malaltia i amb característiques del producte. En versions posteriors, a més de l'eficiència d'aplicació teòrica es va tenir en compte la frondositat de la capçada i l'estadi vegetatiu del conreu, tal com s'expressa en l'Equació 2.15.

$$V_A = \frac{TRV \cdot i}{\varepsilon_a}$$

**Equació 2.14**

On  $V_A$  és el volum d'aplicació unitari, expressat en L/ha;  $TRV$  és el volum de capçada unitari, expressat en  $m^3_{capçada}/ha$ ;  $i$  és el coeficient d'aplicació, expressat en  $L_{brou}/m^3_{capçada}$  (adaptada de Gil, 2003).

$$V_A = \frac{2 \cdot V_{CS} \cdot F \cdot e \cdot D_f}{\varepsilon_a}$$

**Equació 2.15**

On  $V_A$  és el volum d'aplicació unitari, expressat en L/ha;  $V_{CS}$  és el volum de capçada unitari, expressat en  $m^3_{capçada}/ha$ ;  $F$  és l'índex de frondositat, expressat en  $m^2_{fulla}/m^3_{capçada}$ ;  $e$  és el coeficient de reducció relatiu a l'estadi vegetatiu del conreu, factor adimensional;  $D_f$  és l'índex de dosificació de brou fitosanitari, expressat en  $L_{brou}/m^2_{fulla}$ ;  $\varepsilon_a$  és l'eficiència d'aplicació, expressada en tant per u (adaptada de Planas *et al.*, 2006b).



Un segon model que es basa en dosificar segons el volum de la capçada és el model *UCR* (*Unit Canopy Row*, traduïble per "Capçada Lineal Unitària"). Es tracta d'un mètode de dosificació desenvolupat per Furness *et al.* (1998) amb la intenció de simplificar el mètode *TRV*. El mètode consisteix en expressar la dosi requerida no en funció del volum de capçada unitari ( $V_{CS}$ ) sinó en funció de la capçada lineal unitària consistent en una unitat de  $100 m^3$  de capçada (100 m de longitud de fila per 1 m d'amplada per 1 m d'alçada). Aquesta adaptació fa que, segons els autors, es faciliti la implantació del mètode als agricultors. La dosi de producte a aplicar s'hauria d'expressar en volum o massa per  $100 m^3$  de capçada. D'aquesta manera, l'agricultor només hauria de mesurar la seva plantació i multiplicar la dosi unitària per l'alçada i l'alçada dels seus arbres. En treballs posteriors proposen els volums de brou necessaris per a tractar diferents tipus de capçades (Furness i Magarey, 2000). Altres investigadors adapten el mètode *UCR* a les característiques de les plantacions de la seva zona (Franchi *et al.*, 2003; Barani *et al.*, 2008).



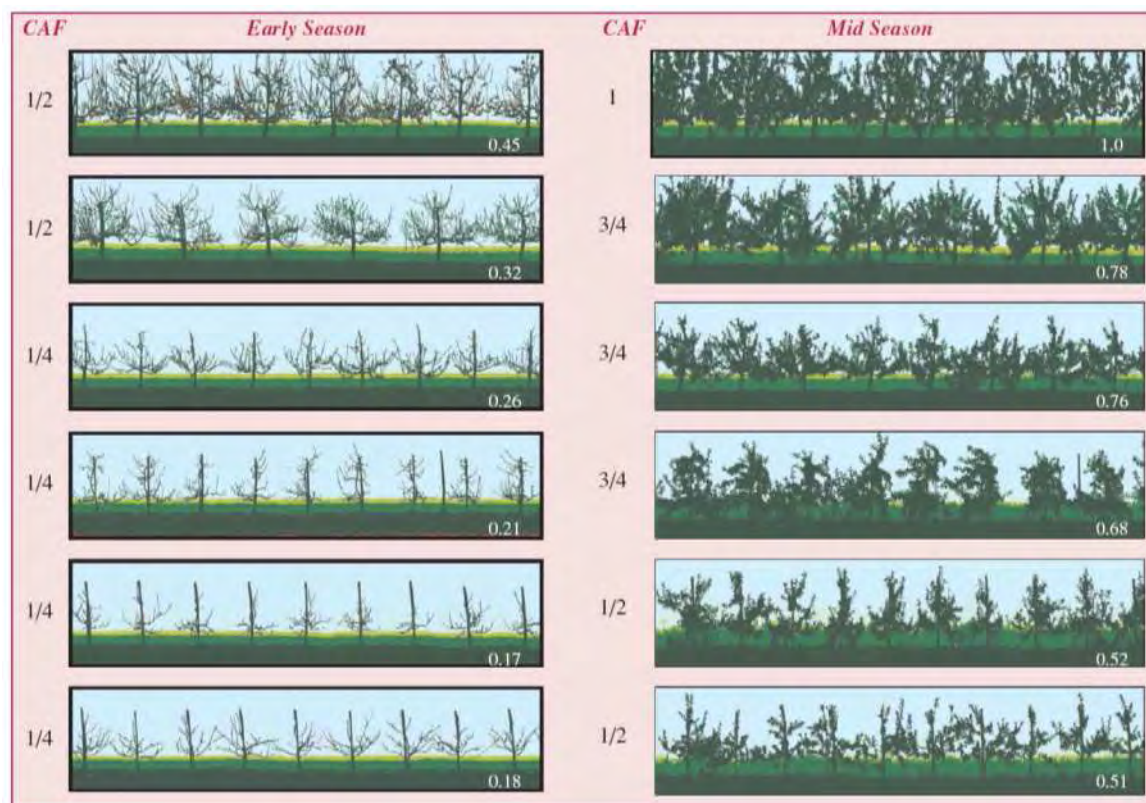
Hi ha un tercer model que expressa la dosi requerida en funció del volum de capçada, malgrat ho faci indirectament. En aquest cas, per tal d'establir el volum d'aplicació unitari es proposa determinar el volum més adient per a distribuir correctament el producte en 100 m lineals de fila. Aquesta determinació és empírica i cal que la realitzi cada agricultor, amb el volum de feina addicional que això comporta. Aquest mètode fou desenvolupat per Bjugstad i Stensvand (2002) per a ser implantat a Noruega i, per tant, es va demanar als fabricants d'aquell país que etiquetessin els seus productes establint la dosi necessària per a 100 m de fila en una plantació estàndard noruega (2,5 m d'alçada d'arbre i 2 m de diàmetre de copa). Tal com queda palès, en realitat es tracta d'una recomanació de la dosi per a  $500 m^3$  de capçada. La informació de l'etiqueta es completava amb indicacions de com reduir la dosi a aplicar en cas que la capçada fos de menors dimensions a causa de l'edat de la plantació o de l'estadi vegetatiu del moment en que es realitzava el tractament. Finalment, el mètode no s'ha implantat en aquest país nòrdic. Furness (2003) descriu un mètode de dosificació similar per a ser utilitzat a Austràlia. Tanmateix, aquest mètode no fa referència a un volum de capçada predeterminat i, per tant, l'agricultor no ha d'emprar cap fórmula. El que sí requereix el mètode és una modificació de les etiquetes per part dels fabricants. Tot i això, en articles posteriors, els autors proposen incorporar l'alçada de la

capçada al model, convertint-lo en una variant del basat en la superfície de paret vegetal (Furness i Thompson, 2008).

#### 2.4.2.7 Expressió de la dosi en funció de la densitat foliar

Actualment, al Regne Unit es practica un ajust de la dosi requerida en funció de dos paràmetres de la plantació: l'amplada de carrer,  $a$ , i la densitat foliar de la capçada  $\rho_f$ . El model s'anomena *Pesticide Adjustment to the Crop Environment (PACE*, traduïble per "ajust del pesticida a l'entorn del conreu") i pretén ajustar la dosi de producte fitosanitari per tal d'aconseguir deposicions aproximadament constants en arbres de mides i densitats foliars diferents. Aquest mètode es basa en la premissa que la dosi recomanada en les etiquetes de productes fitosanitaris al Regne Unit, expressada en quantitat de producte per unitat de superfície conreada, és l'adient per a controlar la plaga o malaltia en arbres més grans i densos (Walklate *et al.*, 2006a). Mantenir aquesta dosi en plantacions amb arbres menors i menys frondosos implicaria una alta variabilitat en les deposicions. Per a evitar aquest increment de variabilitat calia un mètode per a reduir la quantitat de producte fitosanitari aplicada a aquestes plantacions sense comprometre la seva eficàcia biològica. Per tant, no és necessari que les companyies fabricants de productes fitosanitaris adaptin les seves etiquetes a aquest model de dosificació.

D'acord amb l'Equació 2.5, el sistema de dosificació segons el mètode *PACE* proposa una dosi requerida,  $D_o$ , proporcional a la densitat foliar de la capçada i a l'amplada de carrer mitjanes,  $(\rho_f / a)$ . Per tant, el mètode de dosificació només serà vàlid quan els valors mitjans de l'expressió  $(C \cdot b / \varepsilon_a)$  siguin constants, cosa difícil de trobar entre plantacions diferents i gairebé impossible que es doni dins la mateixa plantació quan el que es consideri siguin els valors instantanis. El mètode és senzill d'utilitzar ja que la determinació de la densitat foliar de la capçada es realitza a partir de pictogrames (Figura 2.4). El fructicultor ha de seleccionar el pictograma més semblant a la seva plantació en el moment de realitzar el tractament. Cada pictograma té associat un valor numèric del factor d'ajust del conreu (*Crop Adjustment Factor, CAF*) que l'agricultor ha d'entrar en una expressió matemàtica juntament amb la dosi recomanada a l'etiqueta i l'amplada de carrer per a determinar la dosi requerida per la seva plantació. Aquest mètode s'adapta correctament a aquest tipus de plantacions, petites i poc vigoroses, però seria inviable traslladar-lo sense adaptacions a les de la zona de Lleida. La primera dificultat seria identificar en un pictograma en dos dimensions capçades en que la tercera dimensió, l'amplada, no és tan reduïda com en el cas britànic. El mètode de dosificació *PACE* es va començar a desenvolupar gràcies al disseny d'una eina que emprava un sensor lidar per a la caracterització de la capçada (Walklate *et al.*, 1997a; Walklate *et al.*, 1997b). Aquesta eina va permetre caracteritzar la capçada amb molta més resolució del que s'havia aconseguit fins al moment i va donar peu a estimar, entre d'altres paràmetres, la densitat foliar. Aquests mateixos autors ja havien dut a terme diverses experiències en les que van posar de manifest la importància de la frondositat de les capçades en la dosificació de productes fitosanitaris (Walklate *et al.*, 1993; Walklate *et al.*, 1996b). En poder estimar aquesta densitat foliar amb més facilitat, Walklate *et al.* (2000a) van proposar un model per a relacionar la deposició aconseguida amb aquest paràmetre. En treballs successius, aquests mateixos autors van correlacionar les deposicions obtingudes amb els paràmetres tinguts en compte en diferents mètodes de dosificació. El mètode tradicional, basat en la separació entre files d'arbres, va ser el que obtingué els pitjors ajustos. El següent el mètode basat en el *TRV* i el basat en l'alçada de la capçada. Tanmateix, la correlació més forta la van trobar entre les deposicions i la densitat foliar (Walklate *et al.*, 2000b).



**Figura 2.4.-** Pictograma elaborat amb un sensor lidar per a determinar el factor d'ajust del conreu (CAF) en el model de dosificació PACE proposat al Regne Unit (font: Anònim, 2002).

A Walklate *et al.* (2002), els autors fan una revisió dels diferents models d'expressió de la dosi desenvolupats fins al moment i en proposen diversos de nous basats en la informació aportada pel sensor lidar. Per tal de determinar el millor mètode van fer una sèrie d'assajos de camp i van relacionar les deposicions aconseguides amb cadascun dels mètodes d'expressió. Els resultats foren semblants als anteriors: el mètode convencional de dosificació en funció de la superfície conreada va explicar el 9% de la variabilitat de les deposicions, el mètode *TRV* en va explicar el 43% i el mètode basat en la densitat foliar va explicar el 78% de la variabilitat observada. L'estimació de la densitat es feia amb el paràmetre *Tree Area Density*, *TAD*, que, al seu temps, es determinava amb el sensor lidar o bé amb els pictogrames. El *TAD* de cada plantació permetia estimar el CAF en fer la comparació amb un *TAD* de referència. La dosi màxima recomanada en l'etiqueta del producte, juntament amb el CAF i la separació entre files permet el càlcul de la dosi de producte fitosanitari a aplicar (Cross i Walklate, 2003; Walklate *et al.*, 2003b; Walklate i Cross, 2005). El mètode es va anar refinant amb l'aportació de diversos treballs (Walklate *et al.*, 2003a; Walklate *et al.*, 2004; Walklate *et al.*, 2006a; Cross i Walklate, 2008). Entre els assajos de validació cal destacar els assajos biològics que van realitzar Cross *et al.* (2004). En ells es va comprovar que els resultats aconseguits amb el mètode *PACE* eren equivalents als aconseguits amb tractaments amb la dosi recomanada en les etiquetes excepte en el cas del Míldiu. Per a la resta de plagues i malalties, els investigadors van enregistrar estalvis anuals del 30% al 60% deguts a les reduccions proposades pel *PACE*. En el cas del Míldiu es va observar un millor control en els tractaments efectuats amb la dosi màxima indicada a l'etiqueta. Els autors apunten que sense un mètode d'expressió de la dosi adaptat a la vegetació de la plantació, els fabricants han de posar la dosi necessària per a controlar les situacions més difícils i que, en la majoria dels casos, s'apliqui més producte fitosanitari del realment necessari. Richardson *et al.* (2006) reporten assajos on va



ser possible reduir les bandes de seguretat establertes al Regne Unit quan el mètode *PACE* recomanava reduccions de la dosi de l'etiqueta al voltant del 75%, ressaltant un altre avantatge del mètode.

Tanmateix, els mateixos autors indiquen alguns inconvenients com que l'ajust del *CAF* mitjançant pictogrames no deixa de ser una aproximació i com que algun sistema de formació encara no estava validat per ser tractat amb aquest mètode. A més, en relació a l'eficàcia biològica, els autors indiquen que cal realitzar els assajos oficials d'eficàcia en plantacions amb estructures estandarditzades per tal que el mètode sigui aplicable en plantacions comercials (Cross i Walklate, 2008).

#### 2.4.2.8 Expressió de la dosi en funció de la superfície foliar

Un altre mètode sotmès a anàlisi és el que té en compte la superfície foliar, o el paràmetre derivat Índex d'Àrea Foliar, en l'expressió de la dosi. Tal com s'ha demostrat en l'Equació 2.4, l'IAF es pot determinar a partir de mesures representatives d'amplada, alçada i densitat de la capçada així com de l'amplada dels carrers en una determinada plantació. D'acord amb l'Equació 2.5, el sistema de dosificació segons la superfície foliar proposa una dosi requerida,  $D_o$ , proporcional a l'IAF i, en conseqüència, proporcional al valor mitjà de  $(C \cdot b \cdot \rho_f / a)$ . Per tant, el mètode de dosificació serà vàlid sempre que mantinguem constant l'eficiència del tractament ( $\epsilon_a$ ). Quan es tenen en compte els valors instantanis dels diferents paràmetres de la plantació, les suposicions realitzades no es poden mantenir degut a la variabilitat que presenta la capçada.

Per tal de determinar el volum d'aplicació unitari o la dosi que requereix la unitat de superfície foliar, caldria que les companyies fabricants de productes fitosanitaris adaptessin les seves etiquetes a aquest model de dosificació.

Una qüestió demostrada per diversos autors en els darrers anys i acceptada per la comunitat científica és que la quantitat de producte fitosanitari dipositada en la capçada disminueix a mesura que augmenta l'IAF. A partir d'aquesta premissa, els mateixos autors suïssos que van promoure la implementació del mètode *TRV* en plantacions fruiteres en aquell país, van estudiar la relació entre el volum de capçada unitari i la superfície foliar continguda. Rüeegg *et al.* (2001) van demostrar bones correlacions entre la deposició de producte i l'IAF i també entre l'IAF i el *TRV*, de manera que van suposar que també hi hauria d'haver una bona relació entre deposicions i *TRV*. Aquests autors argumenten que dosificant segons el *TRV* el que fan és dosificar, indirectament, segons la superfície foliar. Tanmateix, en el cas de la vinya suïssa no s'ha adoptat aquest tipus d'expressió de la dosi degut a la major diversitat de sistemes de formació i a la major diversitat d'equips de polvorització. En el moment de la implantació de la dosificació a partir del *TRV* en fruiters, la vinya seguia els esquemes d'una dosi expressada segons concentració al brou i d'un volum d'aplicació unitari segons l'estat fenològic de la planta. Els treballs d'aquests investigadors suïssos, conjuntament amb d'altres de centres alemanys, es van dirigir vers l'establiment d'una expressió de la dosi adient per a la viticultura (Viret i Siegfried, 2004). Les primeres passes van consistir en desenvolupar un mètode per a l'estimació de l'IAF en les seves vinyes i posteriorment van realitzar gran quantitat d'assajos de deposició en plantacions diferents i amb polvoritzadors diferents. A partir d'aquesta informació van desenvolupar el mètode oficial suís per a la dosificació de productes fitosanitaris en vinya (Viret *et al.*, 2005a; Viret *et al.*, 2005b; Wohlhauser, 2005; Viret *et al.*, 2007; Viret i Höhn, 2008). Una de les novetats d'aquest projecte va ser la participació de la

companyia Syngenta (Basel, Suïssa), fet que va permetre relacionar les deposicions aconseguides amb les corbes de la resposta eficaç de la dosi sobre la plaga o malaltia. L'estimació de la superfície foliar es va fer a partir de dos enfocaments: a partir de la longitud de sarment i a partir del *Vine Row Volume*, *VRV* (traduïble per volum de la fila de vinya), anàleg al *TRV*. El mètode d'estimació a partir de la longitud de sarment donava molt bons resultats en els primers estadis fenològics però després perdia precisió. El mètode basat en el *VRV* tenia una correlació una mica menor en els primers estadis però mantenia la precisió independentment del desenvolupament de la planta i del sistema de formació. A més d'aquesta consideració, resultava més senzill mesurar l'amplada i l'alçada de tres a cinc ceps (recomanació per a obtenir una bona representativitat de la plantació) que no haver de mesurar com a mínim 10 sarments (requisit del primer mètode). Els autors defensen que el mètode d'expressió de la dosi basat en el *VRV* dona bons resultats en termes d'eficàcia sempre que es tractin totes les files i s'emprin polvoritzadors correctament regulats. També argumenten que és un bon mètode per a l'estandardització dels assajos de camp i que permetria als fabricants establir correctament les quantitats de matèria activa necessàries per al control de les plagues i malalties.

Hogmire i Biggs (1994) van presentar un mètode d'ajust de la dosi indirectament basat en la superfície foliar. Els investigadors proposaren reduir la dosi recomanada en plantacions de préssec en funció dels dies passats des de la plena floració. La proposta va ser aplicar un 25% de la dosi màxima en els primers 30 dies després de la floració, un 50% entre 31 i 90 dies i aplicar el 100% de la dosi recomanada en dies posteriors. Els autors defensen estalvis importants, malgrat no els quantifiquin, sense repercussions en l'eficàcia biològica dels tractaments. El mètode proposat es basa en ajustar la dosi a l'estat fenològic del cultiu que, al seu temps està íntimament relacionat amb la superfície foliar que presenta en cada moment.



Un altre model basat en la superfície foliar és la segona expressió de la dosi inclosa en les aplicacions *DOSAVIÑA*, *DOSAFRUT* i *DOSOLIVO*, descrits en l'apartat 2.4.2.6. Els sistemes de suport a la decisió desenvolupats permeten la determinació del volum d'aplicació unitari en base al volum de la capçada o bé en base a la superfície foliar. Aquest model, però, no busca directament determinar una deposició objectiu sinó que estableix el volum d'aplicació unitari necessari per a aconseguir un recobriment òptim que, al seu torn, generarà la deposició desitjada. Aquests models tenen en compte tant paràmetres geomètrics de la plantació, a partir dels quals s'estima l'IAF, com l'eficiència d'aplicació (Gil, 2003; Planas *et al.*, 2004a; Planas *et al.*, 2004b; Solanelles *et al.*, 2004a; Planas *et al.*, 2006b; Planas, 2007; Gil i Escolà, 2009).

Aquesta segona metodologia recollida en les eines *DOSA* va ser anomenada mètode de recobriment òptim. La determinació del volum d'aplicació unitari es basa en aconseguir una determinada densitat d'impactes sobre la superfície foliar, configurable per l'usuari. Per tal d'establir la recomanació de volum d'aplicació, és necessari introduir a l'expressió els valors de la superfície foliar de la plantació i de la mida de gota utilitzada. A més, per a determinar l'eficiència d'aplicació cal introduir paràmetres de la plantació i del polvoritzador, les condicions de treball i les meteorològiques, i característiques de la plaga o malaltia i del producte. Els autors diferencien lleugerament l'expressió destinada a la viticultura (Equació 2.16) de la destinada a la fructicultura (Equació 2.17). En la primera, la superfície foliar s'introdueix en forma de superfície lineal per metre lineal de fila. En la segona, el paràmetre a introduir és directament l'IAF.

Equació 2.16

$$V_A = \frac{2 \cdot 10^{-7} \cdot AF \cdot \rho_i \cdot V_g \cdot DMV_{ref} / DMV}{a \cdot \varepsilon_a}$$

On  $V_A$  és el volum d'aplicació unitari, expressat en L/ha;  $AF$  és l'àrea foliar per metre lineal de fila, expressada en  $m^2_{fulla}/m$ ;  $\rho_i$  és la densitat d'impactes requerida; expressada en gotes/cm<sup>2</sup>;  $V_g$  és el volum de gota, expressat en m<sup>3</sup>;  $DMV_{ref}$  és el diàmetre de la mediana volumètrica d'un tractament de referència, equivalent a 200µm;  $DMV$  és el diàmetre de la mediana volumètrica, expressat en µm;  $a$  és l'amplada de carrer, expressada en m;  $\varepsilon_a$  és l'eficiència d'aplicació entesa com a quantitat de producte dipositada sobre el fullatge respecte al total aplicat, expressada en tant per u (adaptada de Gil, 2003 i Gil i Escolà, 2009).

Equació 2.17

$$V_A = \frac{2 \cdot IAF \cdot \rho_i \cdot V_{gref}}{\varepsilon_a} \cdot 10^4$$

On  $V_A$  és el volum d'aplicació unitari, expressat en L/ha;  $IAF$  és l'Índex d'Àrea Foliar, factor adimensional;  $\rho_i$  és la densitat d'impactes requerida; expressada en gotes/cm<sup>2</sup>;  $V_{gref}$  és el volum de gota de referència, expressat en m<sup>3</sup>;  $\varepsilon_a$  és l'eficiència d'aplicació entesa com a quantitat de producte dipositat sobre el fullatge respecte al total aplicat, expressada en tant per u (adaptada de Planas, 2007).

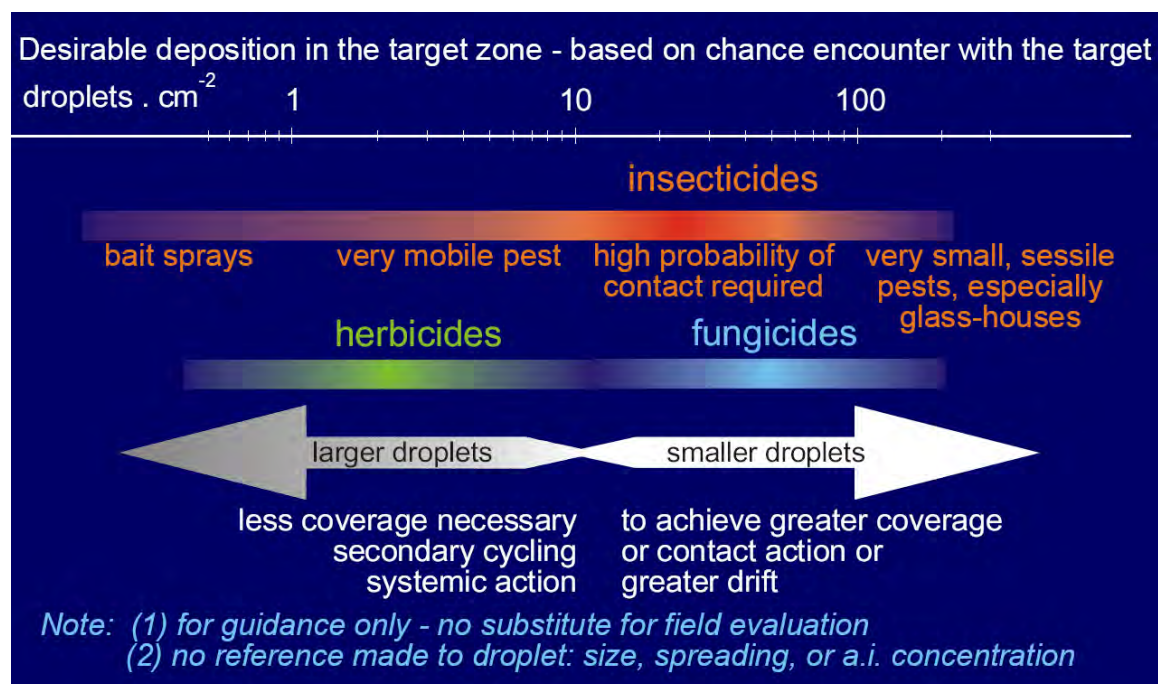
La superfície foliar, paràmetre clau de l'expressió, és un paràmetre difícil de mesurar. En les primeres versions dels programes DOSA, la superfície foliar s'estimava a partir de les dimensions de la capçada. La relació entre dimensions de la capçada i superfície foliar es basava en treballs previs dels mateixos autors. Actualment s'està revisant aquesta estimació de la superfície foliar per tal d'incorporar els resultats dels assajos duts a terme en el marc dels projectes PULVEXACT i OPTIDOSA (Rosell *et al.*, 2004; Sanz *et al.*, 2004; Llorens, 2005; Sanz *et al.*, 2005a; Sanz *et al.*, 2005b; Llorens *et al.*, 2007; Sanz, 2008; Rosell *et al.*, 2009a; Rosell *et al.*, 2009b).

Un aspecte summament important d'aquesta expressió de la dosi és la densitat d'impactes necessària. Aquest paràmetre, juntament amb la concentració del brou fitosanitari i la mida de les gotes, determina la quantitat de matèria activa dipositada sobre la superfície foliar. Tant la densitat d'impactes com la matèria activa dipositada són, evidentment, aspectes clau per al control de la plaga o malaltia. Tanmateix, hi ha una mancança de treballs científics que relacionin densitat d'impactes sobre fulles amb el control de plagues i malalties en condicions de camp o els que hi ha ja són obsolets donada la ràpida evolució dels productes. Hewitt i Meganasa (1993) van utilitzar un polvoritzador de motxilla motoritzat per a aplicar un insecticida a ultrabaix volum. El resultat va ser que 9 gotes/cm<sup>2</sup> provocaven un 50% de mortalitat de les larves tractades. Per tal d'aconseguir un 95% de mortalitat, va ser necessari aplicar 28 gotes/cm<sup>2</sup>. Fisher i Menzies (1976) van estudiar l'efecte de la densitat d'impactes sobre el control de larves de tinya oriental (*Grapholita molesta* Busck.) en condicions de laboratori. Els investigadors van observar que les larves arribaven a un estat de convulsió en un temps inversament proporcional a la densitat d'impactes aconseguida i a l'àrea recoberta per les gotes. Wofford *et al.* (1987) van estudiar l'efecte de la dosi, la mida de gota, la densitat d'impactes i la concentració de permethrin a les gotes de la polvorització per al control larves de l'eruga del tabac (*Heliothis virescens* F.). Els resultats dels tractaments amb oli indicaren que la mortalitat de les larves creixia amb l'increment de la dosi, la disminució de la densitat d'impactes i l'increment de la mida de gota. La concentració de les gotes no va presentar un efecte significatiu en la mortalitat de la larva. En els tractaments amb aigua, en canvi, la mortalitat va augmentar amb l'increment de la dosi i de la densitat d'impactes i el decrement de la

concentració de les gotes. La mida de les gotes no va presentar un efecte significatiu. Falchieri *et al.* (1995) van fer proves amb densitats d'impactes entre 9 gotes/cm<sup>2</sup> i 149 gotes/cm<sup>2</sup> d'un preparat de carbaryl per al control de larves d'arna gitana (*Lymantria dispar* L.). La mortalitat de les larves es va veure influenciada per la distribució espacial dels impactes sobre la fulla. Per tal d'inhibir la ingestió de les larves, els millors resultats s'aconseguien incrementant simultàniament la concentració de les gotes i la densitat d'impactes. Cesari i Flori (2000) van proposar un mètode de dosificació consistent en modificar la concentració del brou fitosanitari en funció de la densitat d'impactes. El que van fer aquests investigadors va ser establir unes corbes que relacionaven la concentració letal que provocava el 95% de mortalitat amb diferents densitats d'impactes, en condicions controlades. Una vegada al camp, els investigadors proposaven fer una aplicació prèvia amb aigua sola per tal de determinar les diferents densitats d'impactes aconseguides sobre papers hidrosensibles estratègicament situats. Una vegada analitzats els papers hidrosensibles, els autors determinaven el percentil 95% de les densitats d'impactes reals i aplicaven les corbes determinades en condicions controlades. D'aquesta manera, els investigadors compensaven la variació de les densitats d'impactes obtingudes al camp tot modificant la concentració del brou fitosanitari. Segons els resultats obtinguts, aquestes variacions no tenien un efecte significatiu sobre l'eficàcia dels productes. Les reduccions en les quantitats de producte aplicats oscil·laven entre el 40% i el 70%. Tanmateix, en estadis de desenvolupament foliar avançats, apareixien problemes de residus deguts a concentracions excessives.



Indicacions més genèriques són les referides al lloc web del projecte Dropdata i les que recomana el fabricant de productes fitosanitaris Syngenta (Basel, Suïssa). Les recomanacions de Dropdata són orientatives i es basen en l'experiència dels investigadors que participaren en aquest projecte amb productes fitosanitaris antics, segons s'indica al web (Figura 2.5).



**Figura 2.5.-** Diagrama orientatiu per a la determinació de la densitat d'impactes en funció del tipus de producte (font: Dropdata, 2007).

Les recomanacions de Syngenta no consten en la majoria de productes que comercialitzen arreu del món sinó que apareixen en un fullletó explicatiu del paper hidrosensible que comercialitza aquesta companyia (Taula 2.5). Aquestes recomanacions les va publicar el fabricant Ciba-Geigy els anys 70 i Syngenta les ha anat reeditant (Syngenta, 2003). En aquesta publicació, el fabricant estableix diferents llindars de densitat d'impactes en les fulles en funció del tipus de producte fitosanitari aplicat. La densitat màxima s'estableix en 70 gotes/cm<sup>2</sup> en productes fungicides. El Ministerio de Medio Ambiente y Rural y Marino ha publicat unes bones pràctiques agrícoles en l'aplicació de productes fitosanitaris que coincideixen amb les recomanacions de densitat d'impactes publicades per Syngenta (MARM, 2008).

**Taula 2.5.-** Densitats d'impactes recomanades pel fabricant Syngenta en funció del producte aplicat (font: Syngenta, 2003).

Numbers of droplets per cm <sup>2</sup> *	Type of spray
20–30	Insecticides
20–30	Herbicides pre-emergence
30–40	Contact herbicides post-emergence
50–70	Fungicides

Tanmateix, en alguns països sud-americans com Argentina, les etiquetes dels productes inclouen aquesta informació així com altres aspectes importants a tenir en compte en el disseny de l'aplicació. A mode d'exemple s'han comparat les etiquetes d'un producte fungicida per al control de la cendrosa o oïdi del pomer i del perer (*Podosphaera leucotricha* (Ell. & Ev.) Salm.) en les seves versions comercialitzades a Argentina i a Espanya.

Versió argentina:

**«Técnicas y equipos de aplicación:** (...) puede ser aplicado con cualquier equipo terrestre o aéreo provisto con un agitador mecánico adecuado o una bomba capaz de producir un exceso de flujo, de modo de mantener una remoción constante a través del retorno. (...) En vid, aplicar con no menos de 1000 litros de agua por hectárea. El volumen de aplicación, en manzano, estará supeditado al tipo de conducción que se haga del monte pudiendo variar éste desde los 1500 a los 3500 litros de agua por hectárea, de acuerdo al TRV, trabajando con una presión 60 lb/pulg<sup>2</sup> para lograr un buen mojado de las plantas. Se debe lograr aplicar de 50-70 impactos/cm<sup>2</sup>, medidos con tarjetas hidrosensibles bien distribuidas en los diferentes estratos del cultivo. Es conveniente verificar el correcto funcionamiento del equipo previo a la aplicación y calibrarlo con agua sobre el mismo terreno en que se va a utilizar. Suspender las aplicaciones con vientos superiores a 15 km/h. No realizar las aplicaciones en las horas de más calor del día; tampoco si el follaje se encuentra mojado o exista posibilidad de una lluvia inminente.»

Versió espanyola:

**«(...) Considerar volumen de aplicación de 1.500 L de agua/ha. (...) Otras informaciones:** mojar prolijamente las plantas usando bomba con buen agitador y el equipo y presión adecuados para su cultivo. No ocupar bombas empleadas en la aplicación de herbicidas. No aplicar en horas de mucho calor y sobre follaje humedecido. Repetir el tratamiento si la lluvia lava el producto una vez aplicado. Una vez preparado, debe ser aplicado el mismo día. Observar la normativa sobre tolerancias establecidas en países de destino de la fruta tratada.»

Tant en un país com en l'altre, la dosi s'expressa en concentració de la preparació en aigua. En la versió espanyola, donat que fa una recomanació de 1.500 L/ha, també s'adjunta la dosi en massa de producte per unitat de superfície conreada. S'observa clarament que l'etiqueta argentina dona tot tipus d'indicacions dins l'apartat "*Técnicas y equipos de aplicación*" que permeten que l'agricultor pugui arribar a adaptar la dosi aplicada a la seva plantació tot realitzant una aplicació correcta. En el cas de la informació aportada en la versió espanyola de l'etiqueta, aconseguir una aplicació correcta i una dosi adaptada a la plantació amb les indicacions de l'apartat "*Otras aplicaciones*" potser sí que requereix fer un acte de fe, tal com van dir Manktelow *et al.* (2004). En general, les recomanacions de densitat d'impactes observades en diferents tipus de productes coincideixen amb les de la Taula 2.5, amb un mínim de 20 gotes/cm<sup>2</sup> i un màxim de 70 gotes/cm<sup>2</sup>.

#### 2.4.2.9 Observacions

En referència a les diverses expressions de la dosi presentades, en aquest apartat s'apunten algunes observacions sobre cadascuna d'elles.

Quant a l'expressió de la dosi en funció de la concentració de brou fitosanitari, la indicació de polvorització fins a punt de degoteig és altament imprecisa, excessiva i ineficient. Fins i tot pot donar lloc al rentat del producte prèviament dipositat sobre la fulla amb la consegüent pèrdua d'eficàcia del tractament. L'excés de brou aplicat pot acabar a terra, provocant una contaminació de les zones de sota la capçada que pot arribar a contaminar aigües superficials i/o subterrànies.

Quant a l'expressió de la dosi en funció de la superfície conreada, les etiquetes haurien de donar la suficient informació com per a adaptar la dosi de referència a la plantació a tractar. Com a mínim caldria indicar quina és l'hectàrea de referència per a que l'agricultor pugui fer les adaptacions pertinents. Si aquesta informació no s'aporta, divergències en l'amplada de carrer, l'alçada i l'amplada dels arbres, l'estadi fenològic o l'edat de la plantació poden provocar l'aplicació de dosis insuficients o excessives.

Quant a l'expressió de la dosi en funció de l'alçada de la capçada, és possible que aquest mètode s'adapti a plantacions poc vigoroses en formacions en espatllera com les centre i nord europees. Tanmateix, les plantacions de la zona de Lleida i similars amb sistemes de formació en eix poden presentar amplades de capçada considerables, de fins a 2 m o 3 m. En aquestes condicions és molt agosarat menystenir aquesta dimensió de la capçada.

Quant a l'expressió de la dosi en funció de superfície de paret vegetal, aquest mètode de dosificació considera la capçada com a una superfície plana sense volum. Com en l'expressió de la dosi en funció de l'alçada de la capçada, en aquest cas tampoc es té en compte l'amplada de la capçada. Serveixen, per tant, les argumentacions del paràgraf anterior.

Quant a l'expressió de la dosi en funció del volum de capçada, si no es té en compte la densitat de la vegetació es poden cometre errors importants d'estimació de l'objectiu a tractar. L'estimació del volum de capçada unitari de tota la plantació a partir de les mesures d'amplada i alçada màximes d'alguns dels seus arbres dona lloc a sobreestimacions considerables. Quan els arbres són vigorosos i el sistema de formació no és una palmeta pura o un mur vegetal, la variabilitat de les amplades i alçades pot provocar que el volum de capçada unitari sigui significativament diferent a

la simple extrusió dels valors màxims. La consideració de la densitat foliar pot corregir, en part, aquest problema.

Quant a l'expressió de la dosi en funció de la densitat foliar, la seva estimació és difícil de dur a terme si no es tracta de capçades reduïdes. El mètode desenvolupat per Walklate *et al.* (2000a) és difícilment exportable a plantacions més vigoroses.

Quant a l'expressió de la dosi en funció de la superfície foliar, aquest és l'únic mètode que realment té en compte l'objectiu més habitual dels tractaments fitosanitaris: la fulla. La dificultat d'aquest mètode rau en la correcta determinació d'aquest paràmetre. La manera més senzilla és l'estimació indirecta a partir de mesures més senzilles de dur a terme per part del fructicultor. La correlació entre els paràmetres de mesura directa i la superfície foliar determinarà l'èxit de l'estimació.

Tal com manifestaren Rüegg *et al.* (2001), l'èxit de l'expressió de la dosi rau en trobar l'equilibri entre precisió i simplicitat. Tanmateix, la introducció de sensors per a caracterització de les capçades obre una nova línia per a millorar la precisió dels tractaments sense fer més feixuga la tasca del fructicultor. Un exemple el trobem en la utilització de sensors lidar en el disseny de l'expressió de la dosi en funció de la densitat foliar (Walklate *et al.*, 1997a; Walklate *et al.*, 1997b). A l'apartat 2.5 es fa una revisió bibliogràfica dels treballs relacionats amb la caracterització electrònica de la vegetació.



El principal objectiu de les expressions descrites fins ara és disminuir la variabilitat de les deposicions aconseguides en plantacions diferents (variabilitat interplantació) o bé en la mateixa plantació però en instants diferents. Malgrat això, moltes de les referències citades presenten resultats amb altes variabilitats en les deposicions obtingudes en la mateixa plantació (variabilitat intraplantació). Una variabilitat elevada en les deposicions de matèria activa sobre les fulles, objectiu dels tractaments, és negativa. Zones amb deposicions molt baixes comporten un control deficient de la plaga o malaltia i la possible aparició de resistències. Deposicions excessives comporten una despesa econòmica innecessària i possibles efectes negatius envers l'entomofauna beneficiosa o la mateixa planta (fitotoxicitat). La correcta regulació dels equips d'aplicació de productes fitosanitaris és imprescindible per a reduir aquesta variabilitat. Tanmateix, aconseguir variabilitats encara més baixes només seria possible amb un mètode de dosificació dinàmic que anés variant la dosificació per tal d'adaptar-la al paràmetre de regulació escollit a mesura que el polvoritzador s'anés desplaçant per la plantació.

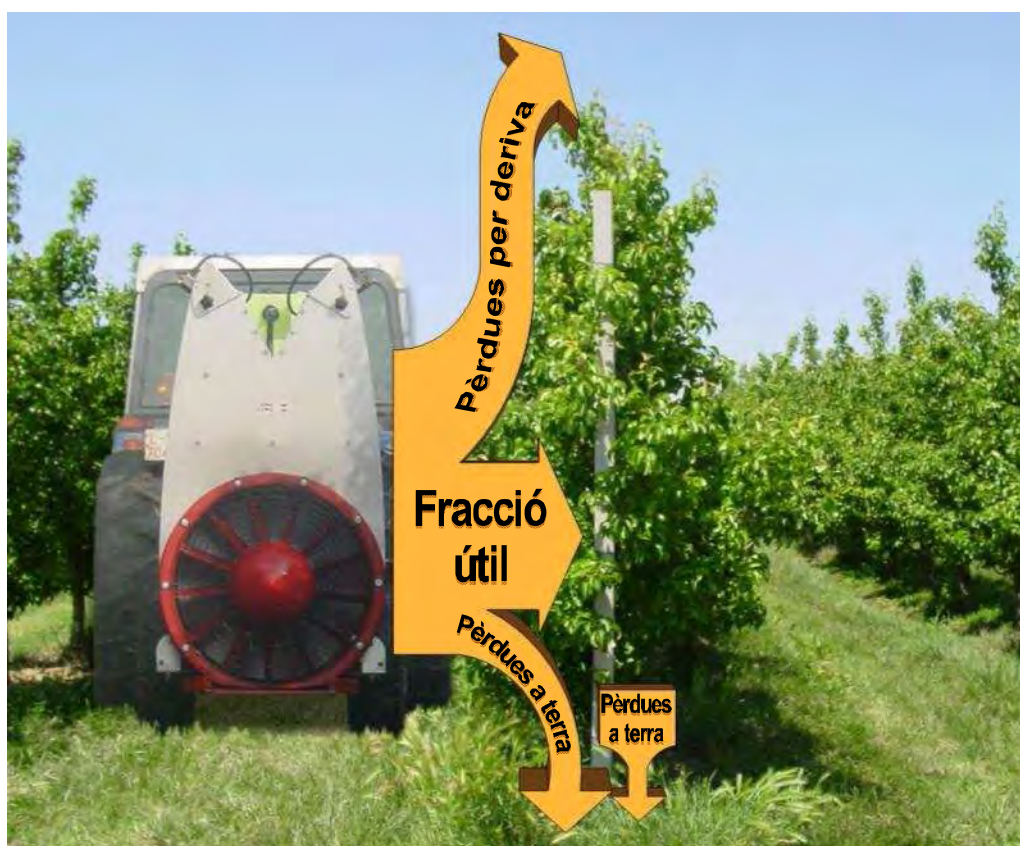


Una altra reflexió que cal fer és com aplicar alguns dels principis de l'agricultura de precisió a l'aplicació de productes fitosanitaris. Fins a l'actualitat, els tractaments fitosanitaris han tingut per objectiu dipositar una determinada quantitat de matèria activa sobre les fulles de les capçades amb una certa homogeneïtat. Tanmateix, les plagues i malalties dels conreus no es distribueixen homogèniament per la plantació sinó que la infestació va evolucionant al llarg del temps en funció de factors diversos. Aquí s'obre una línia de treball important que consisteix en detectar les zones de la vegetació afectades per plagues o malalties i el seu grau d'infestació. Alguns investigadors ja han encetat línies de recerca en fruiters (van de Zande *et al.*, 2007) i en conreus herbacis (Jordán i Navas, 2007) aplicant tècniques de radiometria. D'aquesta manera es podria adaptar la dosi

aplicada al veritable objectiu dels tractaments fitosanitaris: la plaga o malaltia que afecta el seu rendiment o la qualitat dels productes obtinguts.

### 2.4.3 Paràmetres que intervenen en l'aplicació de fitosanitaris en fructicultura

Els paràmetres que intervenen en el procés d'aplicació de productes fitosanitaris per polvorització hidràulica a la capçada dels arbres són molts i diversos. El procés en qüestió consisteix en distribuir una petita quantitat de matèria activa en una gran quantitat de vegetació. Per a aconseguir aquest objectiu es procedeix a elaborar un brou fitosanitari a partir de la incorporació del preparat al dipòsit de l'equip d'aplicació, generalment ple d'aigua. A continuació es polvoritza el brou en forma de petites gotes mitjançant dispositius diversos, generalment broquets hidràulics. Una vegada creades les gotes, aquestes s'han de desplaçar fins a arribar a la capçada dels arbres on hi penetren en més o menys mesura. Una fracció d'aquestes gotes es dipositarà sobre fulles, branques o tronc, esdevenint la fracció útil que permetrà el control de la plaga o malaltia. Una altra fracció acabarà dipositant-se a terra. En aquesta fracció s'hi inclouen les gotes que, sense haver arribat a la capçada es dipositen a terra directament des del polvoritzador, les gotes que, havent-se dipositat en la capçada, acaben degotant fins a terra i les gotes que, havent penetrat la capçada, la travessen completament sense dipositar-se en ella i acaben fent-ho a terra. La darrera fracció, la restant, consta de gotes que no es dipositen ni a la capçada ni a terra, perdent-se a l'atmosfera o evaporant-se en el trajecte des del polvoritzador, esdevenint la fracció de pèrdues per deriva (Figura 2.6).



**Figura 2.6.-** Esquema de la distribució del brou fitosanitari aplicat a una fila d'una plantació fructícola (adaptada de Planas i Pons, 1991).



### 2.4.3.1 Variabilitat de la deposició

La fracció útil es distribueix en la capçada en forma de petits dipòsits sobre la superfície foliar. Aquesta deposició s'expressa en quantitat de producte per unitat de superfície foliar. Tanmateix, la unitat mínima de mesura en els assajos de camp acostuma a ser una fulla o bé una mostra composta per un conjunt de fulles. La distribució estadística dels valors de deposició aconseguits en un mateix tractament conforma la seva variabilitat.

Diversos autors han analitzat la variabilitat de les deposicions aconseguides en un tractament fitosanitari. Alguns d'ells arriben a manifestar que el procés té un component altament aleatori donat que és pràcticament impossible aconseguir els mateixos resultats en dos tractaments diferents (Kaul *et al.*, 1996; Koch i Weisser, 2000). Cross *et al.* (1997a; 1997b) van detectar en els seus assajos que el component que aportava més variabilitat a les deposicions eren les diferències de producte dipositat entre fulles i entre zones de mostratge. Xu *et al.* (2006), en canvi, van determinar que el factor que aportava més variabilitat eren les diferències de deposició entre zones de la plantació. Cross *et al.* (1997a) van realitzar diversos assajos per a establir el comportament de la deposició i la deriva enfront de paràmetres com el volum d'aplicació unitari, la mida de les gotes polvoritzades, la velocitat d'avanç de l'equip, el cabal d'aire utilitzat i l'estructura de la plantació. Argumenten que el model TRV és massa simplista donat que no té en compte tots els factors que intervenen en el procés i insten a la comunitat a dissenyar un model que els tingui tots en compte. Fruit d'aquesta demanda, els autors van continuar treballant fins a desenvolupar els models d'expressió de la dosi en funció de la densitat foliar descrits en l'apartat anterior. Més endavant, altres autors també van elaborar un model per a determinar la deposició a partir de la dinàmica de fluids computacional (Delele *et al.*, 2007; Melese-Endalew *et al.*, 2008). Aquest model es va desenvolupar per tal d'optimitzar el disseny de polvoritzadors. Tanmateix, el model no està enllestit del tot i, a més, només té en compte el vent, el flux d'aire generat pel ventilador i una estructura virtual esquemàtica que simula un arbre de la plantació. El principal problema de l'aplicació de productes fitosanitaris en fructicultura és el gran nombre de factors que intervenen en el procés i les interaccions que es creen entre ells. La gran variabilitat de les deposicions fa que sigui difícil extreure conclusions sobre l'efecte de cadascun dels factors. Les interaccions entre els diferents factors fan que sigui molt difícil establir relacions de causa-efecte senzilles (Stover *et al.*, 2002). Els autors fan una revisió exhaustiva dels diferents factors que intervenen en el procés de distribució de productes fitosanitaris en plantacions arbòries.

### 2.4.3.2 Eficiència d'aplicació

La ràtio entre la fracció útil i la quantitat total de producte polvoritzat s'anomena eficiència d'aplicació. L'objectiu de tot tractament és aconseguir una eficiència el més alta possible. Les fraccions de pèrdues són elevades degut a la gran quantitat de factors que intervenen i a la variabilitat inherent del mateix procés. Per aquest motiu, molts investigadors han dedicat grans esforços a quantificar aquesta eficiència i a establir mecanismes per a incrementar-la. Herrington *et al.* (1981) van estudiar l'eficiència d'aplicació en diferents tipus de plantacions i amb diversos equips d'aplicació. Els resultats van posar de manifest eficiències molt baixes. En el cas de plantacions de pomers nans en vas, l'eficiència d'aplicació en tractaments sense fulla va ser d'entre el 9% i el 22% en tractaments mecanitzats mentre que amb mitjans manuals va ser 57%. En tractaments amb plena vegetació, cap dels tractaments va passar del 37%. En el cas de plantacions intensives, en tractaments d'hivern es va aconseguir una eficiència d'entre el 6% i el 10% i en plena vegetació d'entre el 25% i el 63%. Juste *et al.* (1990) van analitzar el comportament

de diferents equips d'aplicació en plantacions cítriques valencianes per tal de valorar la possibilitat de mecanitzar els tractaments. L'objectiu dels seus treballs era incrementar l'eficiència econòmica de les aplicacions mecanitzades mantenint o millorant l'eficiència d'aplicació i l'eficàcia dels tractaments manuals. En aquest darrer aspecte van aconseguir bons resultats amb els equips mecànics però van detectar deficiències en la penetració del brou fitosanitari a l'interior de les capçades. A la dècada dels 90 del segle passat es van començar a analitzar els tractaments realitzats en fructicultura a la zona de Lleida (Planas, 1990; Planas i Pons, 1991; Planas, 1997). En aquests treballs es van dur a terme multitud de tractaments en diferents plantacions i mitjans d'aplicació per tal d'analitzar la seva recuperació i la possibilitat de reduir les dosis aplicades mitjançant l'increment de l'eficiència d'aplicació. Els resultats van permetre l'elaboració de recomanacions referents a la disminució dels volums d'aplicació unitaris a utilitzar i a l'ajust de les condicions de treball dels polvoritzadors. Altres autors també arriben a la conclusió que per a augmentar l'eficiència del procés d'aplicació cal adaptar el polvoritzador a l'objectiu a tractar i polvoritzar volums d'aplicació menors (Cunningham i Harden, 1999; Gil, 2001b).

Donat que l'eficiència d'aplicació es defineix com la quantitat de producte dipositada respecte del total aplicat, hi ha dos enfocaments possibles per a incrementar l'eficiència d'aplicació: l'increment de la fracció útil o la disminució de les pèrdues (a terra i/o deriva). En relació amb l'increment de la fracció útil, Holloway *et al.* (2000), per exemple, estudien diversos adjuvants per a millorar la retenció de brou per part de la capçada, aconseguint millors resultats que emprant aigua sola. Altres autors modifiquen aspectes del polvoritzador com el grup d'aire per a millorar la penetració del brou i incrementar la deposició a les zones internes de la capçada (Planas *et al.*, 1998; Planas, 1998; Furness *et al.*, 2006). En referència a la disminució de les pèrdues, molts són els autors que han estudiat el fenomen de la deriva i la seva mitigació. Les solucions adoptades passen per adaptar les sortides de líquid i/o d'aire a l'estructura de la plantació utilitzant deflectors, panells recuperadors o, fins i tot, túnels de polvorització (Morgan, 1981; Doruchowski i Holownicki, 2000; Solanelles *et al.*, 2001a; Planas *et al.*, 2002a; Planas *et al.*, 2002b; Viret *et al.*, 2003; entre altres). Una altra opció és l'adoptada per altres investigadors consistent en reduir la quantitat de producte no aplicat sobre l'objectiu mitjançant dispositius electrònics. La incorporació de sensors ha permès detectar la capçada de manera electrònica i només aplicar producte fitosanitari en la seva presència. Aquesta tècnica no redueix la quantitat de producte aplicat a la capçada però sí el total emès pel polvoritzador, permetent incrementar l'eficiència d'aplicació sense perjudicar l'eficàcia dels tractaments (veure apartat 2.6.2.2 Dosificació variable selectiva).

### 2.4.3.3 Deriva

El cas de la deriva té una doble vessant en les aplicacions de productes fitosanitaris. Per un costat és un factor que disminueix l'eficiència d'aplicació i, per tant, genera un sobrecost al fructicultor. D'altra banda, la deriva és producte fitosanitari que no es diposita sobre l'objectiu i, per tant, pot fer-ho en qualsevol altre lloc amb el risc mediambiental que això suposa. Les causes de la deriva són diverses i, per tant, la seva reducció en els tractaments fitosanitaris cal abordar-la tenint en compte diversos factors. Fox *et al.* (1998) fan una revisió exhaustiva dels factors que intervenen en la seva generació en plantacions de cítrics i proposen mesures per a mitigar-la amb una estimació del seu efecte. El primer factor és la formació dels citricultors i consideren que podria reduir la deriva fins un 20%. El següent factor consisteix en realitzar aplicacions controlades a les vores de la parcel·la, fet que permetria reduccions d'entre el 40% i el 50%. La reducció de la quantitat de producte fitosanitari emprada, ja sigui reduint el nombre d'aplicacions o la dosi utilitzada permetria

estalviar d'un 15% a un 20%. La utilització de sensors per a l'aplicació selectiva reduiria entre un 20% i un 25% la deriva. Ganzelmeier i Rautmann (2000) i Giles (2004) estimen aquesta reducció entre un 25% i un 50% i Koch i Weisser (2000) aconseguen reduccions del 50%. L'adopció d'una zona de seguretat sense tractar als marges de la parcel·la permetria la reducció d'un 15% a un 20% de la deriva. La utilització de polvoritzadors amb panells recuperadors o de tipus túnel comporta reduccions de la deriva d'entre el 10% i el 80%. La modificació de la mida de gota polvoritzada segons les condicions meteorològiques té un potencial de reducció del 10% al 15%. Una altra solució és la plantació de murs vegetals de gran alçada per a evitar que la deriva surti de la plantació, la seva efectivitat seria del 20% al 40% (aquesta mesura també la promouen Cross i Walklate, 1996). Finalment, la utilització del sistema de reg per a l'aplicació de productes fitosanitaris reduiria la deriva en un 20% encara que caldria analitzar la distribució del producte en la capçada. Xu i Walklate (1996) i Solanelles (2009), entre d'altres, argumenten que és possible reduir la deriva incrementant la velocitat d'avanç de l'equip i reduint el cabal d'aire emès. Balsari i Marucco (2004), entre d'altres, també troben que el cabal d'aire emès afecta a les pèrdues per deriva. Els autors comproven que els tractaments que generen menys deriva són aquells realitzats en vinyes amb amplades de carrer estretes i amb poc cabal d'aire.

Tanmateix cal tenir en compte les interaccions d'aquests paràmetres amb d'altres factors ja que reduint la deriva es podria disminuir l'eficàcia del tractament. Tot i això, Walklate *et al.* (1996) i Solanelles (2009) indiquen que cal anar en compte ja que aquesta opció podria incrementar la variabilitat de la deposició aconseguida. Altres interaccions són les que apunten Matthews i Thomas (2000). Aquests autors plantegen una paradoxa que s'està donant darrerament. En alguns països d'Europa és obligatori mantenir zones sense tractar als marges de la parcel·la. L'amplada que han de complir aquestes bandes de seguretat depèn de l'equipament utilitzat i de la seva classificació en termes de reducció de deriva. Així les coses, utilitzar broquets de baixa deriva permet treballar amb bandes més estretes. Tanmateix, treballar amb gotes més grosses no sempre permet una bona eficiència d'aplicació del brou fitosanitari i, per tant, caldria incrementar la dosi aplicada. Aquestes modificacions en el tractament poden resultar en un increment del risc d'efectes adversos tals com més pèrdues al terra que podrien arribar a contaminar aigües subterrànies.

#### **2.4.3.4 Tècniques d'aplicació**

El polvoritzador hidropneumàtic convencional és el mitjà d'aplicació més àmpliament utilitzat per a l'aplicació de productes fitosanitaris en fructicultura intensiva. Ha estat demostrat per multitud d'autors que aquest tipus d'equips és altament ineficient i que hi ha variacions molt més adaptades a tal propòsit. Tanmateix, Cross i Walklate (1996) apunten que els fructicultors escullen aquest tipus d'equipament per tres motius: són més econòmics, més senzills d'utilitzar i més versàtils que versions més sofisticades més eficients.

La tècnica d'aplicació escollida així com el polvoritzador utilitzat i la seva regulació són, en gran mesura, responsables de la variabilitat de la deposició a la capçada i, per tant, de la seva eficàcia. Fox *et al.* (2008) fan una revisió de l'evolució dels polvoritzadors per a tractaments en cítrics. Inicialment, les aplicacions es realitzaven manualment amb pistoles o llances. No fou fins als anys 30 del segle passat que no es va incorporar l'assistència d'aire. En aquells primers models, el corrent d'aire es generava amb hèlices d'avions i no va ser fins el 1949 en que es va dissenyar un polvoritzador equipat amb un ventilador axial. Aquell polvoritzador es va utilitzar amb èxit en el

control de plagues de cítrics als Estats Units. A partir de llavors, la tècnica d'aplicació més emprada en fructicultura ha estat la polvorització hidràulica amb assistència d'aire amb els coneguts polvoritzadors hidropneumàtics. Aquest tipus de polvoritzadors poden provocar una gran variabilitat entre les diferents alçades de la capçada i en la seva profunditat. La primera component depèn de si els broquets estan correctament escollits i/o orientats i de si el flux d'aire està correctament dimensionat i enfocat (Farooq i Landers, 2004; Landers i Farooq, 2004). Així mateix, la variabilitat de la deposició en les diferents profunditats és atribuïble a les característiques del corrent d'aire generat, emprat per al transport de les gotes i per a la seva distribució en l'interior de la capçada. La incorporació de l'assistència d'aire en els polvoritzadors per a fruiters va ser clau per a la millora de la protecció de conreus. Tanmateix, Walklate *et al.* (1993) van dir que, en aquell moment, no es coneixen massa bé els fonaments teòrics del procés i van procedir a revisar els models coneguts i a incorporar alguns dels paràmetres relacionats amb la polvorització. La conclusió va ser que la penetració del brou fitosanitari en la capçada és funció de la velocitat inicial del corrent d'aire, l'amplada de la sortida i de la velocitat d'avanç de l'equip. Aquest darrer paràmetre no és crític fins que es rebassa un determinat líndar, a establir per a cada conreu i polvoritzador. Per a aconseguir millor penetració i, per tant, menor variabilitat en les deposicions, és necessari incrementar la velocitat del corrent i l'amplada de la sortida (Cross i Walklate, 1996). Pergher i Gubiani (1995) aconseguen deposicions mitjanes més elevades en vinya quan van emprar volums d'aplicació unitaris i cabals d'aire més reduïts, sense evitar deposicions menors en la zona central dels ceps. Cross *et al.* (1997b) acaben el seu article posant de manifest que és necessari desenvolupar un model matemàtic que relacioni la distribució de la polvorització i de l'aire. Amb aquesta informació es podrien establir correctament els paràmetres dels polvoritzadors per tal de minimitzar la deriva i aconseguir deposicions adients.

Arran d'alguns d'aquests treballs, el 1994 es va posar en marxa un projecte europeu que va finalitzar el 1997 per tal d'avaluar la distribució del producte fitosanitari en la capçada (Planas *et al.*, 1998; Planas, 1998). En els treballs de camp del projecte es van identificar deficiències importants en la penetració del producte a les zones centrals de la capçada. A partir dels resultats obtinguts es va procedir a dissenyar els grups d'aire d'un prototipus per a fruiters i cítrics i un per a vinya que van millorar els resultats inicials obtinguts amb equips comercials convencionals.

Alguns autors intenten relacionar patrons de deposició en la capçada amb distribucions del corrent d'aire emès (De Moor *et al.*, 2000) o amb la distribució de líquid polvoritzat en laboratori (Kaul *et al.*, 1996). Tanmateix, resulta difícil correlacionar resultats obtinguts en condicions real de tractament amb mesures realitzades en laboratori i amb el polvoritzador estàtic. Cross *et al.* (2003), després de diversos assajos de camp, arriben a la conclusió que és possible aconseguir grans reduccions de la deriva sense afectar negativament la variabilitat de les deposicions. Aquestes reduccions s'aconsegueixen reduint el cabal d'aire generat. Tanmateix, la reducció fa que el corrent d'aire emès sigui més vulnerable a les condicions de vent durant els tractaments, fet que pot afectar la penetració de la capçada. Per aquest motiu, els autors adverteixen que aquestes reduccions s'han de fer tenint en compte la velocitat del vent i la densitat foliar de la capçada. Ortí i Val (2006) van relacionar el cabal d'aire utilitzat en plantacions de cítrics amb la deposició mitjana aconseguida sense arribar a cap tendència clara. Les capçades de determinades varietats de cítrics són extremadament difícils de penetrar.

En referència a les millores que es poden introduir en el grup de generació d'aire dels polvoritzadors hidropneumàtics, diversos investigadors han proposat i validat solucions per a millorar la distribució de productes fitosanitaris en la capçada. Una primera aportació fou la

incorporació de deflectors per a dirigir el corrent d'aire per a adaptar-se a les característiques geomètriques de la capçada; una segona aportació fou la substitució de la sortida contínua d'aire per sortides individuals orientables (Holownicki et al., 2000a; Marucco i Tamagnone, 2004; entre altres). Aquest tipus de sortides individuals són les que aconseguen les deposicions més elevades, sempre que s'orientin correctament tots els elements. Una altra aportació és la que van fer Furness et al. (2006). Aquests investigadors van substituir el grup d'aire convencional per diversos ventiladors accionats per motors elèctrics amb un sistema de broquets propi per a cadascun. L'alimentació dels motors es feia a partir d'un alternador connectat a la presa de força del tractor. Aquesta solució va permetre incrementar l'eficiència d'aplicació i la uniformitat del recobriment en plantacions de cítrics australians.

Buscant l'optimització d'un polvoritzador pneumàtic, Gil Sierra *et al.* (2006) desenvolupen un equip que cavalca la fila d'arbres fruiters i realitza el tractament simultàniament a ambdós costats. Aquest disseny permet incrementar la capacitat de treball i l'eficiència d'aplicació. Altres autors desenvolupen polvoritzadors hidropneumàtics equipats amb panells recuperadors per a recollir el brou no dipositat en la capçada i enviar-lo al dipòsit de nou (Morgan, 1981; Solanelles *et al.*, 2001a; Planas *et al.*, 2002a; Planas *et al.*, 2002b; Solanelles, 2009). En els primers estadis vegetatius és quan es poden obtenir estalvis més grans de producte, que poden arribar a ser considerables, com el 50% que van assolir Solanelles (2009). Una intensificació d'aquest sistema són els túnels de polvorització, consistents en una càmera de confinament mòbil que evita en gran mesura que el producte escapi a l'exterior (Göhlich *et al.*, 1996; Hogmire i Peterson, 1997; Heijne *et al.*, 1997b; Planas et al., 2002a; Viret *et al.*, 2003; Solanelles, 2009). El principal avantatge d'aquests sistemes és la poca o nul·la generació de pèrdues per deriva. En contrapartida, si no s'ha fet un bon disseny de la càmera, alguns models poden presentar un repartiment deficient del producte en la capçada. Un inconvenient important d'aquest tipus de polvoritzadors són les seves dimensions i la seva maniobrabilitat, especialment si es desitja utilitzar-los en plantacions com les de la zona de Lleida. Si les mides de la cambra de polvorització no són suficients es corre el risc de no permetre una correcta obertura dels raigs de polvorització i no fer una bona distribució del producte.

Finalment, una tècnica d'aplicació que va tenir un alt grau de desenvolupament en les dècades dels anys 80 i 90 del segle XX va ser la polvorització amb gotes carregades elèctricament (Morgan, 1981; Campbell *et al.*, 1988; Matthews, 1989). Tanmateix, aquesta tècnica no ha tingut èxit comercial a la zona de Lleida ni a la resta de zones de la península ibèrica.

#### **2.4.3.5 Volum d'aplicació unitari**

El volum d'aplicació unitari és aquella quantitat de brou fitosanitari aplicada per unitat de superfície conreada. Aquest brou és l'encarregat de transportar la matèria activa des del dipòsit del polvoritzador fins a la capçada objectiu. Des dels inicis de l'aplicació mecanitzada de productes fitosanitaris, diversos investigadors s'han dedicat a determinar quin era volum d'aplicació unitari que donava la màxima deposició (Travis *et al.*, 1987b; Planas i Pons, 1991; Val *et al.*, 1994; Kaul *et al.*, 1996; entre molts d'altres). Cross *et al.* (2001b) van fer un estudi exhaustiu en les plantacions fruiteres britàniques. Aquests autors arriben a la conclusió que, sempre que es treballi amb els paràmetres adients, grans variacions en el volum d'aplicació unitari no impliquen grans canvis en la deposició aconseguida. Tanmateix, detecten que quan es treballa amb volums d'aplicació unitari reduïts el que sí que es veu afectat és el recobriment. Per a dur a terme bons

tractaments caldria dosificar tenint en compte aquest paràmetre. Actualment, però, no es coneix l'efecte d'aquest paràmetre en l'eficàcia dels productes fitosanitaris i, per tant, caldria treballar en aquesta línia de recerca.

Barber i Landers (2002) van fer un treball de recopilació i anàlisi quantitativa dels resultats publicats per altres investigadors en referència a la determinació del volum d'aplicació unitari òptim. Tot i que normalitzen els diferents resultats per tal de fer-los comparables entre sí, els autors manifesten que és molt difícil la comparació degut al gran nombre de paràmetres que afecten el procés i que, en moltes ocasions, no queden perfectament recollits en el poc espai que permeten els articles científics. Tanmateix, arriben a la conclusió que els efectes del volum d'aplicació són altament variables i que els volums baixos són els que tendeixen a presentar millors resultats tant des del punt de vista de la distribució del producte en la capçada com per la seva eficàcia davant la plaga o malaltia.

Dins del projecte PULVEXACT (veure apartat 2.4.4.2) es va estudiar l'efecte de tres volums d'aplicació unitaris (alt, mig i baix) sobre la deposició aconseguida en plantacions intensives de pomers, perers, cítrics i vinya de la zona mediterrània. Per tal d'analitzar aquest efecte, es van dur a terme els tractaments amb diferents volums d'aplicació unitaris. Els tractaments es van dissenyar per a aplicar la mateixa dosi mantenint el més semblants possible la resta de paràmetres (mateixes capçades, mateix polvoritzador, igual velocitat d'avanç, mida de gota semblant i condicions meteorològiques similars). En plantacions fruíteres (Escolà *et al.*, 2006; Solanelles *et al.*, 2007) i en vinya (Gil *et al.*, 2005), els resultats no presentaven una tendència clara favorable als tractaments amb alt, mig o baix volum d'aplicació. Es va considerar que, si no hi havia cap interacció amb altres paràmetres, el volum d'aplicació no comporta diferències importants en la deposició sempre que es mantingui en uns límits raonables (a establir per a cada cas). En determinades situacions, l'efecte sobre la deposició quan es treballa amb volums d'aplicació diferents és més atribuïble a canvis no controlats en altres paràmetres (com la mida de gota o la velocitat d'avanç, etc.) que al mateix volum d'aplicació. En les plantacions de quatre varietats de cítrics, però, el volum d'aplicació unitari sí que va afectar la deposició aconseguida: com més alt va ser el volum d'aplicació més deposició es va aconseguir. Aquests fet és degut a la diferent estructura i la gran frondositat que presenten les seves capçades, amb IAF de fins a 6.

#### **2.4.3.6 Paràmetres de la capçada**

Una de les causes de l'alta variabilitat en les deposicions és la capçada mateixa i, més concretament, la seva estructura i la seva densitat foliar. Aquestes variables juntament amb la seva interacció amb els equips d'aplicació donen lloc a diferències entre deposicions en les tres dimensions de l'espai: l'alçada, l'amplada i la llargada de la capçada. Als anys 80 del segle passat ja es van posar de manifest les primeres correlacions entre deposició i volum de capçada i densitat foliar (Byers *et al.*, 1971; Byers *et al.*, 1984; Travis *et al.*, 1987a). Hall (1991) s'adonen de l'important paper de la variabilitat interplantació de la capçada en la variabilitat de les deposicions. Davant d'aquest fet proposen que els agricultors adaptin els paràmetres de treball abans de tractar cadascuna de les seves parcel·les si aquestes presenten diferències en el conreu, edat o estructura i frondositat de la capçada. Walklate *et al.* (1996b) van analitzar el comportament del flux d'aire en penetrar una capçada artificial i van arribar a la conclusió que aquest paràmetre és inversament proporcional a la densitat del conreu segons una funció exponencial. En treballs posteriors, aquests autors van correlacionar deposicions aconseguides amb paràmetres de la

capçada estimats amb mitjans electrònics. Els paràmetres amb efectes més significatius sobre la deposició van ser la densitat foliar, l'alçada i l'amplada de la capçada i la separació entre files d'arbres (Walklate *et al.*, 2000a; Walklate *et al.*, 2003a; Walklate *et al.*, 2003b; Walklate *et al.*, 2006a; Cross i Walklate, 2008). Els aspectes relacionats amb la penetració del brou a la capçada ja s'han tractat a l'apartat 2.4.3.4 Tècniques d'aplicació quan s'analitzava l'efecte del corrent d'aire generat sobre la deposició.

#### 2.4.3.7 Mida de gota

La mida de les gotes utilitzades en l'aplicació de productes fitosanitaris pot tenir un efecte important tant en la deposició de producte sobre les fulles i la seva variabilitat com en les pèrdues a terra i per deriva. Salyani *et al.* (1987) van desenvolupar una metodologia per a determinar la mida de gota que donava la màxima eficiència d'aplicació. En posar en pràctica aquesta metodologia van determinar que la mida de gota més eficient era de 400  $\mu\text{m}$ . En treballs posteriors, Salyani (2000) va observar que, en general, l'eficiència d'aplicació s'incrementava en utilitzar broquets de gota més petita. En aplicacions amb volums d'aplicació baixos, l'ús de pocs broquets de gota petita a velocitats d'avanç baixes era més eficient que utilitzar més broquets amb velocitats d'avanç més elevades. La tendència s'invertia per a broquets de gotes més grans i alts volums d'aplicació. Cross *et al.* (2001) van dur a terme uns assajos per tal de determinar únicament l'efecte de la mida de gota sobre la deposició de producte fitosanitari. A tal efecte van tractar tres tipus de plantacions (una plantació amb arbres petits i joves, una plantació amb arbres petits adults i una plantació amb arbres mitjans) amb gotes de mida molt fina (DMV= 156  $\mu\text{m}$ ), fina (DMV= 198  $\mu\text{m}$ ) i mitjana (DMV= 237  $\mu\text{m}$ ). Els investigadors van arribar a la conclusió que les variacions de les mides de gota estudiades no van comportar una afectació important en la distribució del producte a nivell de fracció útil i fraccions de pèrdues. Tanmateix, la utilització de gotes més grosses va donar una deposició mitjana lleugerament major i unes pèrdues menors. Des d'aquest punt de vista es podria dir que aquest tipus de polvorització és millor. Tot i això, gotes més grans donen recobriments menors i, per tant, alguns productes podrien veure compromesa la seva eficàcia biològica. Els autors no van més enllà però manifesten que cal analitzar la distribució de la polvorització sobre la fulla per tal d'avaluar l'efecte d'aquest paràmetre sobre l'eficàcia biològica dels diferents tipus de productes.

Solanelles *et al.* (2001b) i Solanelles (2009) van comparar tres tipus de broquets de baixa deriva amb broquets cònics convencionals en plantacions de perers. Dels tres tipus de broquets assajats, dos eren de vano i d'inclusió d'aire. El tercer era de tipus cònic amb inclusió d'aire. Els resultats assolits van ser equivalents als obtinguts amb el broquet convencional en termes de deposició en la capçada, si bé el broquet cònic de baixa deriva, el que genera gotes més grosses, va tenir alguna dificultat en les parts altes de la capçada. En termes de reducció de deriva, tots tres van aconseguir reduir significativament la deriva, essent el broquet cònic de baixa deriva el que va obtenir majors reduccions.

Balsari i Marucco (2004) van analitzar la deriva dipositada a terra, fora de la parcel·la de vinya tractada, generada per diverses aplicacions amb diferent mida de gota. Els resultats van posar de manifest una influència important de les característiques de la capçada. La vinya amb el marc de plantació més estret i la capçada més compacta va provocar menys deriva que vinyes amb marcs més amplis i capçades més obertes. En tots els casos, la deriva va ser major quan es van utilitzar

gotes fines i cabals d'aire elevats. La utilització de broquets d'inclusió d'aire va comportar reduccions de la deriva de fins el 37% respecte del tractament de referència.

## 2.4.4 Projectes sobre noves tecnologies i aplicació de fitosanitaris en fructicultura

En els següents apartats es descriuen cinc projectes de recerca centrats específicament en l'agricultura de precisió aplicada a la fructicultura. Dos d'ells ja han acabat i la resta estan actualment en curs. Els projectes conclosos han fet aportacions importants en aquest camp i dels que estan en marxa se n'esperen resultats interessants. Els projectes apareixen per ordre cronològic.

### 2.4.4.1 Projecte PRECISPRAY

El projecte *Tree shape and foliage volume map guided precision orchard sprayer*, també anomenat PRECISPRAY, va ser un projecte molt ambiciós dirigit a l'ajust de la dosi de productes fitosanitaris a aplicar en plantacions arbòries i a millorar la tècnica de la seva d'aplicació per tal de reduir al màxim les pèrdues de producte i, per tant, la contaminació ambiental i els costos d'explotació. Les dades del projecte es relacionen a la Taula 2.6. La descripció oficial del projecte és la següent:

«Determinar el volum d'aplicació unitari i la direcció de la polvorització a partir de la mida i forma dels arbres pot reduir l'aplicació de productes fitosanitaris i, per tant, els costos de l'operació i la contaminació ambiental en un 30% o més. Es proposa un polvoritzador de precisió amb dosificació variable guiat per mapes de volum de vegetació i forma de la capçada. Els mapes d'arbres s'obtiniran mitjançant un nou mètode de reconeixement aeri en 3D adaptat d'aplicacions en el camp de la defensa i els incorporarà com a capes d'informació en un sistema d'informació geogràfica per a la protecció dels conreus i el maneig de plantacions. El mòdul de guiatge del polvoritzador regularà el cabal polvoritzat i la seva direcció d'acord amb l'estructura de la capçada. La base de dades del SIG serà capaç de monitorar infestacions de plagues, utilitzar sistemes de suport a la decisió i decidir el maneig per a la protecció dels arbres i realitzar registres automàtics detallats de les aplicacions realitzades a partir de la informació generada pel sistema de guiatge.»

Taula 2.6.- Dades del projecte *Tree shape and foliage volume map guided precision orchard sprayer*, PRECISPRAY.

<b>Títol del projecte</b>	<i>Tree shape and foliage volume map guided precision orchard sprayer</i>		
<b>Acrònim</b>	PRECISPRAY		
<b>Data d'inici</b>	01/02/2000	<b>Data de finalització</b>	31/01/2004
<b>Cost del projecte</b>	2.920.000€	<b>Cost subvencionat</b>	1.660.000€
<b>Entitat financeradora</b>	Unió Europea		
<b>Tipus de programa</b>	5è programa marc (FP5)		
<b>Acrònim del programa</b>	LIFE QUALITY		
<b>Subprograma</b>	<i>Key action Sustainable Agriculture, Fisheries and Forestry</i>		
<b>Referència</b>	QLK5-CT-1999-01630		
<b>IP - Coordinació (País)</b>	Dr. Moshe Meronmigel - Galilee Technology Center, LTD (Israel)		
<b>Altre centre (País)</b>	Praktijkonderzoek Plant and Omgeving B.V. (Països Baixos)		
<b>Altre centre (País)</b>	Gisha System LTD (Israel)		
<b>Altre centre (País)</b>	Landesanstalt fuer Pflanzenbau und Pflanzenschutz (Alemanya)		
<b>Altre centre (País)</b>	Hardi International AS (Dinamarca)		
<b>Altre centre (País)</b>	The Agricultural Research Organisation of Israel (Israel)		
<b>Altre centre (País)</b>	APAC - NATAV LTD (Israel)		



PRECISPRAY és un projecte emmarcat en la pràctica de l'agricultura de precisió basada en mapes digitals d'informació. El projecte engloba tot el procés d'aquesta metodologia: l'adquisició de la informació, la generació dels mapes, la presa de decisions i la dosificació variable de productes fitosanitaris amb un polvoritzador dissenyat a tal efecte.

El paràmetres que es tenen en compte en la decisió de la dosi a aplicar són la posició dels arbres, el volum de capçada i la forma de les capçades. La informació de partida per a l'elaboració dels mapes és imatgeria aèria estereoscòpica en les bandes visibles de l'espectre electromagnètic, és a dir, fotografies consecutives amb un determinat grau de solapament del camp de visió (Meron *et al.*, 2000). Aquest solapament de les imatges permet crear un model d'elevació de la plantació a partir dels mètodes desenvolupats en el projecte (Shimborsky i Meron, 2001; Shimborsky, 2003).

El resultat obtingut és analitzat en un sistema d'informació geogràfica específic anomenat OMGIS (sigla de *Orchard Management Geographic Information System*) elaborat durant el projecte. Aquest SIG permet monitorar les plantacions modelitzades i generar els mapes d'aplicació de productes fitosanitaris corresponents mitjançant quatre mòduls diferents: el d'entrada de dades d'exploracions sobre el terreny, el d'anàlisi espacial de la informació, el sistema de suport a la decisió i el mòdul d'aplicació. Bàsicament, els tres primers mòduls permeten la representació espacial de les plagues detectades mitjançant exploració sobre el terreny i decidir si és necessari o no realitzar un tractament i amb quin producte i preparació. Finalment, el mòdul d'aplicació integra tota la informació dels mòduls anteriors amb els mapes de posició dels arbres i de volum i forma de la capçada per tal d'elaborar un mapa d'aplicació que haurà d'executar el polvoritzador dissenyat en el projecte. En aquest mapa hi ha reflectida la quantitat de producte a aplicar en cada punt de la parcel·la i la distància dels broquets a la capçada (Hetzroni *et al.*, 2003).

Els investigadors del projecte identifiquen tres paràmetres com a importants durant el procés d'aplicació per tal de garantir una bona deposició del producte fitosanitari i reduir-ne les pèrdues: la distància entre els broquets polvoritzadors i la capçada, el cabal de producte polvoritzat i el cabal d'aire emès. El polvoritzador que es dissenya tindrà, per tant, la capacitat de variar en temps real aquests tres paràmetres. Per tal d'aconseguir un bon seguiment de la forma de la capçada, l'arc de polvorització s'ha dividit en cinc seccions independents. Cadascuna d'aquestes seccions consta d'una sortida d'aire i tres broquets i és capaç de modificar els tres paràmetres esmentats. La regulació d'aquests tres paràmetres vindrà determinada per la posició del polvoritzador en la parcel·la (dada obtinguda amb un sistema de posicionament del tipus *Real Time Kinematic Differential GPS*, RTK-DGPS) i pel mapa d'aplicació generat pel programa OMGIS (van de Zande *et al.*, 2001; Meron *et al.*, 2003; van de Zande *et al.*, 2003).

El projecte PRECISPRAY va demostrar que és possible aconseguir estalvis de producte fitosanitari d'entre el 20% i el 36% no només sense reduir la seva eficàcia sinó, en alguns casos, incrementant-la aconseguint majors deposicions en la part més alta dels arbres (Heijne *et al.*, 2004). Aquesta reducció de la contaminació i dels costos de l'explotació és possible gràcies a la incorporació de tecnologies de la informació i a l'automatització de processos en les operacions de distribució de productes fitosanitaris. Els resultats aconseguits per PRECISPRAY són un incentiu per a continuar treballant en aquesta línia de desenvolupament. Com a millora possible del sistema, proposen el desenvolupament de sensors per a la detecció de la densitat foliar de la capçada en temps reals per tal de defugir els inconvenients derivats de la metodologia basada en mapes digitals d'informació com la necessitat de realitzar vols fotogràfics cada vegada que s'ha de fer un tractament per a no treballar amb mapes de capçada obsolets (van de Zande *et al.*, 2008).

El projecte PRECISPRAY és un precedent important del present treball de recerca que subratlla la necessitat de desenvolupar la línia de treball de la dosificació variable de productes fitosanitaris especialment amb sensors que caracteritzin la capçada en temps real.

#### 2.4.4.2 Projecte PULVEXACT

El projecte *Ajuste de la dosis de producto fitosanitario en tratamientos de cultivos arbóreos (frutales, viñedo y cítricos)*, també anomenat PULVEXACT, va ser un projecte coordinat pel Centre de Mecanització Agrària del Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural de la Generalitat de Catalunya. En el projecte també hi van participar el Departament d'Enginyeria Agroforestal de la Universitat de Lleida, el Departament d'Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia de la Universitat Politècnica de Catalunya i el Departament de Mecanització i Tecnologia Agrària de la Universitat Politècnica de València. Aquest projecte es pot considerar, en part, hereu del projecte *Desarrollo de túneles y sistema electrónicos de control de la pulverización*, amb referència AGF1998-0348-C03-02 en el que l'investigador principal fou Francesc Solanelles. Les dades del projecte PULVEXACT es relacionen a la Taula 2.7. La tesi doctoral que es presenta s'ha desenvolupat, en part, en el marc d'aquest projecte.

**Taula 2.7.-** Dades del projecte *Ajuste de la dosis de producto fitosanitario en tratamientos de cultivos arbóreos (frutales, viñedo y cítricos)*, PULVEXACT.

<b>Títol del projecte coordinat</b>	<i>Ajuste de la dosis de producto fitosanitario en tratamientos de cultivos arbóreos (frutales, viñedo y cítricos).</i>		
<b>Acrònim</b>	PULVEXACT		
<b>Subprojecte 01</b>	<i>Ajuste de la dosis de producto fitosanitario en tratamientos de cultivos arbóreos (frutales).</i>		
<b>Subprojecte 02</b>	<i>Sistema de caracterización paramétrica de cultivos y regulación "on line" y diseño de un pulverizador "inteligente".</i>		
<b>Subprojecte 03</b>	<i>Implementación de un sistema de decisión de la dosis de producto fitosanitario en tratamientos en viñedo.</i>		
<b>Subprojecte 04</b>	<i>Implementación de un sistema de decisión del volumen unitario en tratamientos fitosanitarios de cítricos.</i>		
<b>Data d'inici</b>	01/12/2002	<b>Data de finalització</b>	30/11/2005
<b>Cost del projecte</b>	345.752€	<b>Cost subvencionat</b>	345.752€
<b>Entitat finançadora</b>	<i>Ministerio de Educación y Ciencia</i>		
<b>Tipus de projecte</b>	<i>Proyectos de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico</i>		
<b>Programa</b>	<i>Recursos y Tecnologías Agroalimentarias</i>		
<b>Referència</b>	AGL2002-04260-C04-01, -02, -03 i -04		
<b>IP - Coordinació 01</b>	Dr. Santiago Planas de Martí - Centre de Mecanització Agrària (Generalitat de Catalunya)		
<b>Centre 02</b>	Dr. Joan Ramon Rosell Polo - Universitat de Lleida		
<b>Centre 03</b>	Dr. Emilio Gil Moya - Universitat Politècnica de Catalunya		
<b>Centre 04</b>	Dr. Luís Val Manterola - Universitat Politècnica de València		

La descripció oficial del projecte coordinat és la següent:

«Es tracta d'establir procediments per a l'ajust precís de la dosi de productes fitosanitaris en els tractaments per polvorització en plantacions arbòries de les espècies conreades a Espanya que suposen un major consum (absolut i relatiu) de productes fitosanitaris (fruiters, vinya i cítrics). D'una part, es dissenyarà un protocol per a agricultors i assessors en sanitat vegetal basat en la caracterització de les plantacions (espècie, varietat, sistema de formació, edat,

vigor, període vegetatiu, marc de plantació, altura, profunditat, geometria de contorn, índex d'esfericitat, IAF...). Aquest protocol podria ser incorporat en les etiquetes dels envasos de fitosanitaris. Un segon procediment d'ajust de dosi suposarà l'ús d'un equip capaç de discriminar volums unitaris durant el tractament (regulació dinàmica) gràcies a sensors embarcats, un sistema d'adquisició i procés de dades, l'elaboració d'ordres i, finalment, actuadors (vàlvules proporcionals). El projecte suposarà l'execució d'assajos de camp, la creació d'una base de dades i d'un model matemàtic, el disseny dels sistemes de decisió i el seu ajust i validació posterior en camp. El desenvolupament de l'esmentat treball permetrà l'ajust de la dosi a les necessitats estrictes del control químic de plagues i malalties en els conreus citats. Indubtablement, això ha de reportar una reducció sensible de l'impacte ambiental dels tractaments, una major seguretat alimentària de les produccions i un major control dels costos de les explotacions agràries.»

Els resultats del projecte PULVEXACT han estat diversos (Planas *et al.*, 2006c; Planas, 2007). Per un costat s'ha desenvolupat una eina que permet mesurar electrònicament la capçada de la plantació i extreure'n diversos paràmetres. L'eina consta d'un sensor làser que utilitza la tecnologia lidar per tal d'estimar la distància a la que es troba la capçada. Aquesta operació la realitza diverses vegades en un mateix pla vertical amb la qual cosa s'obté un perfil de la capçada d'una alta resolució (aproximadament es realitza una mesura aproximadament cada 3 centímetres verticals i 3 centímetres horitzontals). Els resultats obtinguts es poden relacionar directament amb la superfície foliar del tram analitzat en les diferents espècies analitzades (Rosell *et al.*, 2004; Sanz *et al.*, 2004; Llorens, 2005; Sanz *et al.*, 2005a; Sanz *et al.*, 2005b; Llorens *et al.*, 2007; Rosell *et al.*, 2009a; Rosell *et al.*, 2009b). Una altra possibilitat és extreure paràmetres de tipus estructural que poden donar idea de la densitat de la capçada mitjançant el càlculs de diferents índexs (Arnó *et al.*, 2006; Arnó *et al.*, 2009). Aquests treballs han donat lloc a dues tesis doctorals presentades a la Universitat de Lleida centrades totalment (Sanz, 2008) o parcialment (Arnó, 2008) en aquesta temàtica. També es van realitzar mesures amb sensors d'ultrasons. Els resultats obtinguts van ser satisfactoris però la resolució vertical obtinguda és baixa i no és comparable amb la del sensor lidar (Escolà *et al.*, 2005). La caracterització electrònica de la capçada es tractarà amb més profunditat a l'apartat 2.5.

D'altra banda, es van dur a terme multitud d'assajos per a determinar quin era el volum d'aplicació unitari (volum de brou fitosanitari per a transportar la matèria activa per unitat de superfície) més adequat per a cada plantació i estat vegetatiu arribant a la conclusió genèrica per a plantacions fruïteres i vinya que, si el tractament es realitza amb els equips adequats i amb els paràmetres de regulació idonis, el volum d'aplicació unitari no té una influència significativa en la deposició de matèria activa (Gil *et al.*, 2005; Escolà *et al.*, 2006; Solanelles *et al.*, 2007). En plantacions de cítrics, però, el volum d'aplicació unitari seleccionat sí que influencia la quantitat de matèria activa dipositada. És per aquest motiu que cal adaptar el volum d'aplicació unitari a la mida dels arbres tractats (Ortí *et al.*, 2005b; Ortí *et al.*, 2005c; Ortí i Val, 2006).

Amb a aquesta informació de partida es van proposar dues estratègies per a ajustar la dosi de producte fitosanitari a aplicar. La primera consisteix en un sistema de suport a la decisió que, una vegada introduïda la informació del conreu, de la plaga i del polvoritzador que requereix el sistema, retorna el volum d'aplicació unitari més adient a la plantació que es vol tractar. Els sistemes desenvolupats es van anomenar Dosaviña, Dosafruit i Dosacítric per a vinya, fruïters i cítrics respectivament. El sistema de suport a la decisió Dosaviña s'havia començat a desenvolupar abans del projecte (Gil, 2003) però durant el transcurs de PULVEXACT es va poder perfeccionar. Les versions per a fruïters i cítrics es van desenvolupar a partir de la primera versió per a vinya (Planas *et al.*, 2004a; Planas *et al.*, 2004b; Solanelles *et al.*, 2004a; Planas *et al.*, 2006b; Planas, 2007; Gil i Escolà, 2009).

La segona estratègia proposada va ser l'ajust de la dosi d'aplicació en temps real en funció de la capçada detectada mitjançant sensors. Aquesta estratègia és l'objecte d'aquesta tesi doctoral i, per tant, es desenvolupa en els capítols corresponents.

#### 2.4.4.3 Projectes OPTIDOSA

El projecte *Reducción del uso de productos fitosanitarios en cultivos arbóreos. Optimización de las dosis de aplicación en tratamientos mecanizados de cítricos, frutales y vid*, també anomenat OPTIDOSA, és un projecte actualment en actiu. El projecte pretén aprofundir en els resultats obtinguts pel projecte PULVEXACT a més d'elaborar nous models multidimensionals per a determinar la deposició de productes en la capçada i les pèrdues per deriva. El projecte té com a objectiu millorar les tècniques per a la caracterització electrònica de la capçada desenvolupant mètodes per a obtenir més dades de la capçada dels arbres que permetin ajustar millor les dosis de productes fitosanitaris. A més, es vol treballar en la creació de mapes digitals d'informació que mostrin les dades recollides i en la creació de mapes que mostrin les dosis a aplicar en tota la plantació. També es vol millorar el prototipus de polvoritzador dissenyat en el projecte PULVEXACT per a que pugui interpretar els mapes d'aplicació i realitzar aplicacions basades en el mapa d'aplicació corregides pels sensors treballant en temps real.

La descripció oficial del projecte és la següent:

«La recent publicació de la Proposta de Directiva del Parlament Europeu i del Consell per la qual s'estableix el marc d'actuació comunitària per a aconseguir un ús sostenible dels productes fitosanitaris (COM 372 i 373, 2006) crea "un marc per a aconseguir un ús més sostenible dels productes fitosanitaris reduint els riscos i els efectes de l'ús dels mateixos sobre la salut humana i el medi ambient, de forma compatible amb la necessària protecció dels conreus". Concretament en el seu article 13, apartat 1 diu: "Els Estats membres adoptaran totes les mesures necessàries per a fomentar l'agricultura amb un ús reduït de productes fitosanitaris, inclosa la gestió integrada de plagues, i vetllar per que els usuaris professionals de productes fitosanitaris facin un ús de totes les mesures disponibles de protecció dels conreus d'una manera més respectuosa amb el medi ambient."»

En les recomanacions de dosis de les etiquetes de la majoria dels productes fitosanitaris aquestes apareixen com a concentracions de producte en el caldo a distribuir o expressions relacionades amb el volum a distribuir per hectàrea, sense tenir en compte la quantitat i estat de la vegetació sobre la qual s'aplicarà el producte, pel que és difícil per a l'aplicador optimitzar la quantitat de producte que ha d'aplicar sobre el conreu, sobretot quan es tracta d'estructures arbòries. Els fenòmens de deposició i deriva que es produeixen durant l'aplicació mecanitzada dels productes fitosanitaris en plantacions arbòries són extraordinàriament complexos, pel que en els estudis realitzats fins a la data s'han anat aportant solucions parcials. L'objectiu d'aquest projecte és reduir l'ús de productes fitosanitaris en els conreus arboris que actualment consumeixen una major quantitat d'ells a Espanya (cítrics, fruiters i vinya) a través d'una optimització de la dosificació del producte quan és aplicat utilitzant els equips mecànics actualment disponibles. La metodologia inclou la generació de models multidimensionals que integren els fenòmens de deposició i deriva, el desenvolupament de noves tecnologies per a l'estimació de la deriva, la parametrització de les característiques més rellevants de la capçada, la realització d'assajos de camp per a validar els models i estudis per a la modelització de l'eficàcia biològica dels tractaments. Els resultats obtinguts es podran usar com base per a desenvolupar eines informàtiques d'ajuda a la decisió que permetin l'ajust de la dosi d'aplicació, per a dissenyar mesures per a la limitació de la contaminació provocada pels productes fitosanitaris en zones especialment sensibles i per a l'adequació de les etiquetes dels productes a les necessitats reals dels usuaris i a les exigències de conservació mediambiental i per a contribuir a la implementació de protocols de traçabilitat alimentària.»

El centre coordinador és l'Institut Valencià d'Investigacions Agràries (IVIA) de la Conselleria d'Agricultura, Pesca i Alimentació de la Generalitat Valenciana. Els altres centres participants són el Departament d'Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia de la Universitat Politècnica de Catalunya, el Departament d'Enginyeria Agroforestal de la Universitat de Lleida i el Departament de Mecanització i Tecnologia Agrària de la Universitat Politècnica de València. Les dades del projecte OPTIDOSA es relacionen a la Taula 2.8.

**Taula 2.8.-** Dades del projecte Reducció del uso de productos fitosanitarios en cultivos arbóreos. Optimización de las dosis de aplicación en tratamientos mecanizados de cítricos, frutales y vid, OPTIDOSA.

<b>Títol del projecte coordinat</b>	<i>Reducción del uso de productos fitosanitarios en cultivos arbóreos. Optimización de las dosis de aplicación en tratamientos mecanizados de cítricos, frutales y vid.</i>		
<b>Acrònim</b>	OPTIDOSA		
<b>Subprojecte 01</b>	<i>Reducción del uso de productos fitosanitarios en cultivos arbóreos. Generación y validación de modelos de deposición y deriva para el establecimiento de dosis óptimas.</i>		
<b>Subprojecte 02</b>	<i>Reducción del uso de productos fitosanitarios en cultivos arbóreos. Optimización de la dosis de aplicación en tratamientos mecanizados en vid.</i>		
<b>Subprojecte 03</b>	<i>Reducción del uso de productos fitosanitarios en cultivos arbóreos. Optimización de la dosis de aplicación en tratamientos mecanizados de frutales.</i>		
<b>Subprojecte 04</b>	<i>Reducción del uso de productos fitosanitarios en cultivos arbóreos. Optimización de la dosis de aplicación en cítricos.</i>		
<b>Data d'inici</b>	01/10/2007	<b>Data de finalització</b>	04/10/2010
<b>Cost del projecte</b>	550.540€	<b>Cost subvencionat</b>	550.540€
<b>Entitat finançadora</b>	<i>Ministerio de Educación y Ciencia</i>		
<b>Tipus de projecte</b>	<i>Proyectos de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico</i>		
<b>Programa</b>	<i>Recursos y Tecnologías Agroalimentarias</i>		
<b>Referència</b>	AGL2007-66093-C04-01AGR, -02AGR, -03AGR i -04AGR		
<b>IP - Coordinació 01</b>	Dr. Enrique Moltó García - Institut Valencià d'Investigacions Agràries. Generalitat Valenciana		
<b>Centre 02</b>	Dr. Emilio Gil Moya - Universitat Politècnica de Catalunya		
<b>Centre 03</b>	Dr. Joan Ramon Rosell Polo - Universitat de Lleida		
<b>Centre 04</b>	Dr. Luís Val Manterola - Universitat Politècnica de València		

#### 2.4.4.4 Projecte ISAFRUIT

El projecte *Increasing fruit consumption through a trans disciplinary approach leading to High quality produce from environmentally safe, sustainable methods* és un macroprojecte que toca tots els àmbits de la cadena alimentària en la producció fructícola. Un dels seus apartats, el pilar 5.1, s'anomena "Fruita europea segura de medi ambient saludable" i es centra, entre d'altres coses, en millorar les aplicacions de productes fitosanitaris. Les dades del projecte es relacionen a la Taula 2.9.

La descripció oficial del projecte és la següent:

«ISAFRUIT és un projecte integrat amb l'objectiu de millorar la salut de la comunitat europea augmentant el consum de fruita. L'augment del consum s'aconseguirà a través de la satisfacció dels consumidors: ISAFRUIT té per objecte el millor compliment de les preferències dels consumidors amb relació a la qualitat, seguretat, conveniència i disponibilitat de fruites i derivats en el punt de venda. Les tècniques vinculades als consumidors són, per tant, el punt de partida de ISAFRUIT, donant entrada a les altres activitats d'investigació i desenvolupament tecnològic. A més, ISAFRUIT vol augmentar la conscienciació dels consumidors vers els efectes de la fruita en la salut. Les espècies fruteres utilitzades com a models són els pomers i presseguers / nectariners. Activitats en els efectes sobre la qualitat i la salut així com en la conveniència de la fruita processada estimularan l'interès del consumidor en una àmplia gamma de productes saludables. La recerca sobre mètodes de producció sostenibles inclosa la producció ecològica i integrada no només augmentarà la seguretat de la fruita sinó que també tindrà efectes positius en medi ambient europeu. El control de qualitat de la fruita en tota la cadena de subministrament, des de la granja fins el punt de venda s'estudiarà en diverses tasques. La genètica i el desenvolupament de noves varietats s'inclouen considerant perspectives a llarg termini per al medi ambient, així com per fer front a preferències característiques de consumidors que en l'actualitat gairebé no mengen fruita. El projecte integrat ISAFRUIT es basa en 7 pilars: 1) Consumidors i cadena de subministrament

receptiva, 2) Fruita i salut humana, 3) Millora de l'apetència i el valor nutritiu de la fruita processada, 4) Qualitat, seguretat i sostenibilitat - Millora de la gestió de la cadena de pre-collita, 5) Qualitat, seguretat i sostenibilitat - Millora de la cadena de post collita, 6) Genètica de la qualitat de la fruita i implementació de millors cultivars de fruita, 7) Gestió del coneixement. ISAFRUIT consta d'un Comitè de Gestió, coordinadors de projecte i dels pilars, un comitè per a les PIME, un grup científic i l'Assemblea General.»

**Taula 2.9.-** Dades del projecte Increasing fruit consumption through a trans disciplinary approach leading to high quality produce from environmentally safe, sustainable methods, ISAFRUIT.

<b>Títol del projecte</b>	<i>Increasing fruit consumption through a trans disciplinary approach leading to high quality produce from environmentally safe, sustainable methods.</i>		
<b>Acrònim</b>	ISAFRUIT		
<b>Data d'inici</b>	01/01/2006	<b>Data de finalització</b>	30/09/2010
<b>Cost del projecte</b>	21.430.000€	<b>Cost subvencionat</b>	13.790.000€
<b>Entitat finançadora</b>	Unió Europea		
<b>Tipus de programa</b>	6è programa marc (FP6)		
<b>Acrònim del programa</b>	FOOD		
<b>Referència</b>	FP6-FOOD 016279-2		
<b>IP - Coordinació (País)</b>	Dr. Ole Callesen - Danish Institute of Agricultural Sciences (Dinamarca)		
<b>Centres col·laboradors</b>	60		
<b>Països</b>	16		

Dins de l'apartat dedicat a millorar les tècniques d'aplicació hi ha tres àrees en les que es vol incidir per a realitzar aplicacions precises de productes fitosanitaris (van de Zande *et al.*, 2008; Doruchowski *et al.*, 2009a):

- a) Detecció de la capçada: determinació de la densitat de la vegetació a partir de l'anàlisi de la resposta de sensors d'ultrasons. Si la resposta és un paquet d'ones compacte, els autors interpreten que es tracta d'una més densa que si el paquet d'ones rebut és més dispers (Balsari *et al.*, 2008a; Balsari *et al.*, 2008b; Balsari *et al.*, 2009).
- b) Sistema d'aplicació dependent de l'entorn: mesura dels paràmetres meteorològics durant l'aplicació per tal d'adaptar les característiques de la polvorització. A més a més, l'aplicació es realitza tenint en compte un mapa digital on s'ha representat les zones sensibles de la plantació i sobre el qual es representa la posició del polvoritzador en temps real (Doruchowski *et al.*, 2007; Doruchowski *et al.*, 2009a; Doruchowski *et al.*, 2009b).
- c) Sensor per a la detecció de l'estat de salut del conreu: mesura radiomètrica del conreu per a conèixer el seu estat de salut i determinar si cal o no tractar-lo i en quina mesura. Els autors han relacionat el grau i temps d'infestació del cultiu per determinats patògens i ho han relacionat amb la resposta radiomètrica del cultiu. Amb aquesta informació seria possible determinar el grau d'infestació del cultiu i tractar-lo consegüentment (van de Zande *et al.*, 2007).

Aquestes tres àrees es concreten en tres mòduls que van embarcats en un polvoritzador que decideix la dosi a aplicar en funció de la informació recopilada per tots els sensors embarcats i els algorismes de regulació que estan dissenyant els investigadors del projecte.

## 2.5 Caracterització electrònica de la vegetació i aplicació de fitosanitaris

---

L'interès per la mesura i la caracterització dels conreus ha anat tradicionalment lligat al procés productiu (estudis d'intercepció de la llum, estimació de produccions, etc.). Tanmateix, als anys 60 i 70 del segle XX, els primers investigadors van començar a intuir l'important paper que juga la capçada en el procés de distribució mecanitzada de productes fitosanitaris (Morgan, 1964; Byers *et al.*, 1971). Aquest fet va comportar l'obertura de nombroses línies de recerca centrades en aquesta temàtica. Inicialment, els treballs es van centrar en el desenvolupament de metodologies per a la caracterització de la capçada a partir de mesures manuals o apreciacions dels propis agricultors. A mode d'exemple, Miller (1967) presenta el mètode *Point Quadrat* per a estimar manualment la densitat de fulla d'una capçada a partir de la freqüència de contacte amb fulles d'una vara quan s'introdueix a la capçada. La mateixa aplicació del mètode de dosificació *TRV* comporta que l'agricultor realitzi una sèrie de mesures a la seva plantació per tal de determinar l'alçada i l'amplada dels seus arbres. El fet de realitzar aquestes mesures de forma manual introdueix un component de variabilitat important que pot afectar a la precisió i repetibilitat del resultat final. Més endavant, els mateixos desenvolupadors del mètode *TRV* i altres investigadors indiquen que, a més de les dimensions de la capçada, també cal tenir en compte la seva densitat. Byers *et al.* (1984) realitzen diferents tractaments en funció del mètode *TRV* i relacionen les deposicions aconseguides amb la densitat de la capçada. Aquesta densitat l'estimen *a posteriori* a partir de mesures del percentatge de llum que penetra a l'interior de la capçada realitzades amb un dispositiu fotoelèctric. Els autors observen, tal com era previsible, que a menor densitat la deposició aconseguida és major. Sutton i Unrath (1984), en canvi, proposen modificar el volum d'aplicació unitari a partir d'un coeficient funció de la densitat de capçada. El coeficient l'estableixen arbitràriament els investigadors a partir de l'observació de la capçada.

Més recentment, Viret *et al.* (2007) afirmen que, a més de determinar el volum unitari de capçada, a partir de les mesures manuals també es pot estimar l'IAF i la superfície foliar continguda en el conreu de la vinya.

Tanmateix, en aquest apartat es fa una revisió de diferents treballs que mostren desenvolupaments en que la caracterització es realitza mitjançant dispositius electrònics per a finalitats relacionades amb la polvorització. Els sistemes desenvolupats en els treballs relacionats utilitzen diferents tipus de sensors tals com sensors mecànics, fotoelèctrics, radiomètrics o ultrasònics; o bé apliquen tècniques tals com l'anàlisi d'imatge, l'estereometria, el radar (*radio detection and ranging*) o el lidar (*light detection and ranging*).

### 2.5.1 Detecció de la presència de vegetació

Un primer pas en la caracterització electrònica de la capçada va ser la simple detecció de la seva presència. Als anys 60 i 70 del segle passat, l'electrònica i els ordinadors van començar a arribar a l'agricultura. Cox i McLean (1969) van desenvolupar un sensor basat en una sonda carregada elèctricament que detectava plàntules quan aquestes contactaven amb el dispositiu, en virtut de la seva conductivitat. Hooper *et al.* (1976) van dissenyar un sensor radiomètric que detectava la presència de vegetació en conreus herbacis a partir de la reflectància en les longituds d'ona de l'infraroig proper i la radiació visible. La ràtio entre aquests dos paràmetres permetia discriminar vegetació de terra degut a la forta absorció de longitud d'ona menors de 700 nm per part de la clorofil·la de les plantes. Altres sensors emprats en horticultura per a la detecció de plantes han

estat els fotoelèctrics. Ladd i Reichard (1980) van emprar una parella d'emissor i receptor situada estratègicament per tal que el conreu anés interrompent el feix de radiació infraroja que anava del primer al segon i així detectar la seva presència. Aquest dispositiu es va muntar en un polvoritzador en substitució d'un palpador mecànic que tenia instal·lat una versió anterior de l'equip (Ladd *et al.*, 1978). Els mateixos autors van emprar aquest mateix principi de mesura per tal de detectar la presència d'arbres en una plantació de cítrics (Reichard *et al.*, 1982). L'inconvenient d'aquest sistema era la necessitat de situar el capçal receptor o bé un element reflectant (tipus catadiòptic) a banda i banda del conreu. A més, la interrupció del feix la podia causar una planta o bé qualsevol altre objecte que s'interposés entre emissor i receptor (terrossos, pedres, etc.).

Les primeres incursions en la detecció de presència de capçada en plantacions fruiteres a Espanya les realitzaren Porrás *et al.* (1989). El sistema desenvolupat per aquests investigadors es basava en l'ús de sensors fotoelèctrics amb emissor i receptor en el mateix capçal. La reflexió de la capçada, en cas de trobar-se present, era suficient per a activar el receptor fotomètric. Amb aquest tipus de sensors es va evitar haver de situar un receptor o un element reflector a l'altra banda de la capçada. En aquest cas, la no recepció d'un feix de llum rebotat s'interpretava com a la no existència de vegetació. Un sistema similar és l'utilitzat per Doruchowski *et al.* (1997) i Jaeken *et al.* (1997b). Concretament, el sensor emprat és un sensor que té dos fonts emissores de llum (una de 670 nm i l'altra de 700 nm) i un fotoreceptor. Per tal de determinar la presència/absència de llum és necessari interpretar les ràtios entre la llum emesa i la reflectida per la capçada per a cada longitud d'ona, tenint en compte que 670 nm és el pic d'absorbància de la clorofil·la. Una limitació d'aquest sistema és que només és capaç de detectar vegetació fins a 1 m de distància. Els autors també van fer servir aquest sistema per a detectar presència de males herbes sobre terra nu.

Aquesta darrera aplicació, la detecció de males herbes, ha estat objecte de multitud d'estudis i desenvolupaments. Malgrat que aquest no és l'objecte d'aquesta tesi doctoral, a mode d'exemple es citen algunes de les aplicacions que s'han recollit durant la revisió bibliogràfica. Molts grups de recerca han seguit explotant tècniques de radiometria propera, com el ja descrit i altres (Wartenberg i Dammer, 2001) i, fins i tot, hi ha un model de sensor comercial: el WeedSeeker (NTech Industries, Inc., Ukiah, EUA). Altres grups han optat per la teledetecció (Brown *et al.*, 1994) i d'altres per l'anàlisi d'imatge (Downey *et al.*, 2003; Hague *et al.*, 2006). En aquest darrer camp hi ha hagut molts desenvolupaments, ja sigui en base a fotografia digital o en vídeo. La majoria d'aquests sistemes intenten discriminar formes de planta per tal de distingir-les del terra o bé diferenciar conreu de mala herba (Giles *et al.*, 2002). Fins i tot s'ha treballat en dissenyar algorismes per a reconèixer les males herbes detectades (Søgaard, 2005; Gerhards i Oebel, 2006).

Altres tècniques emprades en la detecció de presència de capçades en conreus arboris es basen en l'ús de sensors d'ultrasons. Roper (1988) va presentar una patent als Estats Units d'un polvoritzador que utilitzava sensors d'ultrasons per a aplicar producte només en presència de vegetació. Aquest sistema es pot trobar al mercat americà amb el nom Tree-See (Roper Grocers Cooperative, Winter garden, Florida, Estats Units). Pellicer *et al.* (1995) arriben a resultats satisfactoris en proves de laboratori per a la detecció de plantes de taronger i Balsari i Tamagnone (1997) desenvolupen un polvoritzador similar al de Roper (1988).

Paral·lelament, Wangler *et al.* (1993 i 1994) van presentar una patent als Estats Units d'un polvoritzador que detectava la presència de capçada en plantacions cítriques amb un dispositiu



desenvolupat per la indústria militar, el lidar (*light detection and ranging*). Aquest tipus de sensor empra un feix làser per tal d'estimar la distància a un determinat obstacle i serà objecte d'una descripció més detallada al Capítol 6, donat que s'ha fet servir en els treballs experimentals d'aquesta tesi. El dispositiu es va comercialitzar als Estats Units amb el nom de TreeSense (Schwartz Electro-Optics, Orlando, Florida, Estats Units).

Ja més recentment, i afavorides per la major capacitat de càlcul que han anat adquirint els sistemes informàtics, les tècniques d'anàlisi d'imatge han anat aplicant-se a la detecció de la presència de capçades d'arbres (Xiang *et al.*, 2003; Zheng *et al.*, 2005 i Chen *et al.*, 2006). De la mateixa manera, altres tipus de sensors dissenyats i utilitzats en altres sectors han fet aparició en l'agricultura per tal de superar els possibles inconvenients de les tecnologies emprades fins al moment. Aquest és el cas de Jarnagin (2009), que desenvolupa una aplicació que fa servir un radar de curt abast per a detectar la presència de la capçada en plantacions de fruiters. L'autor argumenta que les estimacions realitzades amb sensors d'ultrasons es poden veure afectades per corrents d'aire que poden atenuar les ones en el seu recorregut. Presenten un radar com a alternativa a aquesta problemàtica encara que cap altre grup de recerca havia esmentat aquesta problemàtica fins el moment.

## **2.5.2 Quantificació de la vegetació detectada**

Una vegada es disposa de les eines necessàries per a la detecció de la vegetació, el següent pas és la seva quantificació i caracterització. En aquest cas, les diferències existents entre els conreus herbacis i els conreus arbustius o arboris fan convenient una divisió de les aplicacions dissenyades si bé les tècniques emprades puguin ser similars. La majoria de les tècniques utilitzades en fructicultura han estat primer desenvolupades i emprades en conreus baixos.

### **2.5.2.1 Conreus herbacis**

Un dels treballs pioners en la quantificació electrònica de la biomassa dels conreus herbacis va ser el presentat per Shibayama *et al.* (1985). En aquest treball, els autors van analitzar amb profunditat la resposta de conreus com el panís, la soja, l'arròs i la melca en termes de reflexió de trens d'ones ultrasòniques a diferents freqüències. Les conclusions de l'estudi van ser molt positives ja que, sense arribar a una aplicació molt clara, van obrir les portes a l'àmplia utilització que d'aquesta tecnologia s'ha fet. Maertens *et al.* (2003) va fer servir aquest tipus de sensors per tal d'estimar la densitat de planta en cereals. No només estimaren la distància dels sensors al conreu sinó que van analitzar la intensitat de la resposta tot relacionant-la amb mesures manuals de densitat de conreu. Scottford i Miller (2004a; 2004b) van fusionar la informació de sensors d'ultrasons i de sensors radiomètrics per tal de millorar les estimacions de la densitat de planta i l'IAF en parcel·les de blat. Els treballs de recerca en l'aplicació d'ultrasons continuen essent, actualment, objecte de recerca i perfeccionament (Reusch, 2009).

La tecnologia lidar la comença a aplicar Walklate (1989) quan dissenya un sensor làser per a estimar paràmetres del conreu tals com la densitat del dosser. L'autor presenta les bases de futures aplicacions en la caracterització de capçades de conreus fruiters. Altres autors també han emprat aquesta tecnologia per a l'estimació de la densitat de biomassa dels conreus (Ehlert *et al.*, 2006; Ehlert *et al.*, 2008). Lumme *et al.* (2008) van quantificar l'alçada de diferents blocs de conreus herbacis amb mesures zenitals successives realitzades amb un sensor lidar. Els blocs

havien estat fertilitzats amb dosis diferents i, posteriorment, van correlacionar les mesures obtingudes amb els rendiments aconseguits. També van desenvolupar un algorisme per a reconèixer espigues i comptar-les. Una altra aplicació és la que s'ha dut a terme per tal de quantificar la quantitat d'espigues que entra en una recol·lectora (Saeys *et al.*, 2009). La tecnologia radar també es va utilitzar per a la estimar la densitat de planta en cereals, concretament en blat (Paul i Speckmann, 2002).

A Alemanya, diversos investigadors van idear un sensor mecànic de tipus pendolar per tal d'estimar la quantitat de biomassa del conreu en temps real a mesura que avança el tractor. (Dammer *et al.*, 2001; Dammer *et al.*, 2002; Dammer *et al.*, 2003; Ehlert *et al.*, 2003a; Ehlert *et al.*, 2003b; Ehlert *et al.*, 2004; Dammer i Ehlert, 2006; Ehlert i Dammer, 2006; Dammer *et al.*, 2008). El sensor mecànic que consisteix en un pèndol suspès a la part davantera del tractor sobre el dosser del conreu. El pèndol disposa d'un palpador que, en contacte dinàmic amb el conreu, ofereix una determinada resistència i, per tant, confereix una determinada inclinació al dispositiu en funció de la quantitat de biomassa que presenta. La mesura electrònica de l'angle del pèndol, corregit degudament segons el pendent de la parcel·la, permet fer una estimació força acurada de la densitat de planta que presenta el conreu. Actualment, aquest sensor el comercialitza Agrom com amb el nom de CROP-meter (CLAAS Agrosystems GmbH & Co. KG, Gütersloh, Alemanya) o bé Müller-Elektronik GmbH & Co. KG (Salzkotten, Alemanya).

Altres paràmetres que s'han estimat en diferents treballs ha estat els relacionats amb l'estat sanitari i vigorós del conreu. Tot i no ser objecte de la tesi, en aquest paràgraf es citen dues aplicacions basades en la radiometria amb sensors propers. Bravo *et al.* (2004) van utilitzar la radiometria i la fluorescència per tal de detectar l'estat d'estrés del conreu per tal de distingir entre plantes de blat sanes i malaltes. Més recentment, Tremblay *et al.* (2009) comparen els resultats obtinguts amb el sensor Yara N-Sensor (Yara International ASA, Oslo, Noruega) i el sensor GreenSeeker (NTech Industries, Inc., Ukiah, EUA). Els dos sensors basen el seu funcionament en quantificar la resposta radiomètrica del conreu i estan disponibles al mercat. Les diferències entre sensors que observen els autors les atribueixen a la posició de treball del sensor respecte del conreu i a la mesura de la reflectància en diferents longituds d'ona.

### 2.5.2.2 Fructicultura

Els conreus arbustius i arboris tenen una estructura més complexa que els conreus baixos. A diferència del que passa en els conreus herbacis, on l'alçada de les plantes és relativament poc important respecte les altres dues dimensions, en els conreus llenyosos cal considerar les tres dimensions. Tradicionalment, hi ha hagut molt interès en la caracterització de les capçades dels arbres des del punt de vista productiu, principalment en aspectes relacionats amb la penetració i la interceptió de la llum. Al llarg dels anys s'han anat definint metodologies i expressions matemàtiques per a quantificar el seu volum, la seva estructura i altres paràmetres interessants tant en el món agrícola com forestal. En les darreres dècades també s'han produït grans avenços en la utilització de sensors i altres dispositius electrònics, sobretot en el món forestal, per a la quantificació i estimació de rendiments de les explotacions forestals. Tanmateix, aquesta tesi doctoral es centra en la caracterització de les capçades per a la seva utilització en els processos relacionats amb l'aplicació de productes fitosanitaris.

Des del moment que els conreus són considerats com a estructures tridimensionals, els paràmetres geomètrics que cal considerar per a la seva caracterització volumètrica són l'alçada, l'amplada i la longitud. Altres paràmetres importants en l'aplicació de productes fitosanitaris són la densitat de la capçada i la superfície foliar continguda.

Abans de continuar, però, cal aclarir què s'entén per volum i densitat de la capçada. Estrictament, el volum exacte d'una capçada seria aquell volum d'aigua que desplaçaria la part aèria d'un arbre si es submergís completament. Donat que aquesta operació resulta inviable, es considerarà el volum de capçada com el volum contingut per la superfície externa envoltant definida pels límits exteriors de la capçada. Aquest volum inclou tronc, brancatge, fullatge i aire. Com més ben definida sigui la caracterització exterior de la capçada, per tant, més precís serà el volum estimat. A partir d'aquesta definició, es pot intuir que cada metodologia i tecnologia emprades en els desenvolupaments que es comenten a continuació podria donar un valor de volum de capçada diferent per a una mateixa plantació. Per aquest motiu, quan es parla de volum de capçada, caldria especificar la metodologia que s'ha emprat per a estimar-lo.

Pel que fa a la densitat de la capçada, si no s'indica el contrari, en aquesta tesi es considera que és la superfície foliar continguda en un volum unitat de capçada. Tanmateix, alguns dels dispositius referits en aquesta revisió estimen la superfície dels diferents elements continguts en la capçada i la relacionen amb el volum estimat. El resultat és que es considera la superfície foliar però també la superfície del brancatge i dels fruits que hi pogués haver en el moment en que es realitzin les mesures.



En referència a l'estimació electrònica del volum de capçada, a principis de la dècada dels 80, McConnell *et al.* (1983) van proposar un sistema basat en sensors d'ultrasons per tal d'estimar el volum unitari de capçada i poder emprar el mètode de dosificació basat en el TRV de manera més precisa. Els autors argumenten que el simple fet de mesurar manualment el TRV implica una elevada font de variabilitat i un alt consum de temps si es vol fer correctament. El sistema consistí en una perxa vertical on s'hi muntaven diversos sensors, separats uns 60 cm. La lectura de cadascun dels sensors permetia estimar l'amplada de capçada en aquell punt i extrapolar aquest valor a les zones on no hi havia lectura. Les lectures es realitzaven des d'ambdós costats de la fila i mitjançant les operacions matemàtiques pertinents en postprocés es podia arribar a estimar el volum de capçada dels diferents arbres de la plantació.

Basant-se en aquest mateix principi, Giles *et al.* (1988 i 1989b) desenvolupen i patenten un sistema per a mesurar el volum de capçada a partir de sis sensors (tres per banda) situats a tres alçades diferents. Anys més tard, l'empresa americana Durand-Wayland (LaGrange, Georgia, Estats Units) va desenvolupar un equip específicament dissenyat per a estimar el volum de capçada de les plantacions. El sistema consisteix en 10 o 20 sensors d'ultrasons (segons versions) situats en una perxa vertical per tal d'estimar el perfil de la capçada. Diversos autors han comparat les mesures d'aquest sistema en plantacions de cítrics amb mesures manuals o amb el funcionament d'altres sistemes electrònics arribant a la conclusió que el sistema és vàlid per a emprar-lo en aquesta aplicació (Tumbo *et al.*, 2001; Tumbo *et al.*, 2002). Altres autors van instal·lar un sistema satel·litari de navegació global (SSNG) al mateix sistema de Durand-Wayland i van estudiar el comportament dinàmic de l'equip, la repetibilitat de les mesures, l'efecte de la velocitat d'avanç i de la densitat de vegetació en el resultat final de les lectures (Zaman i Salyani, 2004). Les conclusions que presenten indiquen certes diferències variables entre repeticions amb

les mesures manuals que els autors atribueixen a la dificultat de repetir exactament la mateixa traçada amb el tractor. En referència a la velocitat d'avanç, la resposta de sistema és bona ja que l'efecte d'aquest factor no és significatiu. El que sí detecten els investigadors és que els arbres amb capçades menys denses presenten més variabilitat en les lectures, tot i que la seva estimació també es considera vàlida. A més, els autors detecten diferències significatives entre els semivolums de capçada corresponents a cada costat de la fila. Per aquest motiu, la recomanació que fan és no considerar les capçades simètriques i escanejar les files d'arbres des dels dos costats.

Els mateixos autors van desenvolupar i validar un programa informàtic per a la creació de mapes de vegetació a partir de les mesures del sistema comercialitzat per Durand-Wayland (Schumann i Zaman, 2005; Zaman i Schumann, 2005; Zaman *et al.*, 2005; Zaman *et al.*, 2006).

Paral·lelament, en el marc del projecte de recerca PULVEXACT es va dissenyar un sistema similar per tal de caracteritzar capçades de pomers i perers de la zona de Lleida. Els resultats indicaren que el sistema és igualment vàlid en la seva aplicació a aquest tipus de conreus en els sistemes de formació més típics d'aquesta zona (eix i palmeta).

Més recentment, diversos autors va fer un segon estudi per tal de quantificar la magnitud dels errors que es poden produir quan es fan mesures amb el sistema de mesura Durand-Wayland en cítrics (Zaman *et al.*, 2007). Els resultats als que arriben indiquen que el major error és degut a la imprecisa estimació de la velocitat d'avanç que els autors fan a partir de la informació del SSNG. El segon error, en ordre de magnitud, és la variació de les estimacions de distància dels sensors d'ultrasons deguda a la temperatura de l'aire, que afecta a la velocitat de propagació de les ones acústiques. El següent error és el degut a les característiques dels sensors i el darrer és el degut a desviacions de la trajectòria. Els tres primers errors són fàcilment resolubles canviant els dispositius per altres més precisos i el darrer dotant el tractor d'algun tipus d'ajut al guiatge.

Dins del projecte de recerca ISAFRUIT, Balsari *et al.* (2008a; 2008b; 2009) empen sensors d'ultrasons per tal d'estimar la densitat de vegetació. El que fan aquests autors és estudiar les ones ultrasòniques que arriben al sensor després de rebotar en la capçada. Si la resposta és compacta (freqüència de les ones rebotades alta) estimen que la capçada és més densa que si les ones rebotades estan més distanciades i, per tant, la freqüència de les ones resposta és menor.



Una altra metodologia per a estimar característiques de la capçada és la que emprava sensors làser conjuntament amb la tecnologia lidar. Aquesta tecnologia permet mesures precises de la capçada sense contacte degut a l'alta resolució dels sensors i a freqüències de mostratge elevades. La informació més evident que es pot extreure són les dimensions del conreu per estimar el volum de la capçada però al llarg dels anys s'han anat estimant altres variables. A partir de les primeres aplicacions orientades a la detecció de presència de capçada, diversos autors van explotar les noves possibilitats d'aquesta tecnologia aplicada a l'agricultura. Una de les primeres experiències es van dur a terme al Regne Unit i ja apuntava el potencial d'aquesta tecnologia tant per a l'estimació dels volums com la d'altres paràmetres (Walklate *et al.*, 1997a; Walklate *et al.*, 1997b). La intenció d'aquests autors va ser la de relacionar les dades extretes amb el sensor lidar amb les deposicions de productes fitosanitaris. Així, Walklate *et al.* 2000b van establir les millors correlacions quan les deposicions aconseguides es relacionaven amb paràmetres relacionats amb

la superfície foliar (*Crop Area Index*) i amb la densitat de fullatge a la capçada (*Tree Area Density*). La metodologia emprada es va depurar i es descriu a Walklate *et al.* (2002).

Tumbo *et al.* (2001 i 2002a) compararen mesures manuals del volum de capçada de tarongers aïllats amb les mesures obtingudes amb ultrasons i amb lidar. Els resultats indiquen que, malgrat les correlacions són bones, el sistema basat en lidar estima millor els volums de capçada degut a l'increment de resolució que presenta en front dels altres dos sistemes.

Altres autors van analitzar el comportament del sensor lidar en la caracterització de la capçada de cítrics amb la intenció d'emprar aquest sensors en aplicacions en temps real (Wei i Salyani, 2004). Els resultats foren el desenvolupament d'algorismes per a l'estimació de l'alçada i l'amplada dels arbres així com del seu volum de capçada. A continuació es va estudiar l'efecte de la velocitat d'avanç sobre les mesures obtingudes (Salyani i Wei, 2005). En aquest estudi van analitzar la resposta dinàmica del sensor a 1,6 km/h i a 3,2 km/h. Els resultats obtinguts mostraren diferències en l'estimació de l'alçada dels arbres però no en l'estimació del volum ni en la de la densitat de capçada. En un article posterior (Wei i Salyani, 2005), els autors van comparar volums de capçada de cítrics mesurats manualment amb estimacions realitzades a partir del sensor lidar i van aplicar tècniques d'anàlisi d'imatge per a estimar la densitat de capçada. Els resultats van posar de manifest diferències entre els volums estimats manualment i electrònica que els autors atribueixen a la poca resolució de les mesures manuals. Finalment, desenvolupen un algorisme per a estimar la densitat de la capçada a partir de la relació entre el volum de fullatge (estimat a partir del perfil real obtingut amb el sensor lidar) i el volum de la capçada (estimat a partir de la corba envoltant del perfil real obtingut amb el sensor).

El projecte PULVEXACT, en el que va participar el grup de recerca en el que s'emmarca aquesta tesi doctoral, va començar a treballar amb el sensor lidar l'any 2002 i ha assolit resultats importants en l'aplicació d'aquesta tecnologia en postprocés i en temps real. El projecte tenia diverses tasques i una d'elles va ser la caracterització electrònica de la capçada de plantacions fructícoles. Aquesta caracterització es va realitzar segons dos enfocaments. El primer es concentrava en estimar el volum de capçada per a posteriorment correlacionar-lo amb la superfície foliar continguda (Rosell *et al.*, 2004; Sanz *et al.*, 2004; Llorens, 2005; Sanz *et al.*, 2005a; Sanz *et al.*, 2005b; Llorens *et al.*, 2007; Sanz, 2008). A partir d'aquests primers treballs es va fer una primera incursió en l'estimació del volum de capçada i de la densitat foliar en temps real (Palacín *et al.*, 2006; Palacín *et al.*, 2007). El segon enfocament es basava en la metodologia descrita en Walklate *et al.* (2002) mitjançant la qual s'estima l'IAF a partir d'un tractament estadístic de la informació obtinguda pel sensor lidar (Arnó *et al.*, 2006; Arnó, 2008; Arnó *et al.*, 2009). Palacín *et al.* (2008) fan un estudi detallat de les fonts d'error en l'estimació de paràmetres de capçada amb el sensor lidar. Tot i que l'estimació de la velocitat d'avanç i de l'alçada dels arbres afecta en l'estimació final del volum, els errors més importants són deguts a la trajectòria del lidar respecte de la fila i a la inclinació del sensor a causa del microrelleu de la parcel·la. En articles recents es descriu l'estat actual de la qüestió (Rosell *et al.*, 2009a; Rosell *et al.*, 2009b).



En el marc del projecte de recerca PRECISPRAY, investigadors israelians, neerlandesos, danesos i alemanys van treballar plegats per a millorar les aplicacions de productes fitosanitaris. Un dels apartats del projecte era la caracterització de la vegetació en conreus arboris. La tècnica que fan anar és l'estereofotografia aèria a partir de parells d'imatges realitzades amb càmeres analògiques (Meron *et al.*, 2000). Una vegada digitalitzades les imatges, els autors desenvolupen un programa

per tal de construir un model digital d'elevació de la plantació (Shimborsky i Meron, 2001). A partir d'aquest model d'elevació poden estimar la forma i el contorn de la capçada a diferents alçades i el seu volum (Shimborsky, 2003).

Rovira-Más *et al.* (2005) també treballen amb estereofotografia però la tècnica d'adquisició és diferent. Aquests investigadors utilitzaren una estereocàmera digital compacta, un receptor SSNG i un sistema inercial de correcció suspesos en un helicòpter teledirigit. Cadascun dels parells adquirits es georeferenciava a partir de les coordenades obtingudes amb el receptor GPS. A partir dels diferents parells es van construir mapes digitals tridimensionals de conreus de panís encara que la tècnica es podria utilitzar també en fructicultura.

Jaeken *et al.* (2004) van aplicar la fotografia per a la determinació indirecta de l'IAF o, concretament, del que ells anomenen Índex d'Àrea de la Vegetació. La tècnica que van emprar va ser la fotografia hemisfèrica digital, els resultats de la qual van relacionar amb determinacions manuals destructives de l'IAF. Els resultats mostraren una correlació forta entre les mesures manuals i les estimacions realitzades encara que, tal com indicaren els autors, amb una gran despesa temporal.

Una altra aplicació de l'anàlisi d'imatge és la que intenta reconstruir la capçada d'arbres aïllats en tres dimensions a partir de diverses imatges bidimensionals (Phattaralerphong i Sinoquet, 2005; Phattaralerphong *et al.*, 2006). Una vegada reconstruïda, els autors van poder estimar l'alçada i l'amplada de la capçada, el seu volum i l'IAF. La tècnica consisteix en prendre una imatge d'una capçada aïllada des dels quatre punts cardinals i les seves quatre respectives bisectrius. A partir d'aquestes vuit imatges, els investigadors desenvolupen un programa informàtic que reconstrueix la capçada a partir de vòxels (unitats mínimes d'informació d'una imatge tridimensional, equiparable a píxels tridimensionals).



Una de les tècniques més utilitzades en l'agricultura de precisió per a la caracterització dels conreus és la radiometria. Més concretament, l'opció més habitual des que en els anys 70 es va començar a aplicar a l'agricultura, ha estat l'ús d'imatgeria satel·litària de diferents longituds d'ona. La gran majoria de les aplicacions ha estat realitzades en conreus herbacis i han estat orientades a la quantificació del vigor o de l'estat sanitari del conreu.

Tanmateix, darrerament s'han començat a realitzar treballs en conreus arboris que, fins i tot, han comportat l'aparició d'empreses dedicades al subministrament de mapes digitals d'informació. L'empresa nord americana CropMaps, LLC (Denver, Estats Units) ofereix mapes de densitat de capçada per a conreus arboris i vinya ([www.cropmaps.com](http://www.cropmaps.com)). Una altra empresa neozelandesa, GPS-iT LTD (Te Puke, Nova Zelanda) ofereix altres informacions com mapes de maduració i de plagues i malalties ([www.gpsit.co.nz](http://www.gpsit.co.nz)).

Moltes de les aplicacions per a conreus llenyosos s'han aplicat al conreu de la vinya estimant índex diversos a partir de les diferents bandes de l'espectre electromagnètic (Hall *et al.*, 2002). Aquesta informació ha servit per a establir zones dins de la parcel·la en les que el conreu donés respostes radiomètriques similars. En altres treballs, els autors han buscat correlacionar els índex obtinguts a partir d'imatges satel·litàries o imatgeria aèria amb mesures manuals preses *in situ*, com per exemple l'IAF, arribant a trobar correlacions acceptables (Johnson *et al.*, 2003).

Les aplicacions en d'altres conreus arboris han estat més recents. Zaman i Schumann (2006), per exemple, van emprat l'índex de vegetació de la diferència normalitzada (NDVI) per a establir zones diferents en una plantació de cítrics. Una vegada establertes les zones van realitzar diversos mostratges per tal d'analitzar quins paràmetres del sòl podien causar les diferències trobades. Altres autors com Taylor *et al.* (2005) argumentaven que la teledetecció oferia avantatges com la possibilitat d'obtenir informació a gran escala però que, en determinades pràctiques com el maneig de la capçada, calia complementar-la amb informació més local, com la que poden aportar els sensors terrestres. Seguint aquestes recomanacions, altres autors van emprar sensors radiomètrics propers portàtils per a estimar l'IAF de plantacions de cítrics, presseguers i pomers a partir d'un nou índex de vegetació que van desenvolupar (Delalieux *et al.*, 2008). Altres autors s'han dedicat a correlacionar l'índex NDVI extret d'imatges satel·litàries amb l'estimat per sensors propers com el GreenSeeker amb resultats acceptables però millorables (Perry *et al.*, 2009).

Més recentment, en fructicultura s'està treballant en detectar l'estat sanitari del conreu tant des de la teledetecció (Du *et al.*, 2008) com amb l'ús de sensors propers (van de Zande *et al.*, 2007). La tècnica es basa en el principi que la resposta radiomètrica d'una capçada afectada per una plaga o malaltia es comença a diferenciar de la resposta d'una capçada sana a les poques hores de produir-se l'atac. Els sensors emprats per aquests investigadors eren capaços de detectar fulles afectades sense que fos possible apreciar cap efecte a simple vista. Aquesta tecnologia permetria decidir la necessitat d'aplicar productes fitosanitaris abans que els efectes es reconeguessin i ja fos massa tard per a actuar.



A partir dels diferents sistemes de caracterització electrònica de la capçada, la majoria dels autors citats han pogut constatar la gran variabilitat de la seva naturalesa. La caracterització ràpida i precisa de la capçada de les plantacions ha donat lloc a la utilització d'aquesta informació per a millorar el maneig de les explotacions. En concret, en aquesta tesi doctoral s'analitza la influència d'aquesta variabilitat en el procés d'aplicació de productes fitosanitaris i proposa estratègies per a pal·liar els seus efectes.

## 2.6 Evolució dels equips d'aplicació de fitosanitaris en fructicultura

---

L'evolució dels equips per a la distribució de productes fitosanitaris s'ha donat en dues grans línies de treball. La primera, l'evolució mecànica dels polvoritzadors, dedicada a millorar l'eficiència dels diferents elements mecànics o hidràulics dels polvoritzadors i la seva adaptació als conreus a tractar. La segona línia ha estat la millora dels sistemes de regulació de la polvorització a partir de la informació que es tingui dels paràmetres d'aplicació i del mateix conreu.

En aquest apartat es fa una petita revisió de l'evolució mecànica només dels equips dissenyats per a l'aplicació de productes fitosanitaris en plantacions arbòries, per ser l'objecte de la tesi doctoral, i una revisió més extensa dels sistemes de regulació. Aquesta darrera revisió més extensa té en compte les aportacions en tot tipus de conreus donat que molts desenvolupaments són fàcilment exportables a diferents situacions. Molts dels desenvolupaments descrits ha estat dissenyats per a conreus herbacis, conreus sobre els que s'ha realitzat molta recerca en aquest àmbit, per a posteriorment generalitzar-se.

### 2.6.1 Evolució mecànica dels equips d'aplicació

En els últims 50 anys, la majoria de les investigacions i desenvolupaments en matèria de tècniques d'aplicació en conreus arboris han tingut com a objectiu principal la identificació de les necessitats per a una aplicació eficaç. Fillat *et al.* (1993), situen les pèrdues entre el 25 i 50% en tractaments realitzats amb polvoritzadors convencionals en plantacions arbòries intensives. Aquests elevats percentatges de pèrdues de producte han portat els investigadors a dissenyar sistemes alternatius que redueixin al mínim la fracció de pèrdues i a l'ús de sistemes que millorin el transport de les gotes.

Tanmateix, els avenços aconseguits han estat algunes vegades frenats o confosos pels continus canvis i evolucions de les noves matèries actives, amb nous modes d'acció i diferents requeriments. Davant l'absència de solucions definitives, els agricultors han optat per la utilització d'algun dels múltiples dissenys, en la mesura que aquests millor s'adapten a les seves condicions particulars, sense que cap d'aquestes tècniques se separi massa del polvoritzador original amb ventilador axial o centrífug (Hall i Cooper, 1991; Hislop, 1991).

Respecte els equips convencionals, polvoritzadors hidràulics i primers dissenys amb assistència d'aire, els equips de nou disseny han aconseguit millorar sensiblement la qualitat de l'aplicació fitosanitària en els aspectes relatius a la uniformitat de distribució i recuperació de producte sobre l'objectiu. Això ha estat àmpliament demostrat per diferents autors que han treballat en les espècies arbòries de major rellevància. Entre altres, destaquen els treballs sobre pomer i perer (Planas *et al.*, 1998; Planas, 1998), en cítrics (Val *et al.*, 1994) i en vinya (Gil, 2001a). En tots els casos s'ha comprovat la major eficiència dels equips de nou disseny. Es tracta, principalment, de polvoritzadors assistits per aire amb deflectors verticals per al tractament de plantacions fruiteres formades en espatllera, polvoritzadors hidràulics o pneumàtics dotats de sortides adaptables a la geometria del conreu per a la vinya i de polvoritzadors equipats de ventiladors específics per a les aplicacions en plantacions de cítrics d'alta densitat.

Tot i que la majoria dels darrers treballs es centren en desenvolupaments relacionats amb la regulació electrònica dels polvoritzadors, encara hi ha línies de recerca centrades en millorar



l'eficiència mecànica dels equips. Furness *et al.* (2006) van dissenyar un polvoritzador amb diversos ventiladors sobre el que es muntaren directament els broquets. En el treball esmentat van comparar el seu funcionament amb un polvoritzador hidropneumàtic convencional i un de barra oscil·lant. Els resultats mostraren que el polvoritzador amb diversos ventiladors individuals va aconseguir millor eficiència que la resta.

Fox *et al.* (2008) fan una revisió de les tècniques d'aplicació des del 1900 fins a l'actualitat i hipotetitzen sobre futurs desenvolupaments. Els autors remarquen que la millora de les tècniques d'aplicació de productes fitosanitaris ha estat conseqüència de l'evolució dels dissenys dels polvoritzadors però també dels canvis en els sistemes de formació de les plantacions. La incorporació d'electrònica en els equips pot incrementar encara més l'eficiència aconseguida. Els autors indiquen que, en un futur proper, els polvoritzadors s'hauran d'adaptar per a distribuir material biològic sense danyar-lo, com a alternativa a la lluita química convencional.

## 2.6.2 Evolució dels sistemes de regulació d'equips d'aplicació

La regulació de la quantitat de producte distribuïda pels equips d'aplicació de productes fitosanitaris ha estat un objectiu important per tal d'adaptar la dosi de producte fitosanitari a distribuir a les característiques del conreu. En les aplicacions no mecanitzades, aquesta regulació es realitza de manera intuïtiva ja que l'agricultor dedica més o menys estona a polvoritzar una determinada zona de la capçada en funció de la quantitat de vegetació que aprecia. Posteriorment, amb la mecanització de l'aplicació de productes fitosanitaris, es va perdre la capacitat de localitzar els tractaments a canvi de reduir els costos de mà d'obra. La regulació de la dosificació va deixar de ser localitzada per a passar a ser homogeneïtzadora. Les millores que es van introduir en la regulació de les màquines van ser tecnologies mecàniques amb la finalitat d'assegurar que les dosis eren uniformes en tota l'explotació de manera independent de possibles variacions de la velocitat dels equips (dosificació variable per a dosi uniforme). Més endavant, amb l'arribada de l'electrònica, aquesta tecnologia mecànica va anar incorporant sensors i actuadors i es van anar desenvolupant altres tecnologies amb finalitats diferents.

La implantació de l'electrònica en l'agricultura és, avui dia, una realitat evident. L'increment de l'ús de dispositius electrònics i d'automatismes en l'àmbit agrícola és degut, entre altres factors, al desenvolupament específic d'aplicacions i tecnologia per a aquest ús i a l'abaratiment dels sistemes electrònics de control i mesura. Actualment, la seva utilització en activitats agrícoles és molt àmplia. Es troba equipament electrònic en tractors, remolcs i maquinària agrícola en general, en sistemes de gestió d'aigua de reg, en sistemes de gestió d'instal·lacions ramaderes, en control ambiental de conreus protegits i en molts d'altres àmbits. En la maquinària de tractaments fitosanitaris, la incorporació de sistemes electrònics de regulació i control pretén optimitzar l'eficiència dels tractaments per tal d'aconseguir la dosi requerida sobre el conreu i reduir les pèrdues de producte. La manera d'aconseguir-ho és modificant el cabal de producte polvoritzat i/o el cabal d'aire que el transporta de manera que s'adapti a les característiques del conreu i/o a les condicions ambientals. La variació del cabal de producte fitosanitari aplicat implica una variació de la dosi distribuïda i, per tant, les tecnologies dedicades a aquest objectiu són les Tecnologies de Dosificació Variable, TDV (veure apartats 2.2.2.3 i 2.2.3.1). En els propers apartats es relacionen els desenvolupaments relacionats amb l'aplicació de les TDV en la distribució de fitosanitaris.

### 2.6.2.1 Dosificació variable per a dosi uniforme

Aquest sistema de dosificació parteix d'una de la hipòtesi que el conreu es distribueix homogèniament al llarg i ample de la parcel·la. La quantitat de biomassa del conreu s'estima a partir de la velocitat d'avanç del polvoritzador i no es fa cap estimació addicional d'altres característiques del conreu. Aquest tipus d'equips només poden treballar en temps real donat que fan la correcció del cabal polvoritzat en funció de la velocitat en cada moment. Els equips que van començar a incorporar aquesta tecnologia van ser polvoritzadors per a conreus baixos encara que actualment es poden trobar equips per a la fructicultura.

Un dels primers treballs relacionats amb aquest tipus de regulació dels polvoritzadors és el publicat per Reichard *et al.* (1982). Els autors van implementar un equip que presentava la característica de dissoldre el producte fitosanitari en aigua just en el moment de l'aplicació. Aquest prototipus, destinat a conreus arboris, ajustava la concentració de matèria activa polvoritzada en funció de la variació de la velocitat d'avanç de l'equip, mesurada amb un sensor inductiu acoblat a la roda. L'equip disposava de dos dipòsits independents, un de principal per a aigua neta i un altre, de menys capacitat, per a matèria activa. En el moment de realitzar-se l'aplicació, el contingut dels dos dipòsits es barrejava en la proporció adient just abans dels broquets amb l'ajuda d'una bomba dosificadora. Addicionalment, aquest equip podia emprar-se per a realitzar tractaments herbicides selectius a la base dels arbres. Per a detectar la presència o absència d'arbre s'utilitzava un sensor d'infrarojos que, a través d'un sistema de control, obria o tancava una electrovàlvula de tipus tot o res del circuit hidràulic interrompent o no la polvorització.

Rudolph (1983) presenta un polvoritzador en el que el cabal polvoritzat es regulava electrònicament amb la finalitat d'aconseguir aplicacions amb una dosi de matèria activa constant per unitat de superfície tractada. El cabal polvoritzat era funció de la velocitat d'avanç, monitorada mitjançant un sensor de velocitat de tipus radar (basat en l'efecte Doppler). A partir de la informació del sensor de velocitat, mitjançant un microprocessador que controlava el procés, s'accionava una vàlvula de papallona motoritzada que modificava el cabal polvoritzat per a aconseguir mantenir constant el volum d'aplicació unitari seleccionat (L/ha). Com a millores futures, l'autor es plantejava la dosificació variable del producte per tal de no aplicar la mateixa quantitat de producte fitosanitari a tota la parcel·la per igual. El que va proposar l'autor era tractar cada zona amb la quantitat de producte necessària en funció dels rendiments, incidència de plagues i malalties, anàlisis del sòl i altres paràmetres avaluats prèviament.

Hughes i Frost (1985) van fer una revisió dels sistemes i components disponibles per a la dosificació uniforme de productes fitosanitaris. A més dels dos tipus de sistemes anàlegs als descrits per Reichard *et al.* (1982) i Rudolph (1983), els autors fan referència a sistemes de regulació del cabal de manera proporcional a les revolucions de la presa de força i, per tant, de la velocitat motor del tractor. Els autors van fer una revisió dels diferents tipus de sensors que es poden utilitzar en aquests sistemes i una anàlisi dels avantatges i inconvenients. Els autors recomanaven mesurar directament el cabal polvoritzat amb cabalímetres en lloc d'estimar-lo a partir de sensors de pressió i així evitar estimacions errònies degudes a obturacions de broquets. En referència als sensors de velocitat, la mesura de la velocitat de rotació de les rodes podria donar errors deguts a terrenys irregulars o a lliscaments. Tanmateix, els sensors de tipus radar també poden donar estimacions errònies en funció de la superfície del terra. Els autors recomanaren més treballs i desenvolupaments per a definir-se per un sensor en concret.

Rice *et al.* (1989) van analitzar el funcionament de polvoritzadors amb regulació mecànica i van concloure que només el 40% dels equips assolien variacions de la dosi desitjada menors al 10%. Per tal de millorar els tractaments, els autors proposaren la utilització de sistemes de regulació electrònica amb sensors de cabal de tipus turbina, electrovàlvula de papallona per a modificar el cabal i sensor de velocitat.

Màquines amb sistemes de dosificació similars s'han desenvolupat per a conreus hortícoles. Ghate i Perry (1994) crearen un equip que regulava la quantitat de matèria activa plaguicida aplicada en funció de la velocitat d'avanç, mesurada amb un sensor radar. Els autors utilitzaren un dosificador que injectava directament el preparat fitosanitari concentrat en la canonada portabroquets. El sistema era capaç d'adaptar-se a variacions de velocitat de 2 km/h amb un error de dosatge inferior al 10%. Quan la lectura del radar era inferior a 1,5 km/h o superior a 15 km/h, el sistema suspenia automàticament l'aplicació.

Una vegada hi va haver diversos sistemes comercials per a la dosificació uniforme, van aparèixer treballs dedicats a analitzar la precisió del seu funcionament (Ayers *et al.*, 1996; Rietz *et al.*, 1997). Els dos treballs citats conclouen que el funcionament dels 10 sistemes assajats és satisfactori i d'acord amb la normativa alemanya. Tanmateix, els primers autors remarquen que és important calibrar degudament els sensors de velocitat per a que el sistema de dosificació funcioni correctament.

Una altra tecnologia per a aconseguir la proporcionalitat del cabal emès és la que utilitza la modulació de l'amplada de pols (MAP o *Pulse Width Modulation, PWM*, en la seva denominació anglosaxona) per a la variació del cabal. Aquesta tècnica es basa en modificar el senyal digital que actua sobre electrovàlvules de tipus tot o res obrint-les i tancant-les a una determinada freqüència (per exemple 10 Hz). El percentatge de temps del període en que la vàlvula està oberta es modificava en funció de la velocitat de l'equip. Aquesta tecnologia permet modificar el cabal emès sense modificar la pressió de treball ni, per tant, les característiques de la polvorització tal com reflecteixen diferents treballs específics (Giles *et al.*, 1995; Giles, 1996; Giles, 1997; GopalaPillai *et al.*, 1999; Tian i Zheng, 2000). Són diversos els treballs en els que es desenvolupen polvoritzadors equipats amb aquest sistema (Ess *et al.*, 2000d; Han *et al.*, 2001; Pierce i Ayers, 2001). Un dispositiu comercial incorporat a un polvoritzador autopropulsat o una versió per a incorporar a qualsevol barra de polvorització és l'AIM Command o el SharpShooter™ (Capstan Ag Systems, Inc., Topeka, Kansas, Estats Units).

Un altre polvoritzador equipat amb tecnologia MAP és el desenvolupat per Palacín *et al.* (2003; 2004). A més de la dosificació variable per a aconseguir una dosi uniforme, el polvoritzador incorporava una característica addicional: la variació del cabal aplicat en cada secció de la barra de polvorització per tal de compensar el diferent recorregut dels trams en trajectòries corbes. Una aplicació similar a aquesta darrera és la que es va incorporar a un altre prototipus de polvoritzador per tal que tingués en compte el moviment horitzontal dels extrems d'una barra de polvorització i compensés el cabal polvoritzat (Lebeau *et al.*, 2004).

En l'àmbit hortícola, la Universidad de Almería va participar en el desenvolupament d'un polvoritzador autònom per a hivernacles: el Fitorobot. Entre d'altres opcions que es comentaran posteriorment, el sistema de regulació era capaç de modificar el cabal polvoritzat de manera proporcional a la velocitat d'avanç (Guzmán *et al.*, 2003; Valero *et al.*, 2004; Sánchez-Hermosilla *et al.*, 2005a; Sánchez-Hermosilla *et al.*, 2005b).

### 2.6.2.2 Dosificació variable selectiva

La finalitat d'aquesta tècnica de dosificació és aplicar el producte fitosanitari només allà on és necessari tot reduint el cost de l'operació i el seu impacte ambiental. Per a dur-la a terme, es poden fer servir dues metodologies. Es pot treballar en base a mapes digitals d'aplicació o bé es pot treballar en base a sensors i en temps real. Els sistemes de regulació dels dos tipus d'equips són anàlegs. Quan s'opta pel segon cas, és necessari emprar sistemes de caracterització de la vegetació capaços de detectar la presència de l'objectiu, ja sigui conreu o mala herba. En condicions de presència de l'objectiu, el polvoritzador aplicarà una dosificació única preestablerta; en absència de l'objectiu, no s'aplicarà producte fitosanitari. El resultat d'aquest tipus de tractaments és, per tant, una quantitat de producte fitosanitari per unitat de superfície tractada variable. Tanmateix, la quantitat de producte aplicada en presència del conreu és constant i uniforme. La majoria de desenvolupaments s'han realitzat en conreus baixos o hortícoles. Tanmateix, una vegada dissenyats els sensors adients, aquesta tecnologia també s'ha emprat amb èxit en conreus arboris.

Un dels primers equips amb dosificació selectiva va ser el desenvolupat per Cox i McLean (1969), el qual aplicava la dosi necessària d'herbicida una vegada detectada la plàntula que es desitjava eliminar en operacions d'aclarida. Ladd *et al.* (1978) van desenvolupar dos prototipus de polvoritzadors per a conreus hortícoles que només polvoritzaven quan detectaven la presència d'una planta. Un palpador de filferro d'acer, en ambdós casos, tocava la planta i, mecànicament, obria una vàlvula pilot de tipus tot o res que controlava el sistema hidràulic i permetia la polvorització. La diferència entre els dos prototipus era la forma d'actuació sobre la vàlvula pilot, que podia ser d'actuació pneumàtica o magnètica. Comparant els dos sistemes de polvorització intermitent amb el tradicional (continu al llarg de la fila de plantes), els autors van apuntar un control similar de la plaga i un estalvi del 31% de producte fitosanitari. Malgrat els resultats, en conreus hortícoles, el contacte físic entre els palpadors i la planta plantejava problemes en alguns estadis de desenvolupament. Per aquest fet, els autors els substituïren per un sensor d'infrarojos situat en el polvoritzador que actuava sobre una electrovàlvula de control de tipus tot o res. Les proves realitzades en camp amb aquesta màquina donaren resultats satisfactoris en el control de plagues de conreus de col, coliflor i pebrot. L'estalvi obtingut oscil·là entre un 24% i un 51% depenent del marc de plantació (Ladd i Reichard, 1980; Ladd *et al.*, 1981; Reichard i Ladd, 1981). Els autors també van hipotetitzar sobre altres possibles usos del seu prototipus com l'aplicació d'herbicides. Hagggar *et al.* (1983) van aconseguir resultats similars amb un polvoritzador que realitzava la detecció de males herbes a partir d'un sensor de radiació.

Totes les aplicacions descrites fins al moment estan basades en la detecció i l'actuació en temps real. Thompson *et al.* (1991) estudien el potencial d'implantar l'aplicació d'herbicides a partir de mapes d'aplicació. Això permetria la localització de les males herbes a partir de tècniques basades en l'anàlisi d'imatges obtingudes a partir de càmeres de vídeo embarcades al tractor, imatgeria aèria i observació del camp. El sistema d'actuació del prototipus podria ser similar a l'ideat en d'altres treballs però caldria incorporar un sistema de localització i adaptar el sistema de regulació per tal de decidir en cada posició del polvoritzador si fóra necessari polvoritzar o no. Stafford i Miller (1993) dissenyen un polvoritzador a partir de l'estudi anterior que permet una reducció en l'ús d'herbicides aconseguint aplicacions més eficients, menys costoses i més respectuoses amb el medi ambient. Gerhards i Oebel (2006) van dissenyar un sistema de mapat de males herbes basat en anàlisi d'imatge i un polvoritzador capaç d'aplicar simultàniament tres tipus diferents d'herbicida en funció dels mapes d'aplicació generats.

Jaeken *et al.* (1997a) muntaren el sensor radiomètric en un polvoritzador per a l'eliminació de males herbes i reporten estalvis d'entre un 6% i un 26%. Wartenberg i Dammer (2001) també empraren un sensor radiomètric i implementaren un polvoritzador amb un algorisme que decidia l'aplicació d'herbicida a partir d'un llindar d'infestació de males herbes. Aquest llindar tenia en compte aspectes econòmics com el cost de l'herbicida i la pèrdua de rendiment imputable a les males herbes. En assajos preliminars tan sols aplicaren herbicida en un 40% de la superfície del conreu. En assajos més exhaustius, de tres anys de durada, els autors reporten estalvis d'entre el 12,7% i el 40,9% d'herbicida (Dammer *et al.*, 2003). En d'altres treballs en cereals i pèsols, els autors van enregistrar estalvis mitjans del 24,6% d'herbicida (Dammer i Wartenberg, 2007).

Balsari *et al.* (2005a) van avaluar en laboratori el funcionament del dispositiu comercial WeedSeeker dissenyat per a la detecció radiomètrica i la polvorització de males herbes. L'anàlisi es va dur a terme per a valorar les seves possibilitats d'adaptació en la polvorització d'herbicides en vinya. Les conclusions de l'estudi indicaren que el dispositiu era apte per a la detecció i polvorització de males herbes d'entre 1 cm i 10 cm sota la filera de ceps.



En referència a l'ús de la tecnologia de dosificació variable selectiva en conreus arboris, són diversos els polvoritzadors que l'han anat implementant per a aconseguir aplicacions més eficients de productes fitosanitaris. Possiblement el primer polvoritzador a incorporar sensors per a interrompre la polvorització en cas de no detectar capçada va ser el de Roper (1988), basat en sensor d'ultrasons. La patent que va registrar Roper (1988) encara s'explota actualment sota el nom de Tree-See (Roper Growers Cooperative, Winter Garden, Florida, Estats Units). El polvoritzador va equipat amb fins a 5 sensors d'ultrasons a cada costat de la màquina que apunten a 5 alçades diferents. En funció de la presència o absència de vegetació detectada per cadascun d'aquests 10 sensors, un microprocessador obra i tanca la corresponent cinquena part dels broquets de cada arc de polvorització. Una variant d'aquest mateix sistema és l'Smart Spray, comercialitzat pel fabricant Durand-Wayland (LaGrange, Georgia, Estats Units). En aquest cas, es poden muntar 6, 8 o 10 sensors, segons el model (Perry, 1995).

Giles *et al.* (1987; 1989a; 1989b) embarcaren sensors d'ultrasons en un polvoritzador per tal d'obtenir informació sobre la geometria de la capçada i activar els broquets corresponents. El polvoritzador hidropneumàtic que desenvoluparen constava de tres sensors d'ultrasons a cada costat col·locats a tres alçades diferents. Utilitzaren tres portabroquets triples a cada costat de l'arc de polvorització i cada portabroquet estava controlat per una electrovàlvula de solenoide de tipus tot o res. La informació aportada per cada sensor es processava mitjançant un algorisme de control que determinava, en funció d'un índex, quants broquets calia activar. Aquest prototipus va ser assajat en plantacions de presseguer i pomera segons tres nivells de control:

- Control total: obertura o tancament independent dels sis portabroquets corresponents a cadascun dels sis sensors d'ultrasons en funció de la presència de vegetació en cadascuna de les zones escanejades.
- Control simple: obertura i tancament conjunt dels tres portabroquets de cada costat del polvoritzador en funció de la informació aportada pel sensor central de cada costat.
- Polvorització convencional: aplicació contínua sense control emulant una aplicació convencional.

L'estalvi de producte amb el sistema de control total va ser entre el 36% i el 52% en pomers i entre el 28% i el 35% en presseguers. Amb el sistema de control simple, l'estalvi oscil·lava entre el 21% i el 28% en pomers i del 10% al 17% per a presseguers. En ambdós conreus, l'estalvi de producte es veia fortament influenciat per la geometria del conreu i el seu estat fenològic.

Porras *et al.* (1989) desenvoluparen una màquina per a conreus arboris que usa un emissor de llum infraroja. Les proves realitzades en oliverars amb diferents marcs de plantació, van permetre estalviar entre un 39% i un 62% del producte. Quan s'utilitzava l'equip en arbres de copa poc densa o no uniforme es produïen errades en la detecció. Els autors proposaren millorar la màquina utilitzant altres tipus de sensors.

Balsari i Tamagnone (1997) van desenvolupar un prototipus que distribuïa productes fitosanitaris en funció de la presència o absència de capçada i que, a més, tenia en compte la seva alçada. El prototipus incorporava sis sensors d'ultrasons, tres a cada costat. Cada sensor aportava la informació a un sistema electrònic de regulació que actuava sobre l'obertura o tancament d'una electrovàlvula de tipus tot o res que controlava la secció de l'arc de polvorització corresponent a l'alçada del sensor. Els sensors d'ultrasons detecten la presència d'objectes entre 0,8 m i 3 m de distància. La velocitat de la màquina es determinava a través d'un sensor de tipus radar i l'equip només polvoritzava quan el tractor circula a una velocitat major de 0,5 m/s. Segons els autors, utilitzant aquesta màquina en plantacions on els arbres adoptessin formes globulars i no existís vegetació en la part alta de la zona entre arbres, s'aconseguia estalviar entre el 3% i el 8% de producte. L'estalvi podria arribar al 25% si es comparava amb un tractament tradicional on no s'interrompés la polvorització al final de les files. L'increment del cost de la màquina, uns 8.000 ECU<sup>\*</sup>, es podria recuperar entre 3 i 5 anys, degut a l'estalvi de producte que comportava la seva utilització. Les propostes de millora per a posteriors prototipus es centraren en reconèixer el perfil de l'arbre, per a aplicar el producte de forma proporcional al volum de massa vegetal (Balsari i Tamagnone, 1998).

Jaeken *et al.* (1997b) van realitzar assajos de camp amb un equip que utilitzava un sistema òptic per a la detecció de la capçada. El polvoritzador dissenyat anava equipat amb 8 broquets a cada costat i cadascun estava controlat per un sensor i una electrovàlvula de tipus tot o res que obria o tancava en funció dels senyals dels sensors. Hi havia, per tant, un total de 16 sensors i 16 electrovàlvules. Amb aquest equip s'aconseguí un estalvi de producte d'entre un 6% i un 25% segons el marc de plantació. Una variant d'aquest sistema fou la proposada per Doruchowski *et al.* (1997). Tanmateix, en el seu prototipus només disposaven de sensors els tres broquets superiors de cada costat de l'arc de polvorització en un intent d'estalviar producte en la zona amb més variabilitat de la capçada. Els resultats indicaren estalvis d'entre el 16% i el 24% en plantacions d'arbres baixos i d'entre el 16% i el 26% en plantacions d'arbres alts. Tot i això, els autors remarcaron que els estalvis en arbres alts eren excessius degut a que el rang de detecció dels sensors emprats era insuficient i no detectava les zones més altes de la capçada. Salyani (1999) manifestà que calia tenir en compte com afectava l'obertura i tancament de les diferents seccions del polvoritzador a la pressió de treball de la resta de seccions.

---

\* El 1999 es va canviar el sistema monetari de la Unió Europea d'acord amb la conversió 1 ECU = 1 EURO.

Koch i Weisser (2000) van avaluar tres polvoritzadors equipats amb sensors per a la detecció de la capçada i un sistema de dosificació variable selectiva. Els estalvis aconseguits amb els polvoritzadors equipats amb sensors foren del 25% al 30% però l'eficàcia no va ser inferior a la dels tractaments control. Una altra dada important va ser que la deriva dels tractaments basats en els sensors es va reduir un 50%. En aquesta mateixa línia, Ganzelmeier i Rautmann (2000) van fer una classificació dels polvoritzadors i els seus components segons la seva deriva. La classificació indica que els polvoritzadors equipats amb sensors per a la dosificació variable selectiva permeten reduccions de la deriva entre un 25% i un 50%. Als Països Baixos, Wenneker *et al.* (2003) van implementar sensors fotoelèctrics d'infrarojos per a controlar l'obertura i tancament dels dos broquets superiors i dels dos inferiors en un polvoritzador per tal d'estudiar la deriva produïda. Amb aquest sistema, els resultats aconseguits van ser satisfactoris, aconseguint un estalvi del 25% de producte i una reducció de la deriva entre el 20% i el 50% sense efectes en l'eficàcia biològica.

Més recentment, Giles (2008) i Brown *et al.* (2008) van utilitzar un polvoritzador equipat amb sensors d'ultrasons i un sistema de regulació electrònic per a dosificació variable selectiva per tal de reduir la contaminació ambiental. Les autoritats nord americanes van detectar problemes de contaminació de diazinon i, abans de prohibir la substància en qüestió, van buscar solucions per a reduir la quantitat aplicada. Els problemes es produïen en els tractaments hivernals sense fullatge en plantacions amb els arbres molt separats. La utilització d'aquesta tecnologia va permetre aplicar producte només en presència dels arbres i, per tant, minimitzar la quantitat dipositada a terra o perduda en forma de deriva. Els resultats foren tan satisfactoris que el departament d'agricultura dels Estats Units va decidir subvencionar aquest tipus de solucions. En concret, la reducció de producte aplicat va ser del 40%, la mateixa reducció que es va observar en l'anàlisi d'aigües realitzat.

Una variant dels polvoritzadors selectius són els que utilitzen tècniques d'anàlisi d'imatge per a la detecció de la vegetació (Zheng *et al.*, 2005; Chen *et al.*, 2006). Tanmateix, no s'han trobat referències de models comercials que incorporin aquesta tecnologia.

### 2.6.2.3 Dosificació variable proporcional

Els prototipus equipats amb sistemes de dosificació variable per a aconseguir una dosi variable són capaços de modificar la quantitat de matèria activa per unitat de superfície conreada. L'objectiu d'aquest tipus de tecnologia és modificar la matèria activa aplicada per unitat de superfície per tal de mantenir el més constant possible la matèria activa aplicada per unitat de superfície foliar, la deposició. Per a realitzar aquesta tasca, els sistemes de regulació requereixen dos tipus d'informació: un mapa digital d'aplicació o bé sensors que en temps real facilitin informació sobre la vegetació. Tant en un cas com en l'altre, el sistema de regulació de l'equip, basat en tecnologies de dosificació variable, és anàleg i, fins i tot, podria ser similar al dels sistemes de dosificació variable per a dosi uniforme. En cas de treballar amb sensors i en temps real, ja no és suficient detectar la presència o absència de vegetació sinó que cal quantificar algun paràmetre per a decidir i aplicar una dosificació proporcional.

Hi ha diversos mètodes per a modificar la dosificació de productes fitosanitaris per tal de variar la dosi en l'aplicació de productes fitosanitaris, tant en conreus baixos com en conreus arboris i arbustius (Ess *et al.*, 2000b; Ess *et al.*, 2000c; Ess *et al.*, 2000d; Pierce i Ayers, 2001):

- 1) Variació de la velocitat d'avanç: aquesta tècnica és poc utilitzada donat que és necessària la intervenció del conductor del tractor mitjançant la selecció de la marxa més adient en cada punt de la parcel·la sense modificar el règim de gir del motor.
- 2) Variació de la concentració de producte fitosanitari: aquesta tècnica implica disposar de dos circuits independents per a l'aigua neta i per al producte fitosanitari concentrat que s'ajunten en el darrer tram abans dels broquets. Mentre que el circuit d'aigua funciona a pressió constant, una bomba dosificadora injecta la quantitat de producte fitosanitari requerida per tal que la concentració sigui aquella que permeti la deposició de la dosi requerida. Diversos investigadors han desenvolupat polvoritzadors equipats amb aquesta tecnologia (Frost, 1990; Landers, 1993; Rockell i Ayers, 1996; Sui *et al.*, 2003; Downey *et al.*, 2006). Tanmateix, les conclusions indiquen elevats temps de resposta per a variacions importants de la dosi requerida. A més, els circuits independents de productes fitosanitaris contenen concentracions molt elevades de matèria activa que fan difícil la seva neteja. Probablement, els dos condicionants esmentats són els responsables que aquesta tecnologia no hagi estat massa difosa a nivell comercial.
- 3) Variació del cabal aplicat mitjançant:
  - a) la selecció del model o del nombre de broquets utilitzats. Aquesta tecnologia requereix la instal·lació de portabroquets múltiples especials que permeten seleccionar els broquets actius. El nombre i tipus de broquets actius determinarà el cabal polvoritzat i el tipus de gotes generat. Si el sistema de regulació de pressió funciona adequadament, la variació del cabal emès no hauria de variar la pressió de treball ni, per tant, l'amplada dels vanos de polvorització ni la mida de les gotes. Actualment hi ha un fabricant que comercialitza aquesta tecnologia, que anomena Varioselect<sup>®</sup> (Lechler GmbH, Metzingen, Alemanya);
  - b) la variació de la pressió de treball. Aquesta tecnologia modifica el cabal emès degut a la modificació de la pressió de treball. La variació de la pressió de treball pot modificar les condicions de treball (obertura dels raigs de polvorització i mida de les gotes polvoritzades);
  - c) la modulació de l'amplada de pols (MAP o PWM) del senyal que actua sobre electrovàlvules de solenoide. Aquesta tecnologia comporta incorporar una electrovàlvula de solenoide a cada portabroquet per tal de poder modificar el cabal emès sense modificar la pressió de treball.

Els investigadors que van desenvolupar el CROP-meter (sensor mecànic de tipus pendolar per a l'estimació de la densitat de conreu descrit a l'apartat 2.5.2) van implementar-lo en un polvoritzador equipat amb un sistema per a la variació de cabal amb el dispositiu Varioselect<sup>®</sup> (Dammer *et al.*, 2003; Dammer i Ehlert, 2006; Ehlert i Dammer, 2006). Amb aquest polvoritzador van realitzar diversos assajos de camp per a avaluar la distribució de productes fitosanitaris com reguladors de creixement i fungicides. Els resultats de diversos assajos mostraren estalvis mitjans propers al 20% sense un efecte significatiu sobre els rendiments finals aconseguits.



En referència als equips d'aplicació per a conreus arboris i arbustius, l'evolució no ha estat tan notable com en conreus baixos. Els treballs per a la dosificació variable per a aconseguir dosis diferents en una mateixa plantació parteixen de les propostes de Morgan (1964), Byers *et al.*



(1971) i Sutton i Unrath (1984). Aquests autors proposen tenir en compte les característiques geomètriques del conreu en la determinació de la dosi necessària.

Moltó *et al.* (1997), Martín (1999) i Moltó *et al.* (2001) van descriure el disseny i la implementació d'un prototipus per a l'aplicació de productes fitosanitaris en plantacions de cítrics. El funcionament de l'equip es basava en sensors d'ultrasons per a quantificar la semiampada de capçada. La diferència amb els polvoritzadors equipats amb sistemes de dosificació variable selectiva radica en la capacitat de quantificar la semiampada de la capçada i de polvoritzar, consegüentment, tres cabals diferents: cabal nul, cabal mig i cabal màxim. Aquesta característica l'aconseguien implementant dos circuits hidràulics en paral·lel per a cada semiarc de polvorització. Cadascun d'aquests circuits paral·lels disposava d'una electrovàlvula de solenoide que actuava segons les ordres del sistema de regulació en funció de la informació aportada pels sensor. La pressió de treball d'un dels dos circuits venia donada pel regulador de pressió general de l'equip. La pressió de l'altre circuit depenia d'una vàlvula manual. L'obertura i tancament de les corresponents electrovàlvules de solenoide permetia seleccionar el circuit de treball que, al seu torn, determinava el cabal a polvoritzar per cada semiarc de polvorització. En les zones on els sensors no detectaven capçada, el cabal polvoritzat era nul; en les zones inicials i finals de la capçada dels arbres aïllats, amb poca semiampada de capçada, el cabal emès era un cabal mig establert per l'usuari amb la manipulació de la vàlvula manual; el cabal emès en les zones de màxima amplitud de capçada, el cabal polvoritzat era el cabal màxim, establert segons manipulació del regulador de pressió general de l'equip.

Amb aquest sistema, els investigadors van registrar estalvis del 37% de producte respecte d'un tractament amb un polvoritzador hidropneumàtic convencional. Aquesta tecnologia va comportar una certa proporcionalitat en la polvorització en funció de les dimensions de la capçada. Tanmateix, degut a la utilització dels circuits paral·lels controlats per electrovàlvules de tipus tot o res, la proporcionalitat té esglaons importants. Actualment aquesta tecnologia està disponible al mercat amb el nom de EcoSmart (Fede pulverizadores, S.L., Xest, Espanya).

Rosell *et al.* (1996) van començar a desenvolupar un altre sistema per a variar el cabal de producte fitosanitari de forma proporcional contínua en temps real. L'objectiu era adaptar la quantitat de producte aplicat a les característiques canviants de la capçada de manera contínua, sense esglaons. En aquest cas, es va relacionar la distància mesurada per un sensor d'ultrasons, situat en un costat de l'equip, amb la semiampada de capçada i es polvoritzava un cabal de brou fitosanitari proporcional. Per tal de variar la dosificació, els autors van utilitzar una vàlvula electromagnètica d'alta freqüència capaç de modificar el cabal emès des del 0% al 100% de forma proporcional contínua a un senyal de control elèctric d'entre 0 V i 10 V. Al seu temps, el senyal de control era proporcional a les dimensions de la capçada. En proves realitzades en plantacions de perers, l'estalvi de producte aconseguit per aquest equip va arribar fins el 50% en comparació amb una aplicació convencional. Aquest treball és el precursor de la tesi doctoral que es presenta.

La tesi es va iniciar amb un Projecte Final de Carrera per a l'obtenció del títol d'enginyer agrònom (Escolà, 2001). Posteriorment, tot i que a la tesi doctoral es detalla tot el procés de desenvolupament, disseny, implementació i validació, a mesura que avançaven els treballs experimentals es van anar fent públics alguns dels resultats que s'anaven aconseguint. Així, l'any 2001 es va patentar un sistema per a la dosificació variable amb el nom de *Dispositivo para la aplicación de productos fitosanitarios a la vegetación* (Escolà *et al.*, 2001a). El sistema es va anar millorant i els resultats es van publicar en diversos congressos del sector (Escolà *et al.*, 2001b;

Solanelles *et al.*, 2001a; Solanelles *et al.*, 2002; Escolà *et al.*, 2002; Escolà *et al.*, 2003a; Escolà *et al.*, 2003b; Solanelles *et al.*, 2004a; Solanelles *et al.*, 2005; Escolà *et al.*, 2006; Escolà *et al.*, 2007). Paral·lelament, Camp (2005) realitza el seu Projecte Final de Carrera en aspectes relacionats amb el contingut de la tesi. L'any 2006 es va publicar un primer treball en una revista d'impacte (Solanelles *et al.*, 2006). En el sí del projecte coordinat PULVEXACT, es va adaptar el prototipus per a tractaments amb dosificació variable en fructicultura per a treballar en plantacions de vinya i es publiquen els primers resultats (Gil i Escolà, 2007; Gil *et al.*, 2007; Llop, 2009; Llorens *et al.*, 2010). En aquest apartat caldria tenir en compte els prototipus desenvolupats en el marc dels projectes PRECISPRAY i ISAFRUIT i ja descrits en els apartats 2.4.4.1 i 2.4.4.4, respectivament.

#### 2.6.2.4 Altres usos de les noves tecnologies en l'aplicació de fitosanitaris

En aquest apartat es presenten alguns exemples d'altres millores en el camp de la incorporació de noves tecnologies a l'aplicació de productes fitosanitaris.

Diversos autors consideren important polvoritzar a una distància constant de la capçada i desenvolupen polvoritzadors amb aquesta capacitat ja sigui en temps real com en base a mapes d'informació (Moltó *et al.*, 1998; Moltó *et al.*, 2000; van de Zande *et al.*, 2001; Meron *et al.*, 2003; van de Zande *et al.*, 2003).

Altres investigadors modifiquen el cabal d'aire dels polvoritzadors de manera automàtica per tal d'adaptar-lo a les característiques de la capçada o bé de l'entorn de l'explotació (Holownicki *et al.*, 2000b; Balsari *et al.*, 2005b; Salyani *et al.*, 2007; Doruchowski *et al.*, 2007). Balsari *et al.* (2005b) desenvolupen un polvoritzador que s'autoregula en funció de la informació emmagatzemada en xips distribuïts en les diferents parcel·les a tractar i que llegeix quan hi passa per damunt. L'autoregulació té en compte característiques morfològiques i evolutives de cada plantació. Els investigadors ideen aquesta solució davant l'evidència que pocs agricultors modifiquen la regulació dels seus polvoritzadors quan tracten parcel·les diferents.

Giles (2006) desenvolupa una tecnologia per tal de monitorar el comportament dels broquets hidràulics. El sistema es basa en la mesura de la freqüència de vibració dels broquets i la comparació amb la freqüència de vibració d'un broquet correcte. Actualment, el monitoratge del comportament d'un polvoritzador es realitzava en base a la mesura del cabal polvoritzat o bé a partir de la pressió de treball. En algunes situacions, podria succeir que un broquet obturat o desgastat passés desapercbut en termes de cabal o pressió però que la seva disfunció afectés el patró de solapament.

A Chueca *et al.* (2008) es descriu el disseny i implementació d'un polvoritzador per a l'aplicació de tractaments esmer a baix volum amb productes insecticides alternatius i menys perjudicials des del punt de vista ecotoxicològic (Gutiérrez *et al.*, 2006; Chueca, 2008; Chueca *et al.*, 2008). El polvoritzador incorporava un sensor d'ultrasons que permetia la identificació d'arbres i una electrovàlvula de solenoide que actuava sobre el circuit hidràulic del polvoritzador. El funcionament del sistema estava regulat per un dispositiu electrònic que determinava la freqüència d'aplicació (cada arbre, cada dos arbres o cada tercer arbre) i el temps i localització de la polvorització. El sistema es va assajar en plantacions de cítrics contra *Ceratitís capitata* (Wiedemann) amb resultats satisfactoris.



# **3** Identificació del problema i formulació de les hipòtesis de partida



### **3.1 Introducció**

---

Una vegada realitzada la revisió bibliogràfica i conegut l'estat de la recerca en el camp de l'aplicació de productes fitosanitaris en fructicultura de precisió, en aquest apartat es realitza una descripció de la problemàtica actual en el camp de la dosificació tot analitzant els diferents models de dosificació actualment en ús en diferents països arreu del món. Els resultats de l'anàlisi comportaran la formulació de tres hipòtesis de partida que caldrà acceptar o rebutjar a partir dels resultats dels assajos de validació.

### **3.2 Identificació del problema**

---

Actualment, a nivell mundial trobem diversos mètodes de dosificació; des d'expressions molt simplistes, com la que actualment està en ús a Espanya, fins a expressions més elaborades que tenen en compte diversos paràmetres del conreu. La recerca relacionada amb la determinació de les dosis de productes fitosanitaris a aplicar és molt antiga i comença en el mateix moment que es fa necessària l'aportació d'aquests productes en els sistemes de producció. Amb la mecanització de les aplicacions, aquesta recerca es torna a reprendre de manera per tal de realitzar aplicacions el més eficients possible.

Amb els problemes mediambientals causats per mals usos dels productes fitosanitaris i l'accessibilitat de les noves tecnologies en agricultura, la recerca en la dosificació de productes fitosanitaris ha pres un nou impuls. Per un costat, la tecnologia ha permès i continuarà permetent dissenyar equips d'aplicació cada vegada més eficients i, per l'altre costat, el desenvolupament de l'agricultura de precisió i, més concretament, de la fructicultura de precisió, permetrà conèixer amb detall quines són les necessitats del conreu.

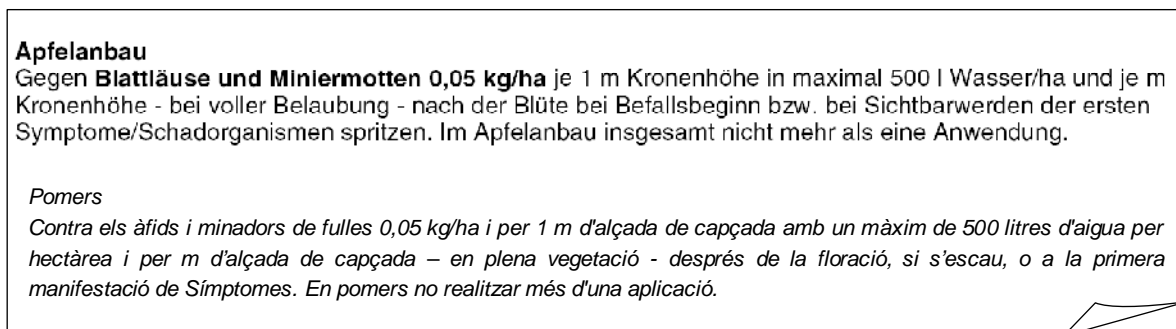
#### **3.2.1 Comparativa de mètodes de dosificació**

En aquest apartat s'han realitzat els càlculs de la dosi de matèria activa a aplicar en una plantació fictícia a partir de la informació que consta en l'etiqueta d'un mateix producte comercialitzat a diferents països de la Unió Europea. El producte seleccionat és el Confidor (Bayer CropScience AG, Monheim am Rhein, Alemanya), un insecticida que té com a matèria activa el imidacloprid. Per tal de realitzar els càlculs, s'han comparat les etiquetes del producte que es comercialitza a Alemanya, Austràlia, Àustria, Bèlgica, Espanya, França i Suïssa. Hi ha països dels esmentats que proposen dosis diferents amb la possibilitat d'escollir entre un valor mínim i un valor màxim o bé que indiquen dosis diferents per a plagues o conreus diferents. Fins i tot, hi ha països que indiquen expressions de dosi diferenciades. Aquestes excepcions es recullen com a variants del mateix país.

Tal com quedarà palès amb la lectura de les etiquetes, en molt pocs casos es donen indicacions sobre l'amplada ni de la densitat foliar de la capçada ni del marc ni de l'edat de la plantació ni del seu estat vegetatiu. Tanmateix, cal tenir en compte que al centre i nord d'Europa, les plantacions són de dimensions molt més reduïdes i és probable que aquesta manca d'informació no afecti

excessivament el resultat final de les aplicacions. En les plantacions de la zona de Lleida, Catalunya, zona de la Vall de l'Ebre i sud de França, aquesta informació és de summa importància donades les dimensions de les capçades que cal tractar.

A Alemanya, la dosi s'expressa per unitat de superfície conreada i alçada de la capçada. Per un costat es determina la matèria activa a aplicar i per l'altre, i de manera totalment independent, el volum d'aplicació unitari. Tal com es veu al fragment d'etiqueta adjunt (Figura 3.1), la dosi a aplicar és de 0,05 kg/ha/m<sup>alçada capçada</sup>, mentre que el volum d'aplicació unitari ha de ser, com a màxim, de 500 L<sub>brou</sub>/ha/m<sup>alçada capçada</sup>.



**Figura 3.1.-** Fragment de l'etiqueta del producte Confidor (Bayer CropScience AG, Monheim am Rhein, Alemanya) en la seva versió alemanya (font: www.bayercropscience.com).

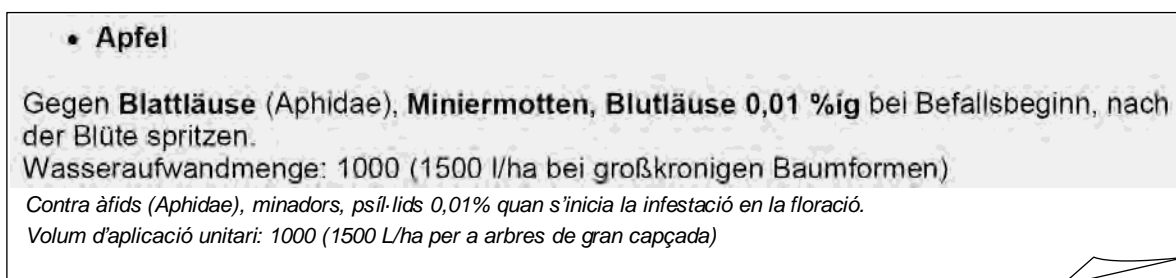
A Austràlia, la dosi s'expressa segons concentració al dipòsit. No dona indicacions de quin ha de ser el volum d'aplicació unitari ni al fragment d'etiqueta adjunt (Figura 3.2) ni a la resta d'etiqueta. Tal com s'aprecia, no es donen indicacions sobre l'amplada ni l'alçada ni de la densitat foliar de la capçada ni del marc ni de l'edat de la plantació ni del seu estat vegetatiu.

Stone fruit	Green peach aphid Black peach aphid	<b>Dilute spraying</b> 25 mL/100 L <b>Concentrate spraying</b> Refer to the Mixing/ Application section	21 days	Apply at first sign of aphid infestation. Apply as a full cover spray, ensuring thorough coverage. Apply by dilute or concentrate spraying equipment. Apply the same total amount of product to the target crop whether applying this product by dilute or concentrate spraying methods. Do not use in equipment that requires rates greater than 125 mL/100 L of water (i.e. greater than 5 X concentrate).
-------------	--	---	---------	--

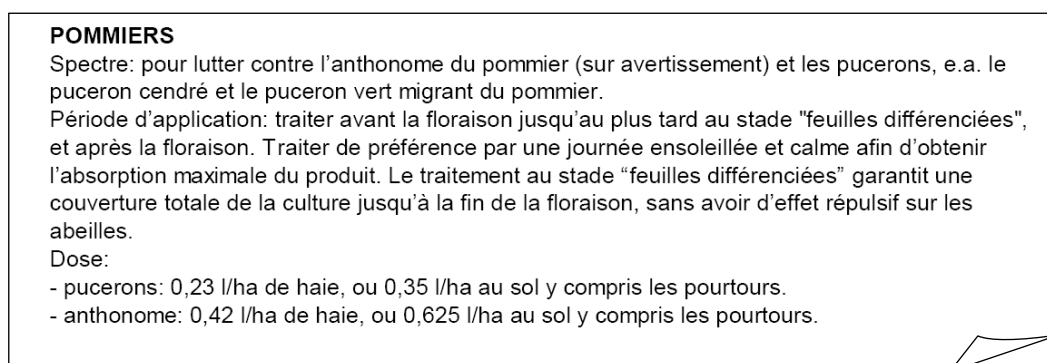
**Figura 3.2.-** Fragment de l'etiqueta del producte Confidor (Bayer CropScience AG, Monheim am Rhein, Alemanya) en la seva versió australiana (font: www.bayercropscience.com).

A Àustria, la dosi s'expressa segons concentració al dipòsit. En aquest cas, tal com s'aprecia a fragment d'etiqueta adjunt (Figura 3.3), es dona indicació del volum d'aplicació unitari a utilitzar. En la comparativa realitzada es pren un volum de 1.000 L/ha. En cap moment es donen indicacions sobre l'amplada ni l'alçada ni de la densitat foliar de la capçada ni del marc ni de l'edat de la plantació ni del seu estat vegetatiu.

A Bèlgica, la dosi s'expressa segons dos mètodes diferents de dosificació (Figura 3.4). Per una banda segons la superfície de paret vegetal i, per l'altra, per unitat de superfície conreada. A més a més, dona indicacions per a control de pugons (dosi menor) i per a control de corcs (dosi major). El resultat són quatre combinacions possibles recollides a la taula comparativa (Taula 3.1).

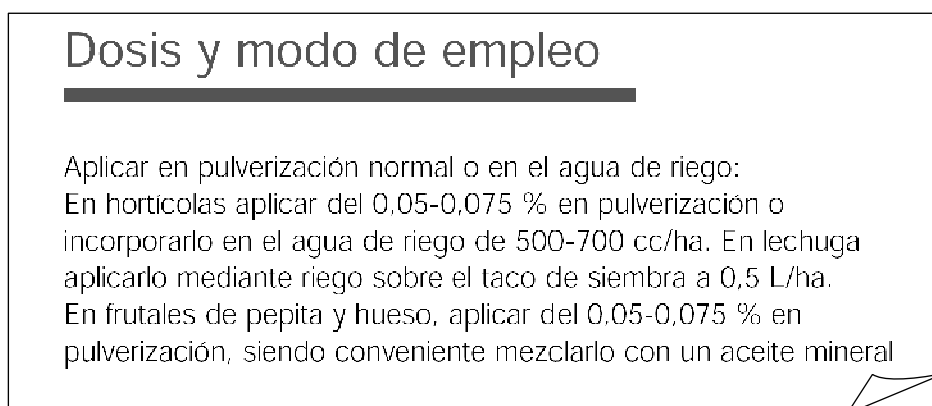


**Figura 3.3.-** Fragment de l'etiqueta del producte Confidor (Bayer CropScience AG, Monheim am Rhein, Alemanya) en la seva versió austríaca (font: www.bayercropscience.com).



**Figura 3.4.-** Fragment de l'etiqueta del producte Confidor (Bayer CropScience AG, Monheim am Rhein, Alemanya) en la seva versió belga (font: www.bayercropscience.com).

A Espanya ens trobem amb una de les etiquetes més simples (Figura 3.5). La dosi s'expressa segons concentració al dipòsit i dóna un marge entre 0,050% a 0,075% sense cap mena d'indicació sobre a què correspondria cada valor. A la taula comparativa (Taula 3.1) es determina la dosi per als dos valors proposats. Tampoc dóna cap indicació del volum d'aplicació unitari. No es donen indicacions sobre l'amplada ni l'alçada ni de la densitat foliar de la capçada ni del marc ni de l'edat de la plantació ni del seu estat vegetatiu.



**Figura 3.5.-** Fragment de l'etiqueta del producte Confidor (Bayer CropScience AG, Monheim am Rhein, Alemanya) en la seva versió espanyola (font: www.bayercropscience.com).



A França, la dosi s'expressa segons superfície (Figura 3.6). En funció del volum d'aplicació unitari escollit, cal dir que sense indicacions precises en aquest sentit, es proposen dos sistemes de dosificació diferents. Fins a 1000 L/ha de volum d'aplicació unitari, la dosificació és de 0,25 L/ha a 0,35 L/ha de preparació. Més enllà de 1000 L/ha, es dosifica per concentració entre 0,025 L/hL i 0,035 L/hL de preparació al dipòsit. Les diferents dosis corresponen al tipus d'àfid que es vulgui controlar (indicació que es dona en un altre fragment de l'etiqueta no recollit) i comporten dues entrades a la taula comparativa (Taula 3.1). No es donen indicacions del volum d'aplicació unitari ni indicacions sobre l'amplada ni l'alçada ni de la densitat foliar de la capçada ni del marc ni de l'edat de la plantació ni del seu estat vegetatiu.

En arboriculture, la quantité de produit nécessaire à l'hectare est basée sur le volume de bouillie logiquement nécessaire, en fonction du volume de végétation, pour atteindre la goutte pendante.  
En pratique, jusqu'à 1000 l/ha de bouillie, on utilisera un volume de CONFIDOR de 0,25 ou 0,35 l/ha selon l'usage. Au delà, il faudra maintenir la concentration de Confidor à 0,025 ou 0,035 l/hl.

**Figura 3.6.-** Fragment de l'etiqueta del producte Confidor (Bayer CropScience AG, Monheim am Rhein, Alemanya) en la seva versió francesa (font: www.bayercropscience.com).

A Suïssa, la dosi s'expressa segons dos mètodes diferents de dosificació, per TRV i per concentració a 1600 L/ha (Figura 3.7). En el nostre cas, es calcula el TRV a partir d'una secció transversal rectangular (Equació 2.10) i a partir d'una secció triangular (Equació 2.11), a més de calcular la dosi segons el mètode de concentració. Això donarà lloc a tres entrades a la taula comparativa (Taula 3.1).

**Dosage:**

- 0,035 % (35 ml/100 litres d'eau) pour les bouillies à concentration simple (1'600 l/ha) ou **0,56 l/ha de Confidor OD** pour un volume d'arbres de 10'000 m<sup>3</sup>. Pour les traitements concentrés, nous conseillons en fonction du volume des arbres à traiter, une quantité d'eau de 600 à 1'000 litres par hectare. Litrage supérieur surtout conseillé en situation difficile (forte attaque, sécheresse, conditions défavorables à la croissance).

**Figura 3.7.-** Fragment de l'etiqueta del producte Confidor (Bayer CropScience AG, Monheim am Rhein, Alemanya) en la seva versió suïssa (font: www.bayercropscience.com).

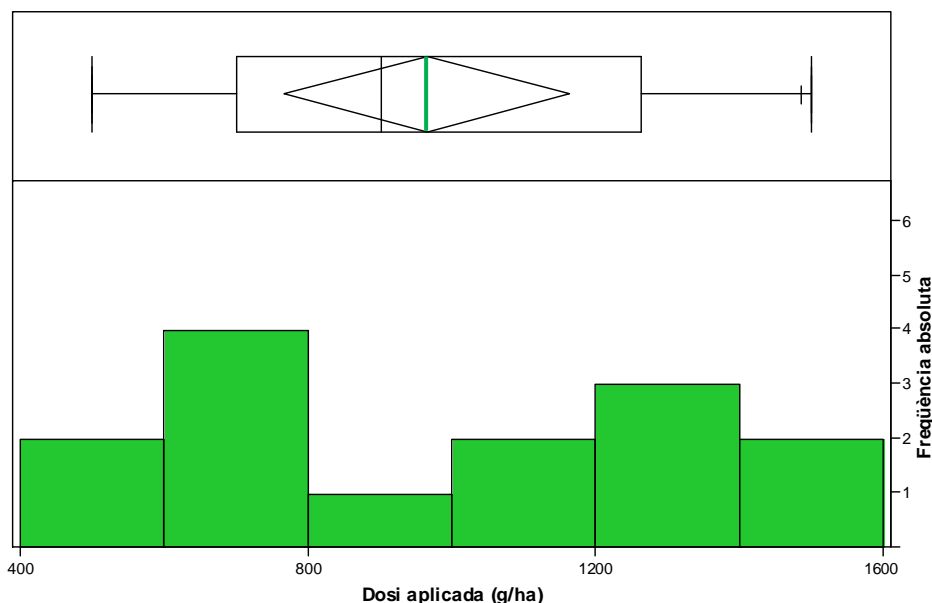
A la Taula 3.1 es mostren els resultats de la determinació de la dosi d'imidacloprid aplicada a la plantació fictícia segons les indicacions recollides en cadascuna de les etiquetes. La variació de les dosis obtingudes es quantifica amb els estadístics descriptius desviació estàndard i coeficient de variació. La plantació fictícia té una superfície de 10 ha amb una amplada de carrer de 4 m, una separació entre arbres de 2 m, una amplada de la capçada màxima de 2 m i una amplada de capçada de 1,5 m mesurada a 2,25 m de terra, una alçada d'arbre de 4 m, una alçada de capçada de 3,5 m, un TRV de 11.667 m<sup>3</sup>/ha calculat segons l'Equació 2.10 o de 6.563 m<sup>3</sup>/ha si es calcula segons l'Equació 2.11, segons si es considera una secció transversal rectangular o triangular respectivament, i una superfície de paret vegetal (SPV) de 17,5 ha calculada segons l'Equació 2.7. S'estima com a adequat un volum d'aplicació unitari de 1.000 L/ha per a un correcte repartiment del producte fitosanitari.

Tal i com s'observa a la Taula 3.1, dosificar segons paràmetres diferents comporta, en el cas estudiat, una variabilitat de les dosis aplicades del 36% expressada en forma de coeficient de variació. Encara que una part d'aquesta variabilitat pot ser atribuïda a les diferències en els registres dels diferents països, l'ideal seria que, independentment de l'expressió utilitzada, la dosi final aplicada fos la mateixa. A la Figura 3.8 s'observa clarament la dispersió de les dosis calculades tant en l'histograma com al diagrama de caixa (tant en la dispersió dels percentils com en l'interval de confiança de la mitjana).

**Taula 3.1.-** Comparació de la quantitat d'imidacloprid aplicada a una mateixa plantació fictícia a partir de les etiquetes de l'insecticida Confidor (Bayer CropScience AG, Monheim am Rhein, Alemanya) aprovades en diferents països (font: elaboració pròpia a partir de la informació obtinguda a [www.bayercropscience.com](http://www.bayercropscience.com)).

País	Concentració d'imidacloprid	Dosificació en etiqueta	Volum d'aplicació unitari (L/ha)	Imidacloprid total aplicat (g)
ALEMANYA	700 g/kg	0,050 kg/ha/m <sub>ac</sub>	1.750	1.225
AUSTRÀLIA	200 g/L	0,025 L/hL	1.000*	500
ÀUSTRIA	700 g/kg	0,010 kg/hL	1.000	700
BÈLGICA (1)	200 g/L	0,230 L/SPV	-	805
BÈLGICA (2)	200 g/L	0,420 L/SPV	-	1.470
BÈLGICA (3)	200 g/L	0,350 L/ha	-	700
BÈLGICA (4)	200 g/L	0,625 L/ha	-	1.250
ESPANYA (1)	200 g/L	0,050 L/hL	1.000*	1.000
ESPANYA (2)	200 g/L	0,075 L/hL	1.000*	1.500
FRANÇA (1)	200 g/L	0,250 L/ha	1.000*	500
FRANÇA (2)	200 g/L	0,350 L/ha	1.000*	700
SUISSA (1)	200 g/L	0,560 L/ha/10 <sup>4</sup> TRV	433	1.307
SUISSA (2)	200 g/L	0,560 L/ha/10 <sup>4</sup> TRV	331	735
SUISSA (3)	200 g/L	0,035 L/hL	1.600	1.120
Mitjana ≈				965
Desv. est. ≈				346
CV ≈				36 %

m<sub>ac</sub>: metre d'alçada de capçada; \*: volum d'aplicació unitari adient estimat per al cas de la plantació fictícia sense indicacions de l'etiqueta; **SPV**: Superfície de Paret Vegetal. (i): els números entre parèntesi indiquen diferents opcions de dosificació.



**Figura 3.8.-** Histograma de freqüències absolutes i diagrama de caixa representant la distribució dels valors de les dosis a aplicar en una plantació fictícia a partir de les etiquetes del mateix producte comercialitzat en països diferents. La línia verda del diagrama de caixa representa el valor de la mitjana de les dosis obtingudes.

### 3.2.2 Observacions

Tal com s'ha indicat a la revisió bibliogràfica, els resultats més favorables en assajos de deposició s'aconsegueixen emprant expressions de la dosi que tenen en compte característiques de la capçada. En gran mesura, aquest fet és degut a la manca d'informació que presenten les etiquetes dels productes que proposen una dosificació per concentració o per superfície. Això s'arreglaria si a les etiquetes s'hi incloguessin les característiques de les capçades en les que s'han realitzat els assajos de registre dels productes, sempre que els assajos de registre es fessin en condicions similars a les de les explotacions comercials (Furness i Magarey, 2000; Garnett, 2006) o si s'hi indiqués quina és la hectàrea de referència amb la que es pensa quan es proposa una dosi determinada. Una altra millora important seria que l'expressió de la dosi tingués també en compte el polvoritzador utilitzat i els seus paràmetres de treball i l'eficiència d'aplicació deguda a d'altres factors que intervenen en el procés d'aplicació.

Pergher i Petris (2008) mantenen que les etiquetes de productes actuals no motiven que el fructicultor adapti la dosi a les característiques de la seva plantació. La majoria d'etiquetes donen només un valor màxim de dosi de producte a aplicar i n'hi ha molt poques que facilitin indicacions per a modificar-la a partir de paràmetres de les plantacions com l'edat, l'estadi vegetatiu, el grau d'infestació, el marc de plantació, la densitat foliar de la capçada o la forma i les dimensions de la capçada, entre d'altres. Manktelow i Praat (2000) argumenten que per a racionalitzar l'ús de productes fitosanitaris cal fer arribar al fructicultor informació que integri aspectes del control biològic de la plaga o malura, la superfície objectiu en la que s'ha de dipositar i algun mètode que permeti fàcilment interpretar la dosi recomanada i relacionar-la amb seva plantació i el seu polvoritzador.

Altres autors també advoquen per l'harmonització de les dosis i les seves expressions dins de la Unió Europea per tal de reduir la incertesa que actualment hi ha sobre el tema, poder comparar els resultats de les aplicacions i evitar confusions en la selecció de la dosi requerida (Jaeken, 2001; Rüegg *et al.*, 2001; Frießleben i Koch, 2005; Frießleben *et al.*, 2007; Koch, 2007).

Tanmateix, el mètodes que tenen en compte paràmetres de la capçada presenten dos inconvenients importants. Per un costat, cal realitzar mesures acurades de la capçada per a poder determinar correctament la dosi a aplicar. Això comporta que, abans de cada aplicació, l'agricultor ha de mesurar els paràmetres de la plantació que requereixi el mètode de dosificació establint un sistema de mostratge representatiu de tota la plantació. Si aquesta operació es vol fer de manera precisa, el volum de feina podria arribar a ser considerable.

D'altra banda, per molt representatives que siguin les mesures realitzades, qualsevol sistema de dosificació que no permeti un ajust dinàmic de la dosi aplicada no és possible que tingui en compte la variabilitat de la capçada dins la pròpia plantació. Aquesta variabilitat es dona entre zones allunyades de la plantació però també es dona en la mateixa fila d'arbres i, fins i tot, entre individus o franges de capçada adjacents.

Fins fa pocs anys, l'objectiu d'un bon tractament foliar era distribuir el producte fitosanitari de la manera més uniforme possible en tota la superfície de la plantació. En aquells moments, la dosificació es realitzava en base a criteris de superfície conreada. A part de les dificultats descrites a l'apartat anterior per a determinar la dosi a aplicar, el fet de no tenir en compte la capçada provocava una alta variabilitat de les deposicions de producte sobre les fulles (Hall, 1991; Kaul *et*

*al.*, 1996; Cross *et al.*, 1997b; Furness *et al.*, 1998; Manktelow, 1998; Manktelow i Praat, 2000; Koch i Weisser, 2001; Meron *et al.*, 2003; Walklate *et al.*, 2003a; Walklate *et al.*, 2003b; Manktelow *et al.*, 2004; Guisard i Birch, 2005; Xu *et al.*, 2006; Frießleben *et al.*, 2007; Walklate *et al.*, 2007; Cross i Walklate, 2008; Pergher i Petris, 2008).

En èpoques més recents es va veure que, si l'objectiu de l'aplicació eren les plagues i les malalties i aquestes estaven localitzades en la capçada, el que convenia era aconseguir distribucions de producte uniformes en la capçada. És en aquest moment quan es comencen a tenir en compte paràmetres de la capçada per tal d'adaptar la dosi aplicada a la seva diana. L'objectiu d'aquella aplicació foliar de qualitat és ara aconseguir una quantitat de producte dipositada en la capçada el més uniforme possible en tota l'explotació.

L'aparició de l'agricultura de precisió ha provocat un canvi en l'escala d'observació del conreu. Si fins fa molt pocs anys la unitat de maneig era la parcel·la, actualment, a nivell de recerca, la unitat de treball podria arribar a ser l'individu mateix. Això implica adaptar els mitjans de treball de les explotacions a aquesta escala cosa que, amb l'actual desenvolupament tecnològic, és possible. En el cas anterior del tractament foliar, calia determinar la dosi d'aplicació per tal de regular un polvoritzador per a que distribuís el producte fitosanitari mantenint els paràmetres de treball en tota la parcel·la. Encara que la determinació de la dosi es realitzés a partir d'expressions adaptades al conreu, és evident que la mateixa variabilitat del conreu dificultava assolir l'objectiu de l'aplicació, que era una deposició uniforme en la capçada. L'evolució tecnològica dels darrers anys permet pensar en mètodes dinàmics de dosificació que vagin modificant la quantitat de producte aplicada a mesura que avanci el polvoritzador per tal de tenir en compte la variabilitat de la capçada.

De les expressions de dosi revisades a l'apartat anterior, les més evolucionades que s'utilitzen actualment tan sols poden tenir en compte la variabilitat interplantació. Es tracta d'expressions que permeten determinar la dosi a aplicar en una parcel·la tenint en compte diversos paràmetres del conreu. El problema és que, en el moment de portar-les a la pràctica amb els polvoritzadors actuals, perden tota capacitat d'adaptació al conreu més enllà de les situacions amb grans diferències que hi pugui haver entre dos parcel·les diferents en les que es procedirà a reajustar el polvoritzador. En una mateixa parcel·la és possible establir diferències mesurables que permeten crear zones de maneig específic encara que, amb les tècniques de mesura actual, aquestes diferències es detecten fins i tot entre individus de la mateixa filera. El fet de determinar una única dosi per a tota una parcel·la, fa que aquesta hagi de ser l'adient per a les zones més desfavorables de la plantació per tal d'evitar àrees infradosificades. Per aquest motiu, resulta raonable intuir que un percentatge elevat de la vegetació de la parcel·la resultarà sobredosificat. Tanmateix, no és només el mètode en sí el que limita l'ajust dinàmic de les dosis sinó també el sistema de dosificació que es faci anar. La dosi requerida és determinada a partir de valors mitjans de la capçada per tal que s'adapti a tota la plantació. En cas d'utilitzar un polvoritzador convencional, l'equip es regula abans d'iniciar el tractament per a aplicar correctament la dosi determinada i es procedeix a recórrer tota la parcel·la dosificant de forma constant.

La incorporació de les noves tecnologies en l'agricultura permet pensar en el disseny i implementació de sistemes que vagin ajustant el producte aplicat de manera variable a partir dels valors instantanis dels paràmetres incorporats al mètode de dosificació.



### 3.3 Formulació de les hipòtesis de partida

---

A partir del problema identificat en els apartats anteriors, en aquest treball de recerca s'han plantejat tres hipòtesis de partida:

**Hipòtesi 1.-** Les capçades de les explotacions fructícoles intensives típiques de la zona de Lleida i similars presenten una variabilitat important entre zones de la mateixa plantació, dins de la mateixa fila, entre individus i, fins i tot, entre franges adjacents del mateix individu; aquest fet contribueix a incrementar la variabilitat de les deposicions de productes fitosanitaris aconseguides mitjançant la polvorització de les plantacions.

**Hipòtesi 2.-** És possible implementar un polvoritzador equipat amb la tecnologia necessària per a la dosificació variable contínua en temps real que permeti adaptar la dosi aplicada a les característiques geomètriques de la capçada de la plantació.

**Hipòtesi 3.-** Un mètode dinàmic de dosificació per a l'aplicació de productes fitosanitaris que tingui en compte paràmetres geomètrics de la capçada i la seva variabilitat dins d'una plantació pot aconseguir aplicacions equivalents o més favorables que les que es realitzen amb mètodes i equips convencionals en termes d'eficàcia del tractament, d'eficiència d'aplicació, de variabilitat de les deposicions i de respecte pel medi ambient. L'aplicació de productes fitosanitaris mitjançant aquest mètode comportaria la reducció de les pèrdues de producte tant a terra com a l'atmosfera contribuint a disminuir l'impacte ambiental de l'agricultura i a millorar els resultats econòmics de les explotacions.



# 4 Objectius





## 4.1 Objectiu general

---

L'objectiu general d'aquesta tesi doctoral és desenvolupar i validar un mètode de dosificació que permeti incrementar significativament l'eficiència d'aplicació, reduir les pèrdues i disminuir la variabilitat de les deposicions sense perjudicar l'eficàcia de les aplicacions de productes fitosanitaris en plantacions fructíferes.

El mètode proposat es basa en la mesura en continu de característiques geomètriques de la capçada a tractar amb dispositius electrònics i en dosificar el producte fitosanitari a aplicar de forma variable, contínua i en temps real en funció de la informació obtinguda. Amb el desenvolupament d'aquest mètode es vol donar un impuls a la innovació en el camp de la fructicultura de precisió.

## 4.2 Objectius específics

---

La validació de les hipòtesis de partida en les que es basa el mètode de dosificació a desenvolupar requereix la verificació i contrastació dels resultats en condicions reals de treball. Donat que actualment no existeix al mercat cap equip capaç de realitzar aplicacions amb requeriments establerts, es fa necessari dissenyar i implementar un prototipus de polvoritzador amb les característiques necessàries per a treballar en condicions de camp.

En base a aquest condicionant, s'estableixen els següents objectius específics:

1. Desenvolupar un sistema per a la caracterització de la capçada que permeti la seva detecció i quantificació per tal de poder ajustar la dosi necessària.
2. Desenvolupar un sistema electrònic de regulació capaç d'analitzar la informació generada pel sistema de caracterització de la capçada i aplicar el mètode d'ajust de dosi desenvolupat. El sistema haurà de generar i enviar les ordres als actuadors responsables de la regulació del prototipus per a aplicar la dosificació establerta en el marc de les anomenades tecnologies de dosificació variable.
3. Desenvolupar un sistema d'ajust variable del cabal de polvorització per tal d'adaptar-lo a la dosificació requerida.
4. Implementar un prototipus a partir de la integració dels sistemes desenvolupats per a avaluar la bondat del mètode de dosificació que es presenta en aquest treball de recerca.
5. Validar les hipòtesis de partida proposades.



# 5

## **Desenvolupament del mètode dinàmic de dosificació**



## 5.1 Introducció

---

Al Capítol 3 Identificació del problema i formulació de les hipòtesis de partida, es posa de manifest la problemàtica actual a l'hora de decidir la dosi de matèria activa necessària i com adaptar-la a una plantació determinada. A l'apartat 2.4.2 Models d'expressió de la dosi de la revisió bibliogràfica s'han descrit els treballs realitzats a la recerca de desenvolupar una expressió de la dosi a aplicar que redueixi la variabilitat de les deposicions. A partir d'aquesta informació, en el present apartat es desenvolupa un mètode de dosificació que ha de permetre superar part de la problemàtica que presenten els mètodes de dosificació emprats actualment.

## 5.2 Mètode de dosificació

---

L'anàlisi dels inconvenients dels actuals mètodes de dosificació exposats conclou que el mètode de dosificació proposat ha de ser un mètode dinàmic per tal de reduir la variabilitat detectada a les aplicacions foliars actuals. Per tant, el mètode de dosificació ha de permetre la modificació de la dosificació de manera contínua al llarg de les files de la plantació a partir de mesures precises i representatives de les capçades dels arbres.

A continuació es presenta el desenvolupament del mètode de dosificació a partir d'una metodologia de treball per etapes. A la etapa 1 es desenvolupa un mètode preliminar més senzill, el Mètode 1 de dosificació, que ha servit com a punt de partida i primera avaluació de les possibilitats d'utilització de la dosificació variable. L'etapa 2 dona lloc al Mètode 2 de dosificació, més elaborat, resultat final del present treball de recerca.

### 5.2.1 Mètode 1 de dosificació

En una primera etapa, es va desenvolupar un mètode de dosificació a partir de la fórmula de dosificació convencional (Equació 2.6) que és una expressió general per a la distribució de qualsevol producte en una superfície conreada. Es va decidir partir d'aquest punt per a realitzar una primera validació del mètode de dosificació i avaluar les seves possibilitats sense diferir excessivament de la metodologia emprada actualment en el sector. El mètode consisteix en establir el cabal a polvoritzar, determinat mitjançant l'Equació 2.6, com el cabal màxim que ha d'aplicar el polvoritzador en el seu conjunt (Equació 5.1).

Equació 5.1 
$$Q_{M\grave{a}x} = \frac{a \cdot v \cdot V_A}{600}$$

On  $Q_{M\grave{a}x}$  és el cabal màxim que ha d'aplicar el polvoritzador en el seu conjunt, expressat en L/min;  $a$  és l'amplada de carrer de la plantació, expressada en m;  $v$  és la velocitat d'avanç de l'equip, expressada en km/h;  $V_A$  és el volum d'aplicació unitari, expressat en L/ha.

El pas següent és considerar el número de seccions independents que té el polvoritzador per a determinar el cabal màxim que cadascuna d'elles hauria d'aplicar (Equació 5.2).

**Equació 5.2**

$$q_{M\grave{a}x} = \frac{a \cdot v \cdot V_A}{600 \cdot N}$$

On  $q_{M\grave{a}x}$  és el cabal màxim que ha d'aplicar cada secció del polvoritzador, expressat en L/min;  $N$  és el número de seccions independents existents en el polvoritzador.

Finalment, el cabal a polvoritzar en cada punt de la plantació es determina introduint en l'Equació 5.2 un coeficient que pot prendre valors entre zero i u, encarregat de minorar el cabal sempre que sigui necessari i en la proporció oportuna (Equació 5.3).

**Equació 5.3**

$$q_j = \frac{a \cdot v \cdot V_A}{600 \cdot N} \cdot p$$

On  $q_j$  és el cabal instantani que ha d'aplicar una secció  $j$  del polvoritzador, expressat en L/min;  $p$  és el coeficient de reducció del cabal aplicat, adimensional.

El coeficient de minoració  $p$  (Equació 5.4) pren el valor de la raó entre la semiamplada de capçada del punt on es troba el sensor,  $c$ , i la semiamplada de capçada màxima de la plantació,  $c_{M\grave{a}x}$ , mesurada de manera prèvia al tractament (Figura 5.1).

**Equació 5.4**

$$p = \frac{c}{c_{M\grave{a}x}}$$

On  $p$  és el coeficient de minoració del cabal a aplicar, adimensional;  $c$  és la semiamplada instantània en un punt qualsevol de la plantació, expressada en m;  $c_{M\grave{a}x}$  és la semiamplada màxima de la plantació on es realitzarà el tractament, expressada en m.

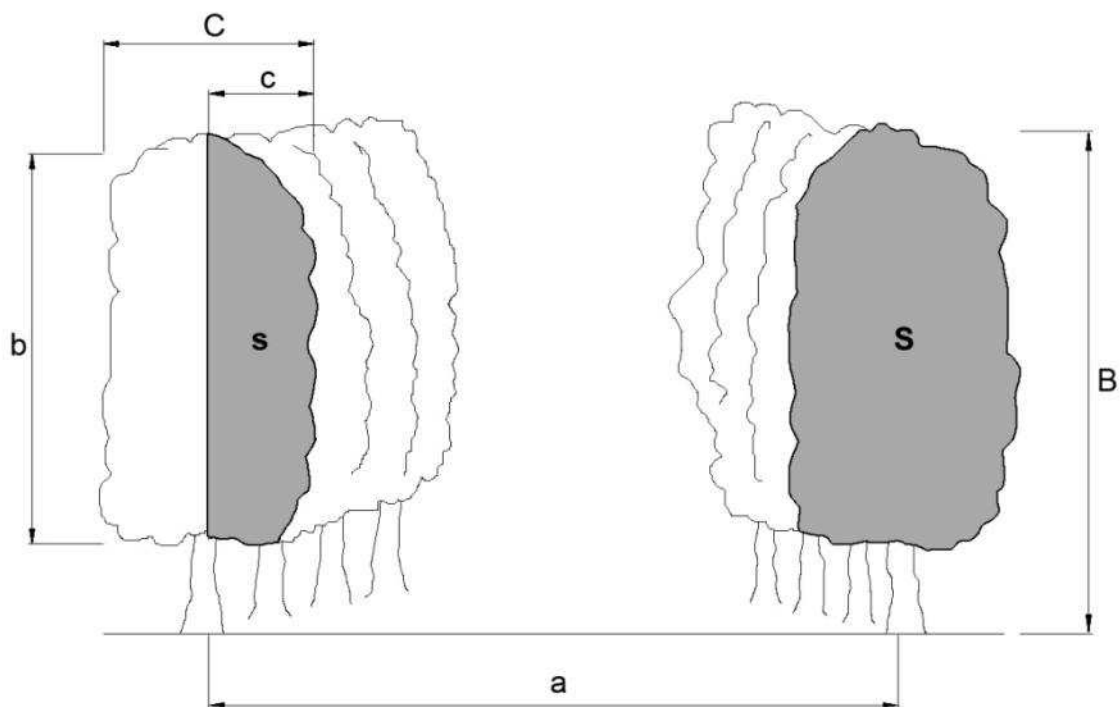
En els primers assajos, el valor de la semiamplada màxima es va determinar realitzant diverses mesures manuals en punts representatius de la plantació i seleccionant el valor màxim. En assajos posteriors es va procedir a la mesura electrònica d'un tram de capçada representatiu per a establir el valor de la semiamplada màxima i els corresponents percentils 90, 70 i 50 ( $c_{M\grave{a}x}$ ,  $c_{90}$ ,  $c_{70}$  i  $c_{50}$ , respectivament) per tal de determinar el valor més adient a introduir en l'Equació 5.4 i determinar el cabal de polvorització (Equació 5.3).

En les plantacions on es va analitzar el comportament del Mètode 1 de dosificació es va realitzar una modificació de la dosificació cada 10 cm en la direcció d'avanç del polvoritzador. Al Capítol 6 Caracterització de la capçada, s'analitza la freqüència de mostratge i d'actuació més adient per a aconseguir una dosificació adequada a la variabilitat que presenti la capçada de la plantació.

Aquest mètode de dosificació té dos inconvenients importants:

- a) Per un costat cal desplaçar-se a la plantació de manera prèvia a la realització dels tractaments per tal de prendre les mesures corresponents de la semiamplada de capçada màxima o del percentil que es consideri més adient. En el transcurs d'aquesta operació es poden produir errors com no seleccionar els individus més representatius de la plantació o cometre errors durant les mesures manuals que puguin distorsionar el tractament.

- b) Per altre costat, el Mètode 1 es basa en minorar un cabal que parteix del proposat pel mètode general de distribució de productes en una superfície conreada (Equació 2.6). Aquest cabal ve determinat per l'amplada del carrer, la velocitat d'avanç i el volum d'aplicació unitari desitjat. Aquest darrer paràmetre s'estableix en base a l'experiència de l'agricultor o del tècnic assessor, sovint en un procés difícilment objectivable.



**Figura 5.1.-** Esquema d'una plantació amb la indicació de l'amplada de carrer (a), l'alçada d'arbre (B), l'alçada de capçada (b), l'amplada de capçada (C), la semiamplada de capçada (c), la secció transversal (S) i la semisecció transversal (s).

El Mètode 1 va servir per demostrar que un mètode dinàmic de dosificació podia donar bons resultats. Malgrat això, calia continuar la recerca per tal de dissenyar un mètode que permetés determinar la dosi d'aplicació d'una manera més objectiva i reproduïble. El resultat del treball realitzat és el Mètode 2.

### 5.2.2 Mètode 2 de dosificació

Una vegada validats els resultats del Mètode 1 i, per tant, confirmada la possibilitat d'utilitzar amb èxit mètodes dinàmics per a la distribució de la dosi, es va procedir a la cerca d'un algorisme per a obtenir la màxima eficiència del mètode proposat.

Aquest mètode es basa en determinar el volum de capçada instantani i en aplicar el corresponent volum de brou fitosanitari a partir de la participació d'un coeficient experimental. Aquest coeficient representa aquell volum de brou necessari per a distribuir correctament la dosi de matèria activa que es vol aplicar en un determinat volum unitari de capçada. Aquest coeficient s'anomena coeficient d'aplicació i s'expressa amb la lletra *i*.



**Equació 5.5**

$$V_A = V_{CS} \cdot i$$

On  $V_A$  és el volum d'aplicació unitari, expressat en  $L_{\text{brou}}$ ;  $V_{CS}$  és el volum de capçada unitari, expressat en  $m^3_{\text{capçada}}/\text{ha}$ ;  $i$  és el coeficient d'aplicació, expressat en  $L_{\text{brou}}/m^3_{\text{capçada}}$ .

**Equació 5.6**

$$i = \frac{V_b}{V_{cu}}$$

On  $i$  és el coeficient d'aplicació, expressat en  $L_{\text{brou}}/m^3_{\text{capçada}}$ ;  $V_b$  és el volum de brou fitosanitari, expressat en  $L_{\text{brou}}$ ;  $V_{cu}$  és un volum de capçada unitat, expressat en  $m^3$ .

El coeficient d'aplicació cal determinar-lo empíricament per a cada plantació o bé serà necessari realitzar una bateria d'assajos per tal de tabular el seu valor segons l'espècie i la varietat, segons el sistema de formació, segons l'edat de la plantació i segons l'estadi fenològic en el que es realitzi el tractament. En aquest treball, el coeficient d'aplicació s'ha determinat a partir de l'experiència empírica dels nombrosos assajos de deposició realitzats pel Centre de Mecanització Agrària del Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural de la Generalitat de Catalunya en els darrers anys.

Per tal d'aplicar aquest mètode de dosificació en temps real, cal realitzar l'estimació del volum de capçada a mesura que es realitza el tractament. Per aquest motiu cal embarcar sensors al polvoritzador per a la caracterització electrònica de la capçada. Els sensors han de proporcionar una estimació de la superfície continguda en el pla delimitat pel perímetre extern de la capçada i el pla vertical que passa per l'eix longitudinal de la fila, a partir d'ara semisecció transversal de la capçada (Figura 5.1). El fet de treballar amb les semiseccions transversals permet quantificar la capçada des del mateix punt de vista que un polvoritzador durant l'execució d'un tractament ja que l'aplicació de producte fitosanitari es realitza des d'ambdós costats de la fila i, per tant, es pot considerar que es tracta la meitat de la capçada des de cada costat. Aquest paràmetre bidimensional, quan es multiplica per la velocitat d'avanç del tractor esdevé un volum de capçada per unitat de temps. Si aquest paràmetre es multiplica pel coeficient d'aplicació específic de la plantació que s'està tractant, el resultat és el cabal instantani a polvoritzar per la meitat de l'arc de polvorització en un punt qualsevol de la plantació (Equació 5.7).

**Equació 5.7**

$$Q_c = 60 \cdot s \cdot v \cdot i$$

On  $Q_c$  és el cabal instantani a polvoritzar per un costat del polvoritzador, expressat en  $L/\text{min}$ ;  $s$  és la semisecció transversal de la capçada, expressada en  $m^2$ ;  $v$  és la velocitat d'avanç del polvoritzador, expressada en  $m/s$ ;  $i$  és el coeficient d'aplicació, expressat en  $L_{\text{brou}}/m^3_{\text{capçada}}$ .

Per tal de poder dosificar amb una resolució vertical major és convenient dividir l'arc de polvorització en seccions independents que permetin aplicar diferent cabal en tantes alçades com seccions diferents hi hagi. L'expressió per a determinar el cabal de cada secció és la descrita en l'Equació 5.8.

Equació 5.8

$$q_j = 60 \cdot s_j \cdot v \cdot i$$

On  $q_j$  és el cabal instantani a polvoritzar per la secció  $j$ , expressat en L/min;  $s_j$  és la fracció de la semisecció transversal que correspon a la secció  $j$ , expressada en  $m^2$ .

A les plantacions on es va avaluar el comportament del Mètode 2 de dosificació es va realitzar una modificació de la dosificació cada 10 cm o 20 cm en la direcció d'avanç del polvoritzador depenent del tipus de sensor utilitzat per a la caracterització de la capçada. Al Capítol 6 Caracterització de la capçada, s'analitza la freqüència de mostratge i d'actuació més adient per a aconseguir una dosificació adequada a la variabilitat que presenti la capçada de la plantació.

### 5.2.3 Observacions

Resulta evident que, tant el Mètode 1 com el Mètode 2, impliquen la modificació del cabal de brou fitosanitari a polvoritzar, i, per tant, del volum d'aplicació unitari, per tal d'aconseguir una dosi constant de matèria activa sobre l'objectiu (capçada). Si aquesta variació suposés un perjudici en les deposicions o bé en la distribució de la matèria activa en la capçada, el mètode no seria vàlid. La validació dels mètodes es descriu al Capítol 8 Assajos de validació del mètode de dosificació però treballs citats a la revisió bibliogràfica fonamenten la hipòtesi que la modificació del volum d'aplicació unitari no té per què afectar la deposició de producte en la capçada sempre que els paràmetres d'aplicació es mantinguin dins uns marges acceptables (Cross *et al.*, 2001b; Solanelles *et al.*, 2007).

En referència al recobriment, si el volum d'aplicació unitari es reduís per a un mateix volum de capçada, aquest es podria veure afectat ja que una disminució del volum d'aplicació unitari amb una mida de gota polvoritzada similar implica una reducció del número de gotes generades i, per tant, una reducció de la densitat d'impactes sobre la vegetació. Quan la reducció del volum d'aplicació unitari és proporcional a la disminució del volum de capçada, la disminució del número de gotes polvoritzades no hauria d'implacar, forçosament, una reducció en la densitat d'impactes sobre l'objectiu.

Per a aconseguir una dosi constant de matèria activa sobre l'objectiu (fullatge o brancatge) caldria que els fabricants indiquessin a les etiquetes dels seus productes quina és exactament la quantitat de matèria activa dipositada sobre l'objectiu necessària per al bon control de les plagues o malalties. Aquesta dada no és disponible actualment i, per tant, caldrà suposar-la a partir de la informació de qual es disposa. Actualment, a les etiquetes dels productes fitosanitaris comercialitzats a Espanya, la dosi de matèria activa a aplicar es dona indirectament a partir de la concentració de preparació al dipòsit. Aquesta concentració s'ha d'aplicar mitjançant un volum d'aplicació unitari determinat a partir de l'experiència del fructicultor o del tècnic que l'assisteixi ja que no està indicada a les etiquetes la forma de determinar-lo. En tot cas, sempre que el sistema d'agitació del polvoritzador funcioni correctament, suposarem que la concentració de matèria activa en cada gota és similar a la concentració del brou al dipòsit i, per tant, conté la quantitat de matèria activa necessària per a controlar la plaga correctament. El que cal aconseguir és distribuir correctament aquestes gotes per a que entrin en contacte amb la plaga o malaltia que es desitja controlar i aquest objectiu també es pot assolir aplicant els mètodes desenvolupats. Amb el Mètode 1, l'únic que es fa és disminuir el volum d'aplicació unitari corresponent a la zona de la plantació amb més vegetació i, per tant, teòricament no es reduiria la dosi de matèria activa sobre l'objectiu quan es reduís el volum d'aplicació unitari de manera proporcionada en zones amb

menys vegetació. Amb el Mètode 2, el que es fa és mesurar el volum de capçada per a aplicar-li el volum de brou fitosanitari adient i, per tant, sempre que el coeficient d'aplicació sigui correcte, la dosi de matèria activa sobre l'objectiu hauria de ser suficient per al control de la plaga o malura.

En les etiquetes dels diferents productes hi apareix la informació que legalment els és requerida als fabricants. És per aquest motiu que, a més de desenvolupar tecnologia per millorar les aplicacions de productes fitosanitaris, també caldrà modificar la legislació actual per a que l'administració i els fabricants de productes fitosanitaris s'adaptin a l'evolució de les tècniques d'aplicació i en facilitin la seva implantació indicant a les etiquetes dels productes fitosanitaris tota la informació necessària per a poder realitzar tractaments eficaços i, alhora, més eficients.





# 6

## **Caracterització de la capçada en temps real**



## 6.1 Introducció

Al Capítol 5 s'han desenvolupat dos mètodes dinàmics de dosificació. Per tal de validar els mètodes desenvolupats així com també la Hipòtesi 1, referent a la variabilitat de la capçada en les plantacions fructícoles, és necessari el disseny d'un sistema que permeti la caracterització precisa, contínua i en temps real de la capçada. En aquest apartat es descriuen els materials i mètodes utilitzats en el disseny d'un sistema per a la caracterització electrònica de la capçada en temps real, els resultats obtinguts i les conclusions a les que s'arriba. Els assajos de validació en laboratori s'han dut a terme a les instal·lacions del Centre de Mecanització Agrària del Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural de la Generalitat de Catalunya amb la col·laboració dels seus tècnics.

## 6.2 Materials i mètodes

### 6.2.1 Metodologia general

El principi del sistema de caracterització de la capçada en temps real és la utilització de sensors que permetin l'estimació directa o indirecta d'algun dels paràmetres geomètrics de la Figura 5.1 i de la Figura 6.1. La informació aportada pels sensors ha de ser adquirida i tractada mitjançant els dispositius electrònics adequats. Per a l'aplicació del Mètode 1 de dosificació variable, el paràmetre a estimar és la semiamplada de capçada instantània ( $c$ ). Per a aplicar el Mètode 2, és necessari determinar la semisecció transversal de la capçada ( $s$ ) corresponent a cada lectura dels sensors. El desplaçament dels sensors pels carrers de la plantació permet la successió de lectures per a l'estimació de les respectives semiseccions instantànies. L'estimació del volum de capçada es realitza a partir de l'extrusió de les semiseccions transversals instantànies fins a la següent lectura.

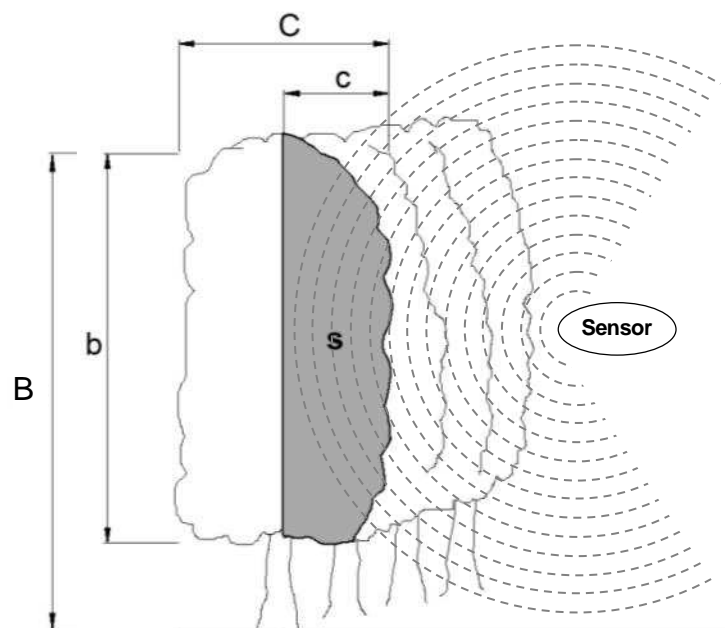


Figura 6.1.- Principi del sistema de caracterització de la capçada en temps real.



## 6.2.2 Sensors per a la caracterització de la capçada

En iniciar aquest treball de recerca es va decidir utilitzar els sensors de distància basats en ultrasons per a la caracterització de la capçada. Aquesta decisió es va prendre motivada per la revisió bibliogràfica dels treballs de recerca més recents sobre la temàtica que indicaven que eren adients per a tal aplicació (McConnell *et al.*, 1983; Giles *et al.*, 1987; Giles *et al.*, 1988; Giles *et al.*, 1989a; Giles *et al.*, 1989b; Rosell *et al.*, 1996; Balsari i Tamagnone, 1997; Balsari i Tamagnone, 1998; Martín, 1999; Holownicki *et al.*, 2000b; Moltó *et al.*, 2000; Moltó *et al.*, 2001).

Posteriorment, després d'haver assolit els primers resultats amb sensors d'ultrasons, el grup de recerca en el que s'emmarca aquest treball va començar la posada a punt d'un sensor làser basat en tecnologia lidar (*light detection and ranging*) motivat pels resultats obtinguts per altres col·legues (Wangler *et al.*, 1993; Wangler *et al.*, 1994; Walklate *et al.*, 1997a; Walklate *et al.*, 1997b; Jiménez *et al.*, 1999; Walklate *et al.*, 2000a; Tumbo *et al.*, 2002a; Walklate *et al.*, 2002; Wei i Salyani, 2004; Salyani, 2005; Wei i Salyani, 2005; Walklate *et al.*, 2006b). Els resultats obtinguts foren molt satisfactoris però requerien un postprocés important en gabinet (Rosell *et al.*, 2004; Sanz *et al.*, 2004; Llorens, 2005; Sanz *et al.*, 2005a; Sanz *et al.*, 2005b; Arnó *et al.*, 2006; Llorens *et al.*, 2007; Palacín *et al.*, 2008; Sanz, 2008; Arnó *et al.*, 2009; Rosell *et al.*, 2009a; Rosell *et al.*, 2009b). La contrapartida és molta més resolució vertical i precisió en la caracterització de la capçada. Per aquest motiu, es va decidir dur a terme unes experiències dins de la present tesi per a avaluar les possibilitats de la seva implantació en la caracterització de la capçada en temps real.

### 6.2.2.1 Sensors d'ultrasons

El funcionament d'aquest tipus de sensors es basa en el comportament piezoelèctric del material del seu nucli. El material piezoelèctric més conegut és el quars encara que també hi ha materials piezoelèctrics de síntesi. *Piezo* és un prefix grec que significa prémer, comprimir o deformar. Quan un material piezoelèctric és deformat per una força externa, les càrregues elèctriques de la seva estructura es desplacen i s'acumulen a les cares oposades creant una diferència de potencial. Això es deu a la modificació espacial de l'estructura atòmica del material. A més a més, aquest tipus de material té la capacitat de realitzar el procés de manera inversa. Així, en aplicar una diferència de potencial determinada al material piezoelèctric, aquest es deforma de manera controlada i repetible. El cristall de quars és un dels materials piezoelèctrics més sensibles que es coneixen. D'acord amb aquestes propietats, si apliquem una diferència de potencial determinada sobre un material piezoelèctric solidari a una membrana amb una freqüència determinada, aquesta vibrarà produint un tren d'ones ultrasòniques. En canvi, en rebre l'impacte de les ones, la membrana transformarà les vibracions en una diferència de potencial determinada.

Per a determinar una distància, el sensor d'ultrasons emet trens d'ones a intervals regulars. Després de cada emissió, hi ha un temps d'espera per a captar una possible resposta. La resposta esperada és un tren d'ones rebotat en topar amb un objecte. A partir de la velocitat de propagació del so en l'aire corregida en funció de la temperatura ambiental (aproximadament 340 m/s) i del temps de trànsit del tren d'ones s'estima la distància de l'objecte. El sensor emet un voltatge de sortida proporcional a aquesta distància. Si no existeix eco o aquest no arriba a la membrana del sensor, s'interpreta que no hi ha objecte. A la Figura 6.2 s'observa un sensor de distància piezoelèctric d'ultrasons model Sonar Bero M30 K3 (Siemens AG, Munic, Alemanya) com el que s'ha fet anar en els diferents assajos realitzats i a la Taula 6.1 es relacionen les seves característiques.



**Figura 6.2.-** Sensor d'ultrasons piezoelèctric model Sonar Bero M30 K3 (Siemens AG, Munic, Alemanya) utilitzat en els treballs de caracterització de la capçada (font: www.siemens.com).

**Taula 6.1.-** Característiques del sensor d'ultrasons Sonar Bero M30 K3 (Siemens AG, Munic, Alemanya) utilitzat en la caracterització electrònica de la capçada en temps real (font: www.siemens.com).

PARÀMETRE	VALOR
Rang	400 mm a 3.000 mm
Temps de resposta / Freq. lectura	50 ms / 20 Hz
Precisió de la lectura	1,5%
Resolució de la lectura	1 mm
Angle obertura con	5°
Resposta del sensor	0 V <sub>CC</sub> a 10 V <sub>CC</sub>
Freqüència dels ultrasons	120 kHz
Pes aproximat	< 240 g
Temperatura ambient admissible	-25°C a +70°C
Tensió de servei	20 V <sub>CC</sub> a 30 V <sub>CC</sub>
Corrent en buit	< 75 mA
Grau de protecció	IP 65

### 6.2.2.2 Sensor lidar

El funcionament d'aquest tipus de sensors es basa en la utilització d'un feix polsat de llum làser (sigla anglosaxona de *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, traduïble per "amplificació de llum per emissió estimulada de radiació"). El feix làser s'utilitza per tal de detectar la presència de vegetació i quantificar-ne la distància basant-se en el temps de trànsit del raig. El valor afegit que aporta aquest sensor en la caracterització de la capçada és que, abans de projectar-lo vers la capçada, el feix de llum és reflectit en un mirall rotatiu, cosa que permet definir

un pla d'escaneig que, en l'aplicació descrita, era un pla vertical. A partir del temps de trànsit del raig en diverses posicions del pla d'escaneig, el sensor proporciona la distància que recorre el feix i l'angle vertical en el que s'ha realitzat la mesura. Això proporciona un gran avantatge respecte els sensors d'ultrasons ja que la resolució vertical d'escaneig és molt més elevada. El sensor lidar és capaç de realitzar una mesura de distància cada 0,25 graus, cada 0,50 graus o cada 1 grau al llarg de la finestra delimitada per l'angle 0 graus (en sentit perpendicular al terra) i l'angle 180 graus (en direcció perpendicular a terra però en sentit ascendent) en el pla vertical d'escaneig. En l'aplicació que ens ocupa, el sensor amb el que es va treballar va ser el model LMS 200 (Sick AG, Waldkirch, Alemanya), configurat de manera que realitzés 181 mesures en el pla vertical (una lectura cada grau des de 0° fins a 180°). La comunicació amb el sensor es basa en l'intercanvi de telegrams tant per a la seva configuració com per facilitar la informació recollida. El protocol de comunicacions utilitzat és el RS-232 (sigla anglosaxona de Recommended Standard 232). A la Figura 6.3 s'observa el sensor lidar utilitzat en els assajos de caracterització de la capçada en temps real i a la Taula 6.2 es relacionen les seves característiques.

Tal com s'ha esmentat a la introducció d'aquest apartat, la posada a punt del sensor lidar ha estat objecte de diversos treballs en el sí del grup de recerca en el que s'emmarca aquesta tesi i ha comportat l'elaboració d'una altra tesi doctoral (Sanz, 2008). Per aquest motiu es considera que el sensor lidar que s'utilitzarà en aquest treball de recerca està convenientment validat, tant en laboratori com en camp, i es procedirà, directament, a desenvolupar una aplicació per al tractament de la informació generada per a la quantificació de la capçada en temps real.



**Figura 6.3.-** Sensor lidar model LMS 200 (Sick AG, Waldkirch, Alemanya) utilitzat en els treballs de caracterització de la capçada (font: [www.sick.com](http://www.sick.com)).

**Taula 6.2.-** Característiques del sensor lidar LMS 200 (Sick AG, Waldkirch, Alemanya) per a la configuració utilitzada en la caracterització electrònica de la capçada en temps real (font: www.sick.com).

PARÀMETRE	VALOR
Rang	0 a 8.190 mm
Temps de resposta / Freq. Lectura	13 ms / 76,9 Hz
Precisió de la lectura	±15 mm
Resolució de la lectura	10 mm
Angle obertura feix	aprox. 0,36°
Resolució angular	1°
Angle d'escaneig	180°
Resposta del sensor	Telegrames ASCII
Comunicació	RS-232 a 38.400 bits/s
Longitud d'ona	905 nm (infraroig proper, no visible)
Pes aproximat	4.500 g
Temperatura ambient admissible	0 °C a +50 °C
Tensió de servei	20,4 V <sub>CC</sub> a 27,6 V <sub>CC</sub>
Grau de protecció	IP 65

### 6.2.3 Adquisició de dades i processament de la informació

La informació generada pels sensors cal que sigui introduïda en un dispositiu electrònic per al seu processament i enregistrament. Per tal que això sigui possible és necessari adquirir els senyals generats pels sensors d'acord amb les seves característiques (Taula 6.1 i Taula 6.2). Al llarg del desenvolupament d'aquest treball de recerca s'han utilitzat dos sistemes d'adquisició de dades i processament de la informació diferents. A la primera etapa de desenvolupament es va implantar un sistema basat en ordinadors portàtils i en mòduls d'adquisició externs. A la segona etapa, degut a la necessitat de més capacitat de càlcul i més robustesa, es va canviar el primer sistema per un sistema dedicat on la unitat de processament i les targetes d'adquisició estan integrades en un mateix dispositiu. Tant un sistema com l'altre han estat controlats per programes informàtics dissenyats i elaborats específicament per a aquesta aplicació amb el llenguatge de programació gràfica LabVIEW (National Instruments, Austin, Estats Units), acrònim anglosaxó de *Laboratory Virtual Engineering Workbench*, traduïble per "banc de treball virtual per a laboratori d'enginyeria".

#### 6.2.3.1 Sistema d'adquisició i monitoratge basat en ordinador

El sistema utilitzat a la primera etapa evolutiva, corresponent al desenvolupament del Mètode 1, es basa en dos ordinadors portàtils i en sengles elements per a l'adquisició de dades dels sensors d'ultrasons. A l'esquema de la Figura 6.4 s'indica el flux d'informació i les diferents etapes del procés d'estimació de la semiamplada de capçada. La gestió de la adquisició i el processament de la informació generada pels sensors d'ultrasons s'ha realitzat amb un ordinador portàtil en el que s'executava un programa elaborat amb l'entorn gràfic de programació LabVIEW v4.0 que permetia l'estimació de la semiamplada en temps real. L'altre ordinador era l'encarregat d'enregistrar tota la informació generada mitjançant un dispositiu de mesura i condicionament del senyal multicanal comercialitzat per l'empresa IROT Instrumentación y Automatización, S.A. (Alonsotegi, Euskadi). Treballar amb aquests elements ha permès una gran flexibilitat en l'ajust dels paràmetres de programació. Aquesta flexibilitat és necessària quan s'està treballant en una fase experimental ja que cal realitzar repetides adaptacions en la programació i en els paràmetres que intervenen en el

procés. En un principi, el sistema d'adquisició estava previst que prengués les dades que anirien al sistema de control i al sistema de registre. Degut a que controlar i registrar les dades alenta excessivament l'execució del programari de monitoratge i control, es va optar per separar el control del registre.



**Figura 6.4.-** Esquema del procés d'adquisició de dades i processament de la informació del sistema de caracterització de la capçada desenvolupat a la primera etapa.

El fet de realitzar el processament amb un ordinador portàtil determina, en gran mesura, el tipus de dispositiu que s'utilitzarà per a l'adquisició de dades. Aquest dispositiu ha de captar els senyals elèctrics dels sensors, condicionar-los, digitalitzar-los i comunicar-los a l'ordinador a través d'un port de comunicacions, com per exemple el port sèrie que utilitza el protocol RS-232. Els elements escollits per a realitzar l'adquisició de dades van ser mòduls externs model NuDAM de la sèrie 6000 (Adlink Technology Inc., Chungo City, Taiwan). A la Figura 6.5 es pot observar l'aspecte del mòdul ND-6520.



**Figura 6.5.-** Encapsulat d'un mòdul NuDAM (font: www.adlinktech.com).

Els mòduls NuDAM són dispositius electrònics externs d'adquisició de dades i actuació, basats en microcontroladors. Els mòduls es comuniquen entre ells a través d'una comunicació digital en xarxa segons protocol RS-485. Aquests mòduls disposen de models amb entrades per a una àmplia gamma de sensors així com també de condicionaments de senyal. Els mòduls es poden emprar per a captar senyals de temperatura, senyals analògics genèrics i diferents tipus de senyals digitals. A més, els mòduls poden actuar directament sobre sortides digitals, analògiques, relés, etc.

Els principals avantatges que aporten aquests mòduls són:

- Configuració fàcil i ràpida.
- Baix consum.
- Ampli rang de voltatges d'alimentació.
- Protecció contra canvis de polaritat
- Cada ordinador pot controlar fins a 256 mòduls.
- Aproximadament 2 km de distància màxima entre mòduls.
- Protocol de comunicacions en format ASCII.

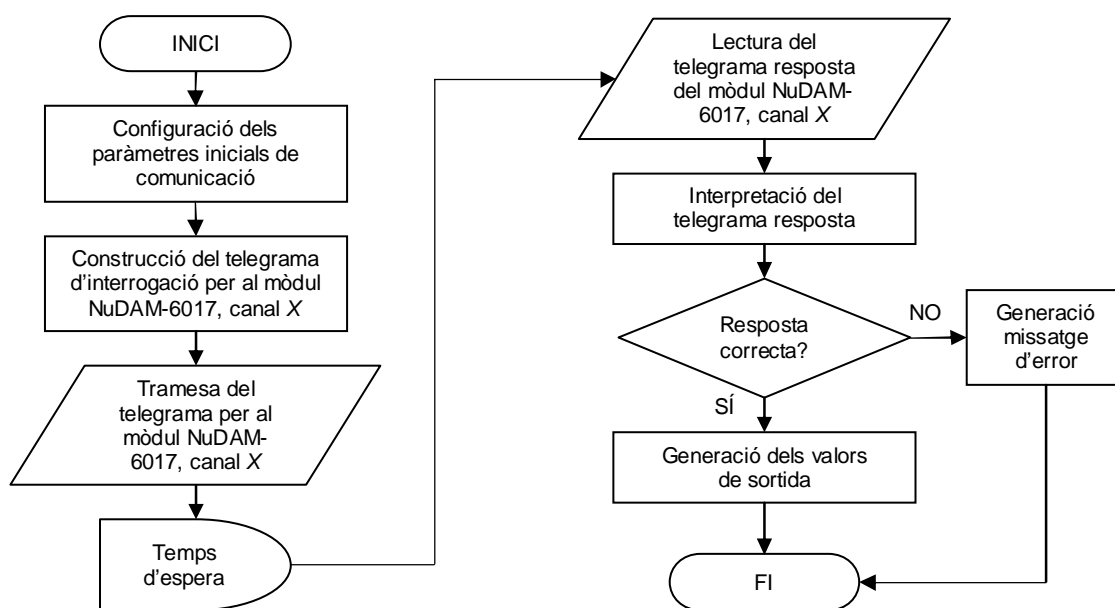
Tots els mòduls que participin del sistema han d'estar connectats en xarxa. El funcionament d'aquests mòduls es basa en l'estàndard de comunicació RS-485 per a transmetre i rebre dades a altes velocitats i distàncies elevades. Un parell trenat de fils és suficient per a comunicar els mòduls entre ells. L'ordinador es comunica amb els mòduls a través de la porta de comunicacions RS-232. Com que els mòduls es connecten entre ells a través d'una xarxa que utilitza l'estàndard RS-485, es fa necessària la introducció d'un mòdul convertidor del protocol RS-485 al RS-232, de la mateixa família de mòduls NuDAM, que realitza una conversió transparent per a l'ordinador. Un paràmetre important en la xarxa de mòduls és l'adreça. Cada mòdul de la xarxa ha de tenir una adreça particular. La xarxa permet 256 adreces diferents, numerades del 00 al FF (en base hexadecimal). Per defecte, tots els mòduls tenen l'adreça 01 i cal configurar-la segons la xarxa amb el software de configuració que es proporciona en adquirir els mòduls.

Totes les comunicacions entre els mòduls i l'ordinador es realitzen utilitzant un senzill protocol d'intercanvi de telegrams implementat en codi ASCII. Cada vegada que es vol fer una operació sobre algun mòdul, l'ordinador envia una cadena de caràcters amb l'ordre corresponent a l'adreça de la xarxa on es troba el mòdul. Per tant, entre l'ordinador i els mòduls no s'envien els senyals elèctrics analògics d'adquisició i actuació sinó que s'intercanvien informació digital en forma de cadenes de caràcters. El mòdul rep l'ordre i, després d'un temps d'espera, respon amb un telegrama que conté la cadena de caràcters amb la resposta que va a l'ordinador. Aquesta resposta és diferent en funció del tipus de telegrama enviat des de l'ordinador. Si el telegrama era correcte, la resposta del mòdul dependrà del tipus de telegrama:

- Telegrama d'interrogació: el mòdul respon amb una cadena que conté els caràcters que indiquen l'estat del mòdul o el valor del senyal del sensor en el port corresponent.
- Telegrama de configuració i comandament: la resposta del mòdul és un caràcter de confirmació, el caràcter ">".

En el cas que la cadena enviada no fos correcta, l'adreça del mòdul no fos la indicada o hi hagués algun error de comunicació en la xarxa, la resposta del mòdul serà una resposta d'error, normalment indicada pel caràcter "?".

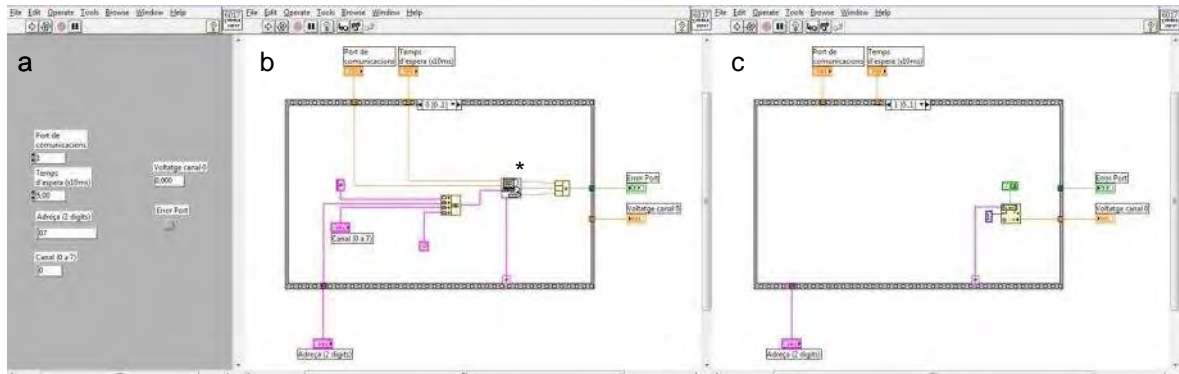
Els mòduls que es fan anar per a l'adquisició de dades dels sensors d'ultrasons són el NuDAM-6020, convertidor de RS-232 a RS-485 i viceversa, i el NuDAM-6017 que consta de 8 canals d'adquisició analògica genèrica (en tensió o intensitat). El primer pas per a comunicar-se amb els mòduls d'adquisició fou l'elaboració dels programes de control necessaris (en nomenclatura anglosaxona, els *drivers*). Aquests programes de control són els encarregats de gestionar la generació i enviament dels telegrams d'interrogació i la interpretació dels telegrams de resposta emprats en la comunicació entre l'ordinador i els mòduls NuDAM. Els programes de control es van desenvolupar en l'entorn LabVIEW i s'executaven a l'ordinador encarregat d'aquesta tasca. A la Figura 6.6 es mostra el diagrama de flux del procés que segueix el programa de control desenvolupat per a la interrogació del mòdul NuDAM-6017 i l'adquisició del voltatge connectat al canal X. Els diagrames de flux d'aquest treball s'han elaborat d'acord amb la simbologia proposada per l'*American National Standard Institute (ANSI)*.



**Figura 6.6.-** Diagrama de flux del procés per a la interrogació del mòdul NuDAM-6017 d'adquisició de senyals analògics genèrics per a conèixer el voltatge adquirit al canal X (elaborat d'acord amb la simbologia ANSI).

La plasmació d'aquest diagrama de flux en els programes desenvolupats en LabVIEW es reflecteix a la Figura 6.7 i la Figura 6.8. L'entorn gràfic de desenvolupament LabVIEW consta d'una interfície dividida en dos pantalles diferents. Per un costat hi ha el panell frontal de l'aplicació que és la interfície que interacciona amb l'usuari i, per l'altre costat, hi ha el diagrama de blocs que és la interfície amb la que interacciona el programador. Al panell frontal, l'usuari ha de poder establir el valor de les variables d'entrada i monitorar el valor de les variables de sortida. Al diagrama de blocs és on resideix la programació necessària per a aconseguir realitzar les tasques encomanades al sistema d'adquisició i monitoratge. La intenció dels creadors de LabVIEW va ser simular instruments típics de laboratori amb el que s'anomenen "instruments virtuals". Els instruments reals tenen un panell frontal amb el que interacciona l'usuari i una sèrie de circuits interiors que l'usuari no té per què conèixer ni manipular. Cada instrument virtual creat amb

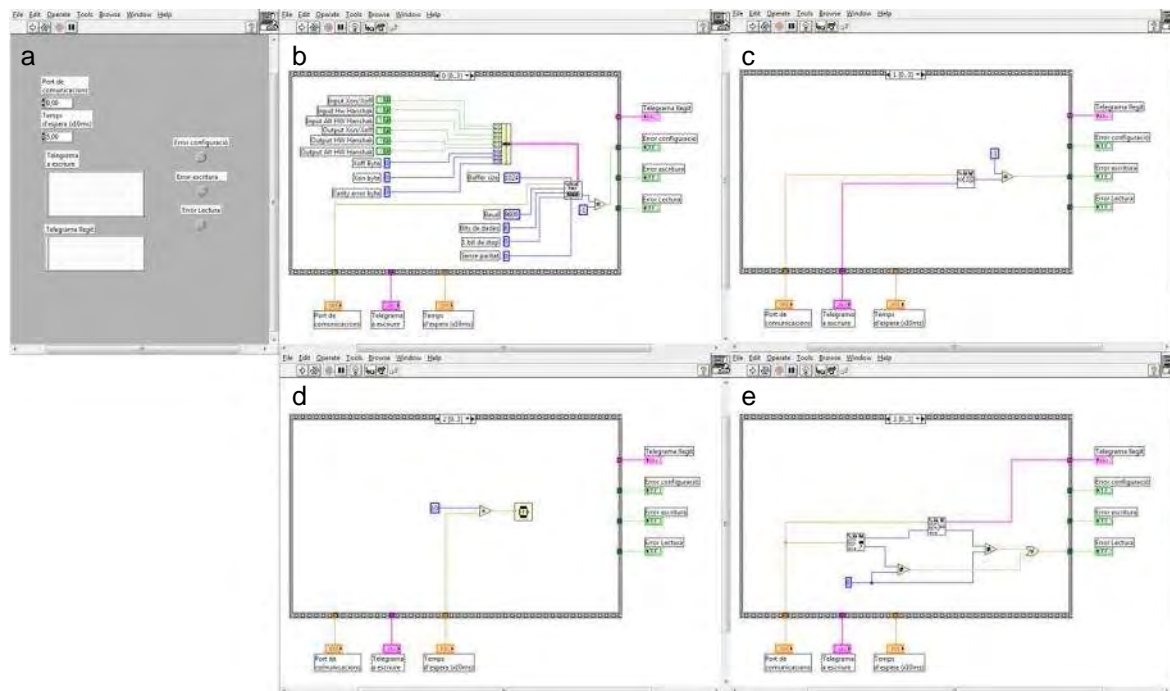
LabVIEW té el seu panell frontal i el seu diagrama de blocs. Per tal de facilitar la programació i la seva comprensió, LabVIEW permet la creació de subinstruments, que no són més que instruments virtuals encapsulats dins d'un "paquet" amb les seves entrades i sortides. Aquests subinstruments consten del seu propi panell frontal i del seu diagrama de blocs i interaccionen amb la resta dels elements del diagrama de blocs principal. La Figura 6.8 mostra el panell frontal i el diagrama de blocs del subinstrument (\*) que es mostra a la Figura 6.7. A les dues figures es dona el cas que al diagrama de blocs hi ha estructures de programació seqüencials. Per tal de poder visualitzar totes les etapes s'ha procedit a duplicar el diagrama tantes vegades com han estat necessàries.



**Figura 6.7.-** Programa de control per a l'adquisició del voltatge connectat al canal 0 del mòdul NuDAM-6017. a) Panell frontal de l'aplicació; b) Diagrama de blocs mostrant la seqüència 0, on s'elabora el telegrama d'interrogació; c) Diagrama de blocs mostrant la seqüència 1, on es visualitza el telegrama resposta; \*) Subinstrument virtual per a la gestió de la comunicació amb el port sèrie RS-232.

En els panells frontals hi ha diferents tipus d'elements segons el tipus de variable que representen. Així, podem trobar variables numèriques, alfanumèriques, booleans i variables a seleccionar de llistes desplegable. Cada variable pot ser una variable d'entrada o control que ha de ser introduïda per l'usuari o bé, alternativament, una variable indicador, que aporta informació a l'usuari. A tall d'exemple, al panell frontal de la Figura 6.7.a, l'usuari ha de seleccionar el port de comunicacions, el temps d'espera, l'adreça del mòdul NuDAM i el canal on està connectat el sensor d'ultrasons per a obtenir el valor del voltatge desitjat (Figura 6.7.c). A la Figura 6.7.b s'elabora el telegrama d'interrogació que cal enviar al mòdul. Si hi ha algun error en el procés, aquest s'indicaria activant la variable booleana *Error Port*. Al panell frontal de la Figura 6.8.a, en canvi, en tractar-se d'un subinstrument virtual, no cal introduir cap valor ja que aquests es prenen directament dels valor introduïts per l'usuari al programa o instrument principal. El telegrama a escriure al port sèrie és la cadena de caràcters construïda a la Figura 6.7.b i el telegrama llegit és el resultat de llegir la memòria intermèdia on s'emmagatzema la informació que arriba pel port de comunicacions. A la Figura 6.8.b es configura el port de comunicacions. A la Figura 6.8.c s'escriu el telegrama elaborat al port seleccionat. A la Figura 6.8.d s'introdueix el retard necessari per a que la informació digital flueixi fins al mòdul, aquest elabori la resposta adient i aquesta arribi de nou al port de comunicacions de l'ordinador per a ser llegida pel programa de control (Figura 6.8.e). En cas que en alguna de les etapes descrites (Figura 6.8.b,c o e) la resposta de l'ordinador o del mòdul no fos l'esperada, s'activaria la variable booleana *Error configuració*, *Error escriptura* o *Error lectura* corresponent per tal de permetre un ràpid diagnòstic de la situació.





**Figura 6.8.-** Programa de control per a la gestió de la comunicació amb el port sèrie de l'ordinador identificat amb el símbol \* a la Figura 6.7. a) Panell frontal de l'aplicació; b) Diagrama de blocs mostrant la seqüència 0, on es configura el port de comunicacions; c) Diagrama de blocs mostrant la seqüència 1; d) Diagrama de blocs mostrant la seqüència 2; e) Diagrama de blocs mostrant la seqüència 3.

El pas següent, una vegada elaborats els programes de control i introduït a l'ordinador el valor del voltatge generat pels sensors d'ultrasons, és crear el programari necessari per a interpretar aquest voltatge i convertir-lo en distància, corresponent a la distància entre cadascun dels sensors i el primer objecte capaç de generar un eco. Aquest programari requereix, prèviament, que s'estableixi la funció de calibratge fruit de l'anàlisi estadística per a determinar la correlació entre les distàncies mesurades amb els sensors i les distàncies mesurades manualment, procediment que s'explica a l'apartat 6.2.4 Assajos de calibratge dels sensors d'ultrasons en laboratori.

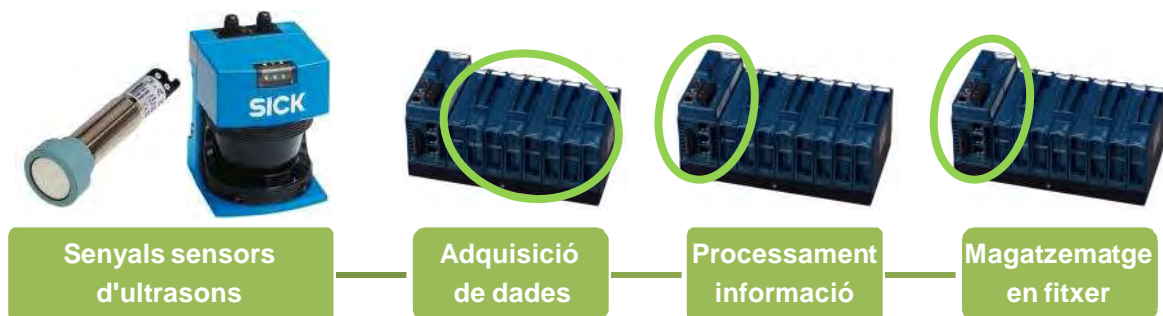
### 6.2.3.2 Sistema d'adquisició i monitoratge basat en PAC

PAC és la sigla anglosaxona de *Programmable Automation Controller*, traduïble per "controlador programable per a automatització", utilitzat per a denominar un tipus de dispositius de recent creació que incorporen alhora característiques dels autòmats programables i els ordinadors. Els autòmats programables, també coneguts per la sigla PLC (*Programmable Logic Controller*, traduïble per "controlador lògic programable"), són uns dispositius pensats per a ambients hostils com poden ser les plantes de fabricació. Aquests dispositius cal que siguin molt robustos tant pel que fa a les seves característiques físiques (resistència a les vibracions, humitat, pols, etc.) com pel que fa a la seva fiabilitat i capacitat de recuperació davant de fallades en l'execució del programa de control. En contrapartida, tradicionalment han estat dispositius poc flexibles des del punt de vista de la programació i de la seva versatilitat. Els PAC prenen la robustesa i la fiabilitat dels PLC i les complementen amb els avantatges que presenten els ordinadors en els seus punts dèbils. El resultat és un dispositiu robust, resistent i fiable amb un alt grau de flexibilitat i la facilitat d'interacció amb la persona.

Després d'haver realitzat les primeres proves amb el sistema basat en ordinador, a la segona etapa evolutiva del sistema de caracterització de la capçada es va optar per treballar amb un dispositiu que permetés realitzar totes les funcions en un sol aparell. El canvi va coincidir amb el desenvolupament del Mètode 2, que requereix més capacitat de càlcul per a l'estimació de les semiseccions transversals de capçada. L'equip seleccionat va ser un Compact FieldPoint (National Instruments, Austin, Estats Units), anomenat també per la seva sigla cFP (Figura 6.9). El criteri de selecció, a més dels esmentats anteriorment, és que la seva programació es realitza amb el mateix entorn gràfic utilitzat en el sistema anterior, el llenguatge LabVIEW, desenvolupat pel mateix fabricant (National Instruments, Austin, Estats Units). En aquesta etapa es va utilitzar la versió 7.1 del programa. El cFP és un dispositiu electrònic que integra una unitat central de processament semblant a la d'un ordinador i un panell posterior on s'hi acobla la unitat i diverses targetes electròniques per a la realització de les tasques d'adquisició i control. Per a la caracterització de la capçada s'ha utilitzat una targeta genèrica d'entrades analògiques per a l'adquisició dels senyals dels sensors d'ultrasons i el port de comunicacions RS-232 per a l'adquisició de la informació generada pel sensor lidar. A la Figura 6.10 es mostra l'esquema del procés de caracterització de la capçada en aquesta segona etapa de desenvolupament.

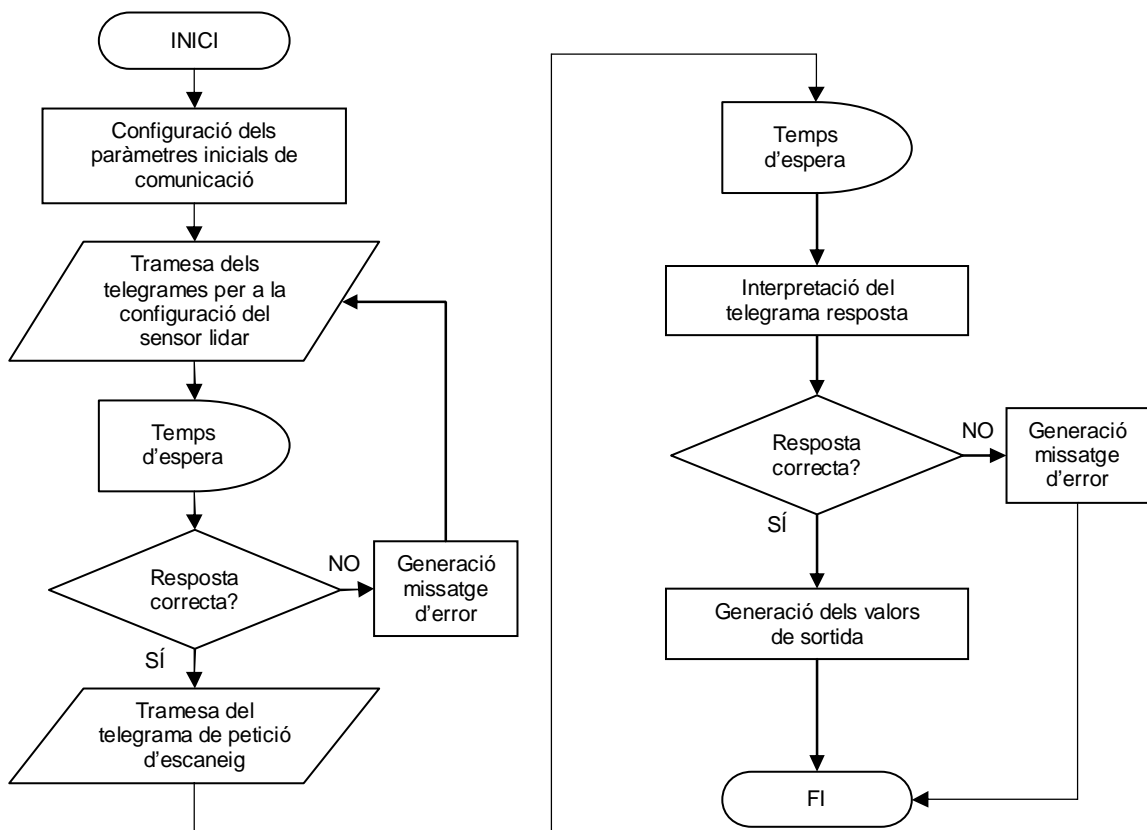


**Figura 6.9.-** Compact FieldPoint (National Instruments, Austin, Estats Units) utilitzat per a l'adquisició i monitoratge dels sensors utilitzats en la caracterització de la capçada.



**Figura 6.10.-** Esquema del procés d'adquisició de dades i processament de la informació del sistema de caracterització de la capçada desenvolupat a la primera etapa.

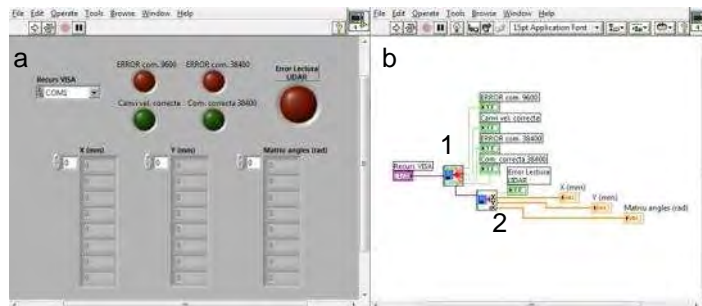
En el cas del sistema d'adquisició i monitoratge basat en el PAC Compact FieldPoint, els programes de control per a la lectura dels canals de la targeta d'adquisició on hi havia connectats els sensors d'ultrasons els proporciona el mateix fabricant. En el cas de l'adquisició de la informació del sensor lidar a través del port sèrie de comunicacions amb protocol RS-232 sí que va caldre crear una aplicació amb LabVIEW per tal de generar i enviar els telegrams d'interrogació i per a rebre i interpretar la resposta del sensor. A la Figura 6.11 es mostra el diagrama de flux de l'aplicació realitzada, que consisteix en configurar el sensor, enviar-li el telegrama necessari per a que el sensor realitzi un escaneig simple i esperi un temps determinat per a, posteriorment, llegir la memòria intermèdia on s'emmagatzema la resposta del sensor enviada al port de comunicacions RS-232. Aquesta resposta consisteix en una cadena de caràcters que cal interpretar per a extreure'n una matriu bidimensional amb una columna on hi ha tots els angles en els que s'ha realitzat lectura de distància (en el nostre cas 181 angles que van des de 0° a 180°) i una altra columna amb les distàncies mesurades en cadascun dels angles. Aquesta matriu de coordenades polars és convertida a coordenades cartesianes per la mateixa aplicació.



**Figura 6.11.-** Diagrama de flux del procés de comunicació entre el cFP i el sensor lidar per a la seva configuració, sol·licitud d'escaneig i posterior interpretació de la informació rebuda (elaborat d'acord amb la simbologia ANSI).

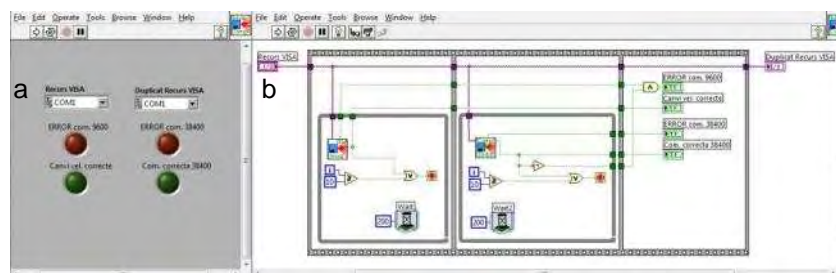
A la Figura 6.12 es mostra el programa de control complet amb el seu panell frontal i el seu diagrama de blocs. Al panell frontal (Figura 6.12.a) s'observa clarament que l'única entrada que ha de realitzar l'usuari és la selecció del port de comunicacions del cFP on hi ha connectat el sensor lidar. La resta d'elements són variables booleans que monitoren l'èxit o el fracàs de les accions de l'aplicació i tres matrius unidimensionals on s'emmagatzemen els valors de les coordenades X i Y així com una matriu dels angles en els que s'han realitzat lectures de distàncies en radians, necessària per a etapes posteriors relacionades amb la determinació del volum de capçada. Al

diagrama de blocs del programa de control s'observa que les accions es realitzen en dos subinstruments diferents (Figura 6.12.b).



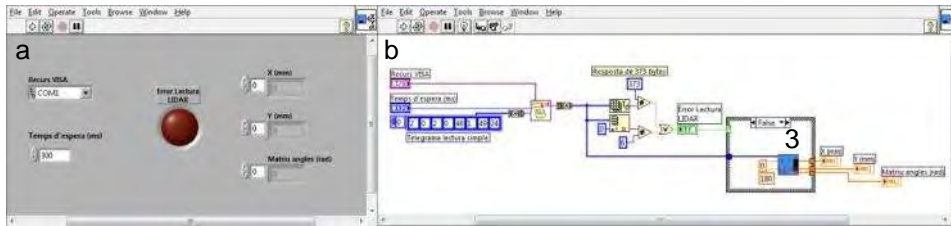
**Figura 6.12.-** Programa de control per a la gestió de la comunicació entre el lidar i el cFP mitjançant el port sèrie. a) Panell frontal; b) Diagrama de blocs amb els subinstruments 1 i 2. En aquest instrument es configura el port de comunicacions i el sensor lidar (subinstrument 1), se li demana un escaneig i se n'interpreta la resposta (subinstrument 2).

El subinstrument 1 és l'encarregat de configurar el sensor lidar (Figura 6.13). Aquesta acció es duu a terme en dues etapes, enviant els telegrams específics que indica el fabricant. A la primera etapa es confirma la comunicació entre el cFP i el sensor enviant el telegrama corresponent. En cas que es rebí resposta afirmativa per part del sensor, es procedeix a canviar la velocitat de transferència del sensor i del cFP de 9.600 bauds a 38.400 bauds per tal de poder transmetre més informació per unitat de temps. A la segona etapa, s'envia de nou el telegrama de confirmació de comunicació a la nova velocitat de transferència i el procés es dona per acabat. Si la resposta del sensor és afirmativa en les dues etapes, la comunicació amb el sensor lidar serà correcta i aquest fet s'indica a l'usuari amb l'activació de les variables booleans corresponents.



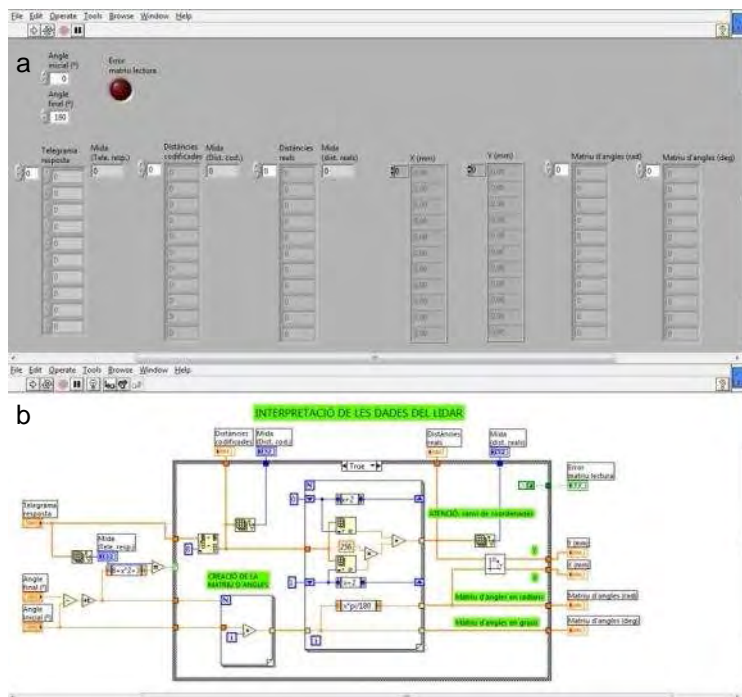
**Figura 6.13.-** Subinstrument marcat com a 1 a la Figura 6.12 amb el seu panell frontal (a) i el seu diagrama de blocs (b). Aquest subinstrument és l'encarregat de canviar la configuració del sensor lidar enviant els telegrams corresponents per a que treballi correctament a una velocitat de transferència de 38.400 bauds.

El subinstrument 2 de la Figura 6.12.b i Figura 6.14 s'encarrega d'enviar el telegrama corresponent a la realització d'un escaneig simple. Si el sensor el rep correctament, realitzarà l'acció indicada i retornarà una resposta amb la informació obtinguda. Després de comprovar que la resposta rebuda és correcta, el subinstrument 3 de la Figura 6.14.b serà l'encarregat d'interpretar la informació aportada pel sensor. La comprovació de la validesa del telegrama es realitza a partir del volum d'informació rebuda. Un telegrama complet requereix 373 bytes per a transmetre tota la informació necessària. Qualsevol telegrama que no coincideixi amb aquesta mida serà automàticament descartat.



**Figura 6.14.-** Subinstrument marcat com a 2 a la Figura 6.12 amb el seu panell frontal (a) i el seu diagrama de blocs (b). Aquest subinstrument és l'encarregat de sol·licitar un escaneig simple al sensor lidar enviant el telegrama corresponent i interpretar la resposta mitjançant el subinstrument 3.

A la Figura 6.15 es mostra el subinstrument dedicat a la interpretació del telegrama resposta. L'única informació que cal que faciliti l'usuari és l'angle inicial de lectura ( $0^\circ$ ) i l'angle final ( $180^\circ$ ). Com que en la nostra aplicació aquests valors són constants, els seus valors ja s'introdueixen al diagrama de blocs del subinstrument 2 (Figura 6.14.b) i, a la pràctica, l'usuari no intervé en l'execució d'aquest fragment del programa de control del sensor lidar. A partir del telegrama de resposta correcte, aquest subinstrument el retalla, el reordena i opera amb el seu contingut fins a aconseguir una matriu de coordenades polars on els mòduls són les distàncies mesurades i els arguments són els angles on s'ha mesurat cada distància (Figura 6.15.b). Els valors de les distàncies són facilitats directament en mil·límetres pel mateix sensor. Aquestes coordenades es converteixen a coordenades cartesianes i són mostrades al panell frontal per al seu futur tractament (Figura 6.15.a). Al panell frontal també es mostren els valors dels càlculs intermedis per a facilitar la comprovació dels resultats durant el procés de validació del programa.



**Figura 6.15.-** Subinstrument marcat com a 3 a la Figura 6.14 amb el seu panell frontal (a) i el seu diagrama de blocs (b). Aquest subinstrument s'encarrega d'analitzar la resposta en caràcters ASCII generada pel sensor lidar per a extreure'n una matriu amb les distàncies mesurades per a cada angle i convertir aquesta informació de coordenades polars a cartesianes.

Cal remarcar que el volum d'informació enviat pel sensor lidar és considerable degut a la gran quantitat de dades que genera.

### 6.2.4 Assajos de calibratge dels sensors d'ultrasons en laboratori

Una vegada seleccionats els sistemes d'adquisició i monitoratge i desenvolupats els programes de control, ja va ser possible dissenyar els primers assajos de calibratge en laboratori. L'objectiu d'aquests assajos va ser determinar la relació existent entre la resposta en voltatge generada pels sensors i la distància a la que es trobava l'objecte que s'estava mesurant.

Per a poder relacionar els voltatges de resposta dels sensors d'ultrasons amb les distàncies reals es van muntar tres sensors en un perfil d'alumini vertical de manera que quedessin completament horitzontals i alineats amb un segon perfil d'alumini quadrat de 10 cm de costat. Aquest segon perfil es va anar posicionant a diferents distàncies dels sensors d'ultrasons des de 45 cm fins a 300 cm cada 15 cm. A cada distància es prengueren dues mil dades del senyal de resposta generat per cada sensor. A la Figura 6.16 s'observa la disposició de l'assaig.

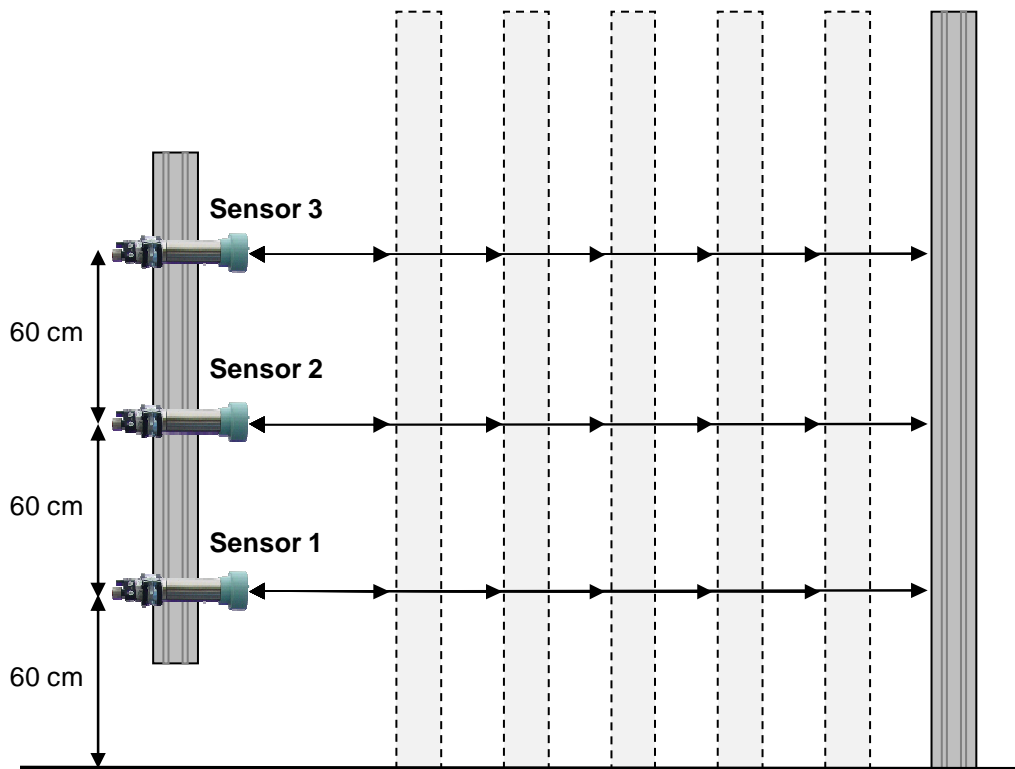
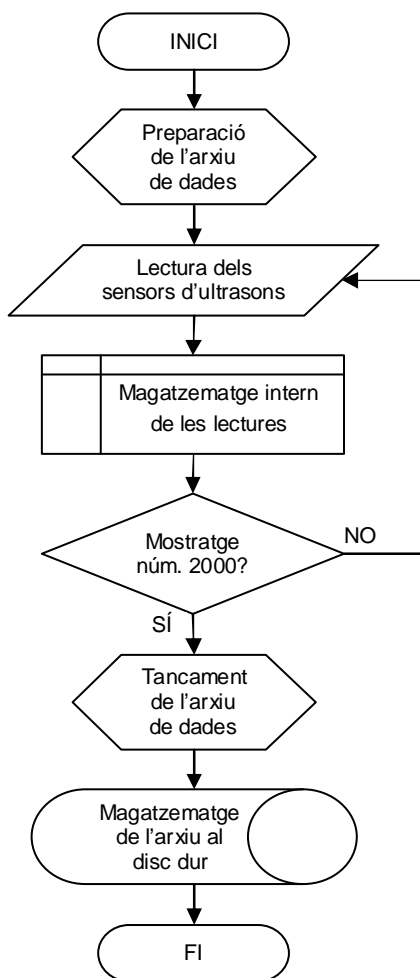


Figura 6.16.- Disposició de l'assaig de calibratge dels sensors d'ultrasons en laboratori.

Per tal de dur-los a terme es van haver de realitzar totes les connexions elèctriques necessàries per al correcte funcionament dels diferents dispositius tant en la vessant d'alimentació elèctrica com en la vessant d'adquisició de dades i es va haver d'elaborar el programari necessari per a la correcta execució dels programes de control generats. L'aplicació dissenyada per a l'assaig havia de permetre l'execució temporitzada del programa de control durant un nombre d'adquisicions determinat així com l'enregistrament dels voltatges generats pels sensors per a cada distància assajada en un arxiu per a la seva posterior anàlisi. A la Figura 6.17 s'observa el diagrama de flux que seguia l'aplicació dissenyada per a la realització de l'assaig de calibratge en laboratori.



**Figura 6.17.-** Diagrama de flux de l'aplicació dissenyada per a la realització de l'assaig de calibratge dels sensors d'ultrasons en laboratori.

L'anàlisi estadística que es va aplicar a les dades recollides en l'arxiu emmagatzemat al disc dur va consistir, en primer lloc, en determinar alguns estadístics descriptius i en elaborar diagrames de caixa i de dispersió per tal de comprovar el comportament dels sensors d'ultrasons i visualitzar possibles relacions entre la resposta dels sensors i la distància mesurada. Per a comprovar la qualitat de la resposta dels tres sensors d'ultrasons utilitzats, es van comparar les dades a nivell global (totes les dades de l'assaig de calibratge alhora) i també per cadascuna de les distàncies assajades. La comparació consistí en contrastar la hipòtesi nul·la que totes les mitjanes obtingudes eren iguals (les mitjanes globals de cada sensors entre elles i les mitjanes de cada distància obtingudes per cada sensors entre elles). La contrastació d'aquesta hipòtesi es realitzà amb una anàlisi de la variància unifactorial amb un nivell de significació,  $\alpha$ , de 0,05. Donat que el temps i la freqüència de mostratge per a cada sensor eren exactament iguals, les mostres tenen exactament el mateix nombre d'observacions. Això fa que l'anàlisi de la variància sigui suficientment robusta enfront de violacions de la normalitat o de l'homoscedasticitat com per a que no calgués realitzar les comprovacions pertinents. En cas de rebutjar la hipòtesi nul·la es va aplicar la prova de separació de mitjanes de Tuckey-Kramer per a agrupar-les segons el seu valor. Es va escollir aquesta prova per ser àmpliament utilitzada en la bibliografia i per no ser una prova ni massa estricta ni massa conservadora a l'hora de realitzar separacions.

Posteriorment es va ajustar un model de regressió lineal simple per tal de determinar l'existència de relació funcional o determinista entre les dues variables i definir, si s'esqueia, la recta de regressió pel mètode dels mínims quadrats a partir dels valors de la mostra analitzada (Equació 6.1). La qualitat de l'ajust de la recta de regressió es valorà a partir dels coeficients de correlació ( $r$ ) i de determinació ( $R^2$ ) després de comprovar que el diagrama de dispersió dels residus no presentava cap tipus d'estructura en les seves dades.

Equació 6.1 
$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x$$

On  $\hat{y}$  és el valor mostral de la distància estimat per la recta de regressió;  $\hat{\beta}_0$  és el valor mostral de l'ordenada a l'origen;  $\hat{\beta}_1$  és el valor mostral del pendent de la recta de regressió;  $x$  és el valor del senyal del sensor d'ultrasons adquirit.

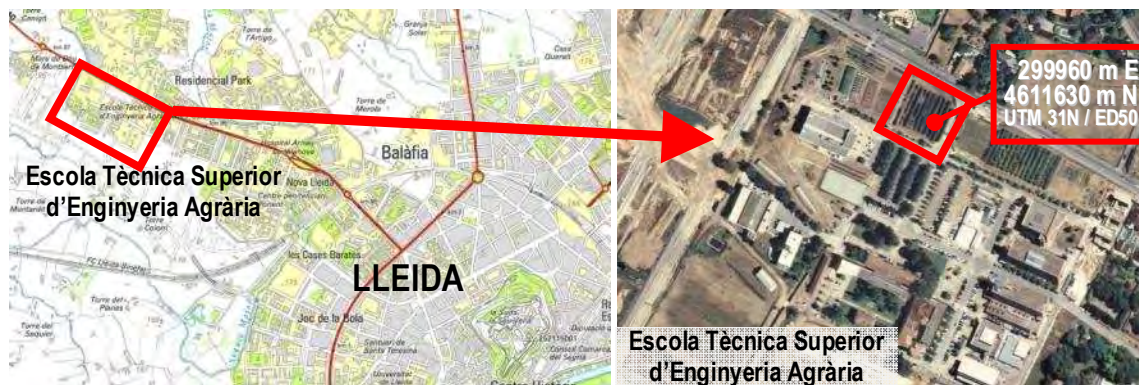
### 6.2.5 Assajos de calibratge dels sensors d'ultrasons en camp

És evident que una superfície artificial plana no té les mateixes característiques que la superfície externa de les capçades en una plantació d'arbres fruiters. Segons el fabricant dels sensors d'ultrasons, la superfície que ha de reflectir les ones ultrasòniques pot afectar en gran mesura el resultat de les lectures realitzades. En primer lloc, cal garantir que, una vegada les ones han impactat sobre un objecte, les ones reflectides arriben a la membrana piezoelèctrica receptora i en quantitat suficient com per activar el senyal de recepció. En segon lloc, cal garantir que no es produeixen interferències degudes a recepcions d'ones reflectides que hagin estat emeses per altres sensors propers.

Pel que fa al primer aspecte, una superfície completament plana situada de manera perpendicular al sentit de mesura del sensor proporciona la màxima intensitat de l'eco de resposta ja que la reflexió és especular. Malgrat això, un angle elevat respecte aquesta perpendicular d'aquesta superfície de reflexió provocaria que el feix reflectit no arribés a impactar la membrana emissora i, per tant, el sensor interpretaria que no hi ha tal superfície (el fabricant no facilita un valor determinat i indica que cal determinar-lo experimentalment). En el cas que ens ocupa, la superfície de les capçades donarà lloc a una reflexió difosa i cal comprovar que el retorn al sensor d'ultrasons és suficient. Pel que fa al segon aspecte, en aquest cas sí que el fabricant estableix una separació mínima entre sensors adjacents per a evitar interferències. Segons el catàleg del fabricant, la separació entre sensors en el cas del sensor assajat ha de ser major que 150 cm. Aquesta separació ha d'evitar interferències en tot el rang de mesura del sensor (de 40 cm a 300 cm). En la nostra aplicació és altament improbable que en les plantacions fruiteres catalanes s'assoleixi aquesta distància de mesura i, per tant, se suposa que és possible reduir aquesta separació sense risc d'incórrer en interferències. Malgrat això, una reflexió difosa pot donar lloc a més interferències entre sensors adjacents que una reflexió especular ortogonal.

És per tot l'exposat fins al moment que es va considerar necessari dissenyar dos assajos de camp per a determinar *in situ* el calibratge més adient per als sensors d'ultrasons i la disposició més favorable per a reduir la distorsió de les lectures a causa de les interferències de sensors adjacents. Els assajos es van realitzar a les plantacions de pràctiques del campus de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària, de la Universitat de Lleida, concretament en una parcel·la de *Malus domestica*, Borkhausen cv. 'Golden Delicious' (Figura 6.18).





**Figura 6.18.-** Localització de la parcel·la on es van realitzar els assajos de calibratge i d'anàlisi d'interferències dins del campus de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària de la Universitat de Lleida, a Lleida (font: ICC).

Per tal de dur a terme aquests assajos en camp es va haver de dissenyar un sistema per al transport de tot l'equipament per a poder-lo desplaçar pel camp. El dispositiu consistia en una estructura metàl·lica originàriament pensada per a esdevenir un xassís d'un polvoritzador hidràulic suspès a la que se li van incorporar unes rodes per al seu desplaçament. A la part superior es va instal·lar una planxa de fusta a mode de taula i en un lateral es va collar un perfil d'alumini on s'hi van muntar els sensors d'ultrasons a calibrar. La disposició dels sensors era la següent: un sensor central situat a una alçada de 1,5 m, una parella de sensors situats a 30 cm per sobre i per sota del sensor central i una segona parella de sensors situada a 60 cm per sobre i per sota del sensor a calibrar. Just a sobre del sensor central, i disposat de forma paral·lela, es va situar un punter làser per a permetre la localització de la primera fulla situada a la zona de mesura del con creat pel tren d'ones ultrasòniques. Finalment, a la part inferior de la plataforma es va disposar un calaix per a allotjar les bateries necessàries per a l'alimentació dels diferents dispositius (Figura 6.19.a). Les connexions elèctriques es van haver de refer ja que les bateries elèctriques subministraven un voltatge de corrent continu de 12 V i els sensors d'ultrasons necessiten ser alimentats a 24 V. Per aquest motiu es va instal·lar un convertidor/elevador elèctric per a la transformació del corrent d'alimentació. La resta de dispositius permetien l'alimentació a 12 V.

A la Figura 6.20 es mostren els diagrames de flux del procés de calibratge (Figura 6.20.a) i del procés d'anàlisi d'interferències (Figura 6.20.b) dels sensors d'ultrasons en camp. Tant en un assaig com en l'altre, un pas previ a l'inici de les aplicacions era estacionar la plataforma mòbil on s'hi havien embarcat tots els dispositius per a l'assaig en un punt qualsevol enfront de la fila d'arbres de la plantació. Una vegada estacionada la plataforma s'iniciava l'aplicació informàtica i començava el procediment d'assaig. Pel que fa a l'assaig de calibratge, el primer pas era adquirir una lectura del sensor central proporcional a la distància entre aquest i la capçada amb la resta de sensors desconnectats. Aquesta variable s'anomenà LECTURA 1. A continuació s'activava manualment el punter làser per a localitzar la primera fulla que interceptava tant el feix làser com el con d'ultrasons (Figura 6.19.b). Una vegada localitzada es procedia a mesurar manualment la distància entre la fulla i la membrana del sensor d'ultrasons central (Figura 6.19.c), distància que s'introduïa en l'aplicació mitjançant el teclat de l'ordinador que s'anomenava MESURA 1. El pas següent era situar manualment una diana artificial consistent en un quadrat de 10 cm de costat de cartró rígid enfront del sensor amb l'ajuda del punter làser. La distància a la que es situava la diana artificial es determinava amb l'ajuda del sensor d'ultrasons, de manera que la seva resposta en voltatge coincidís amb el valor de LECTURA 1 (Figura 6.19.d). Una vegada localitzada la posició exacta, es procedia a comprovar que les lectures coincidien adquirint el valor de la resposta del sensor i emmagatzemant-lo com a LECTURA 2. Si el procés s'havia realitzat correctament,

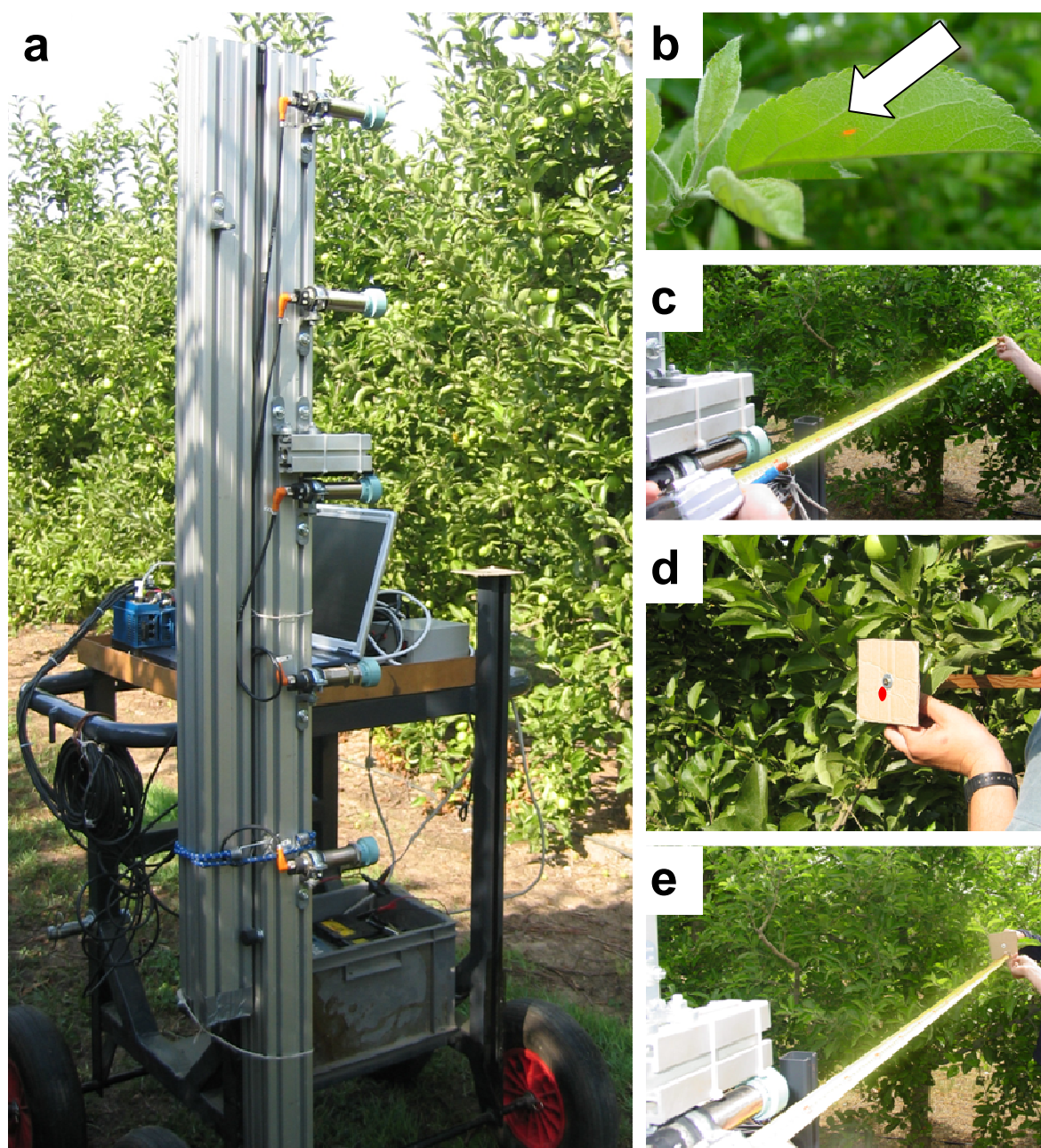
LECTURA 1 hauria de ser igual que LECTURA 2. A continuació es mesurava manualment la distància entre el sensor i la diana artificial, emmagatzemada en la variable MESURA 2 (Figura 6.19.e). Arribats a aquest punt l'aplicació mostrava un quadre de diàleg on informava que ja es podia desplaçar l'equip fins al següent estacionament per a tornar a començar el procés. Amb aquest procediment es pretenia determinar si per a una mateixa resposta del sensor es detectaven diferències en la distància real mesurada atribuïbles al tipus de superfície on impacten els ultrasons.

L'anàlisi estadística que es va aplicar va consistir, en primer lloc, en determinar alguns estadístics descriptius i en elaborar diagrames de dispersió per tal de visualitzar possibles relacions entre la resposta dels sensors i la distància mesurada tant en el cas de la detecció de vegetació com en el cas de la detecció de la diana artificial. També es va buscar relació entre la distància mesurada manualment a la vegetació i a la diana. Posteriorment es va ajustar un model de regressió lineal simple per als diferents parells de variables per tal de determinar l'existència de relacions funcionals o deterministes i definir, si s'esqueia, les rectes de regressió pel mètode dels mínims quadrats a partir dels valors de la mostra analitzada (Equació 6.1). La qualitat de l'ajust de la recta de regressió es valorà a partir dels coeficients de correlació ( $r$ ) i de determinació ( $R^2$ ) després de comprovar que el diagrama de dispersió dels residus no presentava cap tipus d'estructura.

A l'assaig per a l'anàlisi d'interferències, l'objectiu era determinar la possible existència d'interferències degudes a sensors adjacents que poguessin distorsionar les lectures obtingudes amb el sensor d'ultrasons central. El primer pas a realitzar després de l'estacionament era realitzar una lectura amb el sensor central amb la resta de sensors desconnectats (com a l'assaig de calibratge). Sense la intervenció humana, el dispositiu de control de l'assaig activava la parella de sensors adjacents situada a 30 cm del sensor central. Després d'un temps d'espera es procedia a adquirir 10 lectures del sensor central i a emmagatzemar el seu valor mitjà. Automàticament es desactivaven els sensors adjacents a 30 cm i s'activaven els sensors situats a 60 cm per a, després d'un cert temps d'espera, repetir l'operació d'adquisició.

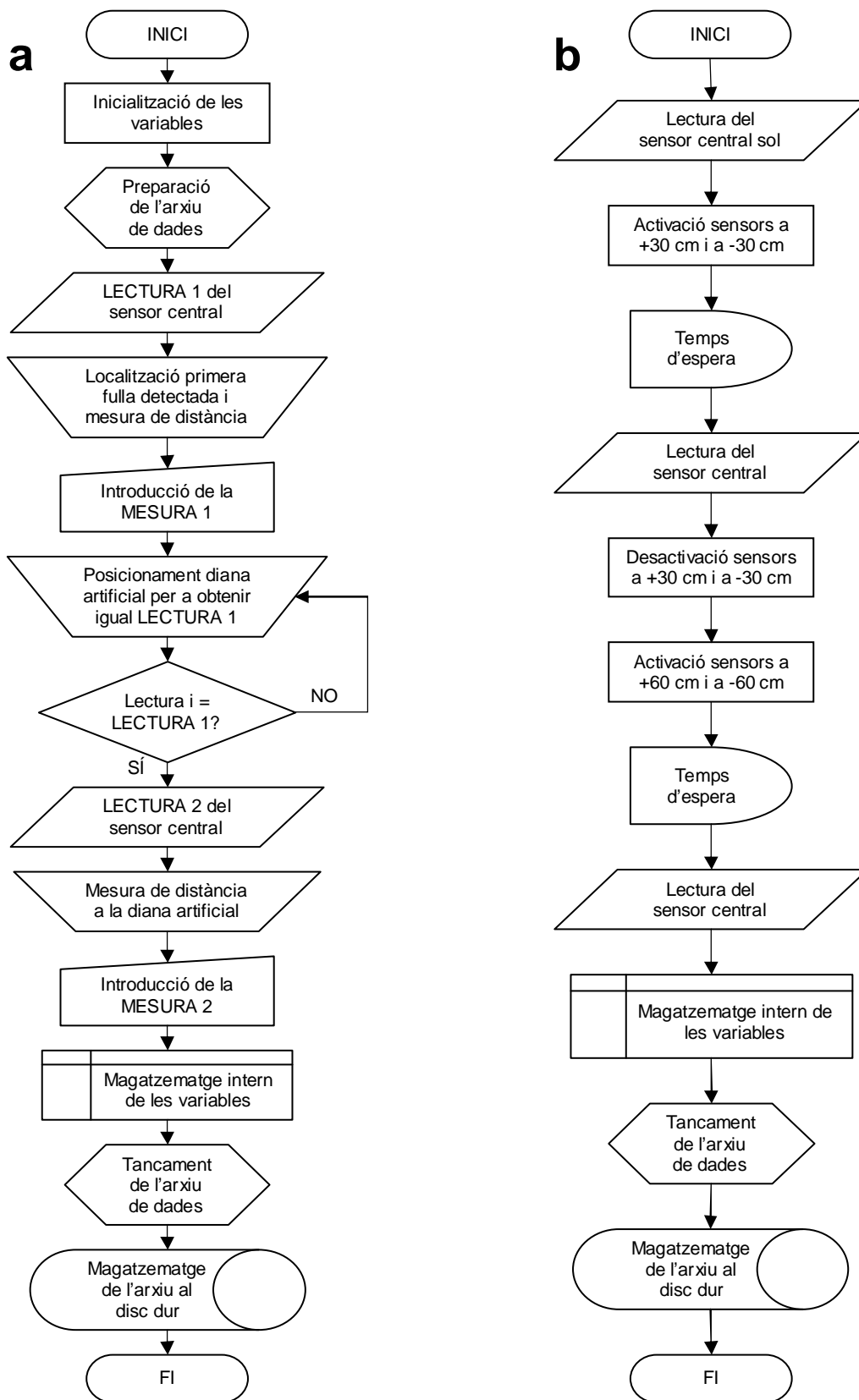
Finalment, després d'emmagatzemar totes les variables en un arxiu del disc dur s'informava que el dispositiu estava preparat per a un nou estacionament i reiniciar el procediment. Amb les dades obtingudes en aquest assaig d'anàlisi d'interferències, seria possible comparar les diferents lectures realitzades amb el sensor central per a determinar possibles variacions atribuïbles a interferències degudes al funcionament simultani dels sensors adjacents situats a 30 cm ó 60 cm. L'anàlisi estadística que es va aplicar va ser exactament la mateixa que per al cas de l'anàlisi de la resposta en funció de la superfície d'impacte (veure paràgraf anterior).

L'aplicació dissenyada per a l'execució dels diagrames de flux de la Figura 6.20 per a la realització dels assajos de camp es va realitzar amb el llenguatge de programació gràfica LabVIEW. A diferència dels programes de control i de l'assaig de calibratge en laboratori, l'assaig de calibratge i l'assaig d'interferències requerien una gran interacció entre l'investigador i el programa. Aquest fet, juntament amb la incomoditat de treballar al camp amb ordinadors, comportà un disseny de la interfície o panell frontal, en cas del llenguatge LabVIEW, molt intuïtiu, clar i senzill (Figura 6.21).



**Figura 6.19.-** Plataforma mòbil (a) i diferents etapes (b, c, d i e) de l'assaig de calibratge de sensors d'ultrasons en camp.

Per tal d'estalviar espai de pantalla i fer la mida de la lletra el més gran possible per a ser llegida fàcilment en condicions d'il·luminació excessiva, el panell frontal es va disposar en un format de tres pestanyes seleccionables, una per a la configuració de l'aplicació, una altra per a l'assaig de calibratge i la darrera per a l'assaig d'avaluació d'interferències. Com a complement, es va afegir un histograma de freqüències absolutes per a assegurar que totes les distàncies quedaven degudament representades en els dos assajos.



**Figura 6.20.-** Diagrames de flux de les aplicacions dissenyades per al calibratge (a) i anàlisi d'interferències (b) dels sensors d'ultrasons en camp.

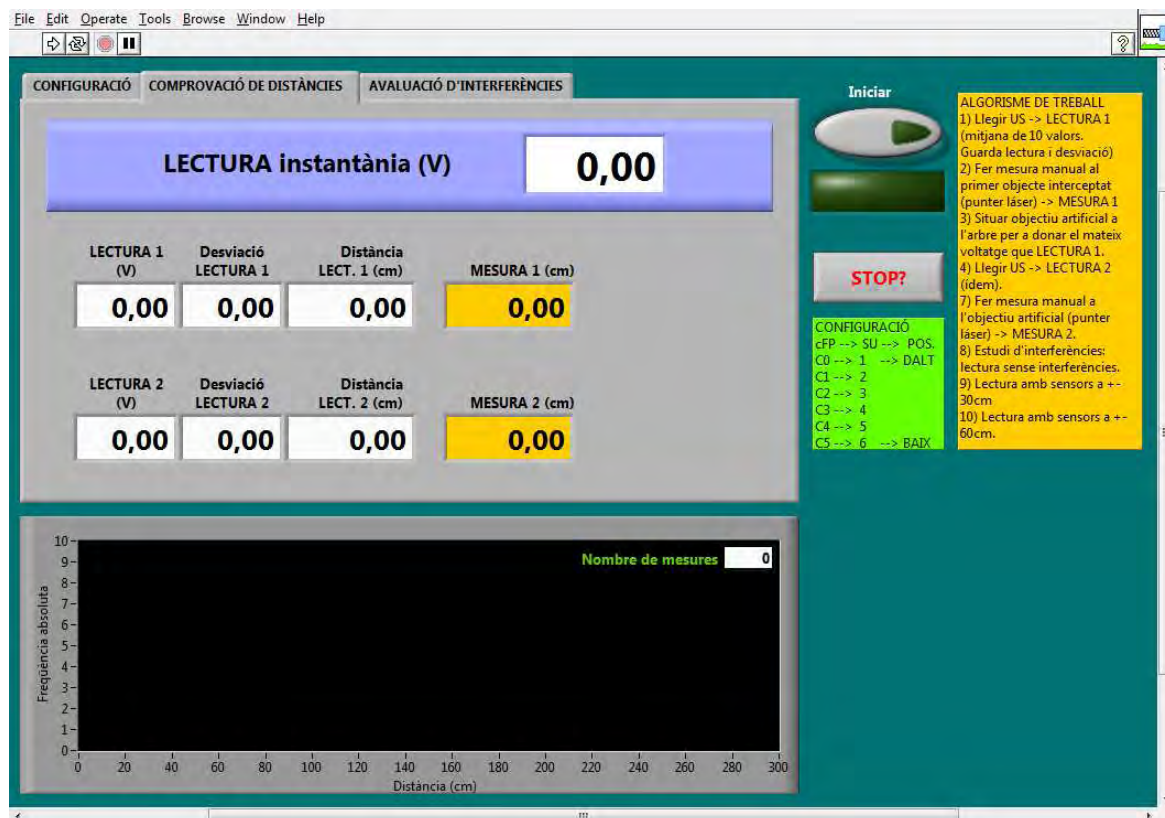


Figura 6.21.- Panell frontal de l'aplicació per al calibratge dels sensors d'ultrasons en camp.

## 6.2.6 Algorismes d'estimació del volum de capçada

El volum de capçada s'estima a partir de les lectures dels sensors utilitzats. Els sensors estimen una o diverses distàncies, segons el tipus de sensor, a partir de les quals s'estima la superfície de la semisecció transversal de la capçada ( $s$ , d'acord amb la nomenclatura establerta a la Figura 5.1). Per a determinar el volum de capçada a partir de la semisecció transversal, el que es fa és extrudir-la fins la següent lectura, assumint que la secció transversal es manté igual per a tot el tram. Com que aquesta suposició és, evidentment, falsa, el que interessa és realitzar les lectures dels sensors amb la major freqüència possible per tal de representar la capçada de la manera més precisa possible. El volum d'una fila d'arbres en una plantació, per tant, es determina per la suma dels volums estimats en cada lectura.

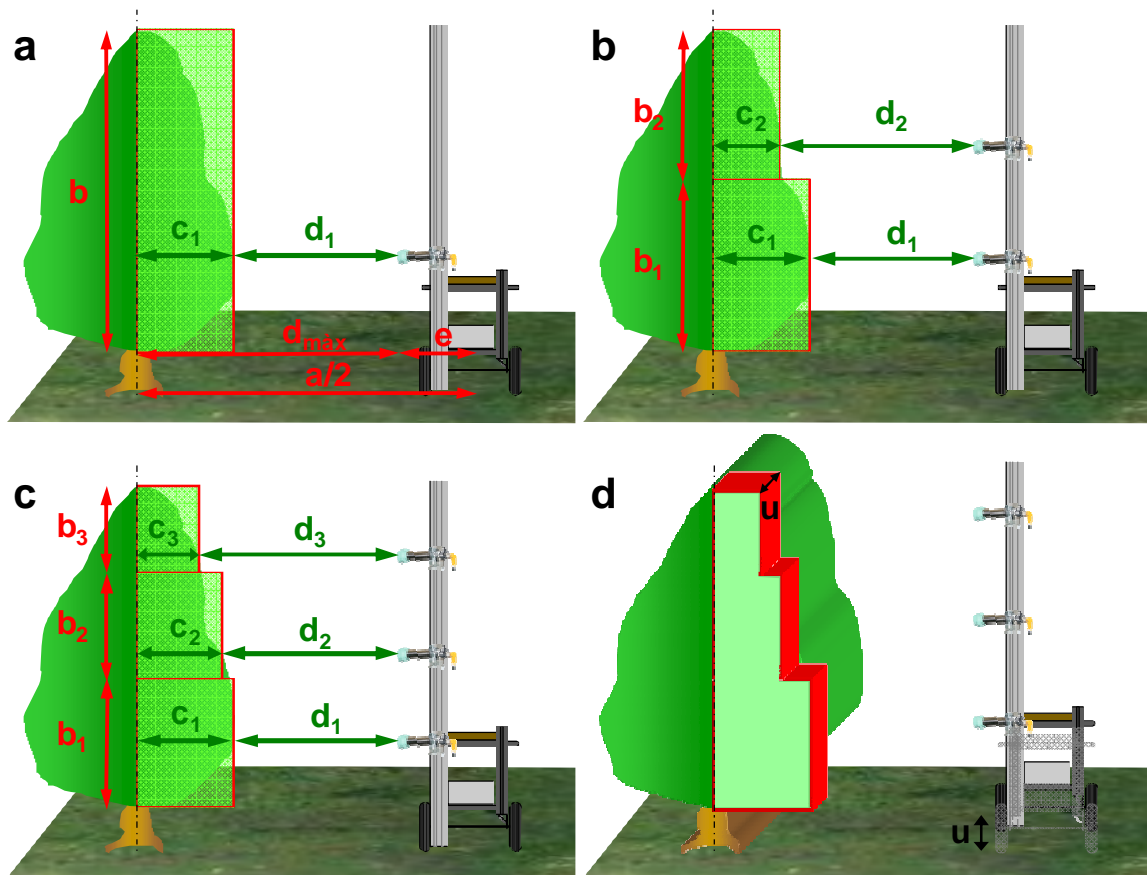
### 6.2.6.1 Sensors d'ultrasons

En el cas dels sensors d'ultrasons, la mesura del volum de la capçada es va realitzar mitjançant un, dos o tres sensors embarcats en una plataforma mòbil enganxada en un tractor. A la Figura 6.22 es mostren les disposicions adoptades per a la caracterització de la capçada amb diferents sensors. Com s'ha explicat, els senyals de sortida dels sensors d'ultrasons són senyals elèctrics proporcionals a la distància entre ells i el primer objecte que és capaç de generar un rebot. Els sensors es van disposar horitzontalment de manera que la direcció de la distància estimada fos perpendicular al pla vertical del centre de la fila. Suposant que la trajectòria dels sensors coincideixi amb la línia central del carrer, a una distància  $a/2$  del pla vertical del centre de la fila, l'amplada de la capçada,  $c_i$ , es pot determinar a partir de la diferència entre la meitat de l'amplada del carrer i la distància estimada pels sensors. En cas que el sensor no avanci pel centre del carrer

cal corregir la mesura amb la distància entre la membrana d'emissió i recepció del sensor i el centre del carrer. L'Equació 6.2 mostra el càlcul per a l'estimació de la semiamplada de capçada a partir de la distància estimada pels sensors.

Equació 6.2 
$$c_j = \frac{a}{2} - d_{sj} - e_j$$

On  $c_j$  és la semiamplada de capçada estimada a partir amb del sensor  $j$ ;  $a$  és l'amplada de carrer;  $d_{sj}$  és la distància detectada pel sensor  $j$ ;  $e_j$  és la distància del sensor  $j$  al centre del carrer.



**Figura 6.22.-** Disposicions per a la determinació del volum de capçada mitjançant una plataforma mòbil amb a) 1 sensor, b) 2 sensors i c) 3 sensors d'ultrasons. La semiamplada de capçada ( $c$ ) és la diferència entre la meitat del carrer i la suma de la posició del sensor ( $e$ ) i la distància estimada ( $d$ ). En d) es mostra l'extrusió de les semiseccions transversals estimades una distància  $u$  fins a la següent lectura per a l'estimació del volum de la capçada.

En aquest punt, resulta de gran importància el posicionament vertical dels sensors. Cal que cada sensor realitzi les seves mesures encarant una zona representativa del perímetre de la secció transversal ja que la resolució vertical de les mesures és baixa i cada mesura representarà la totalitat o una fracció de l'alçada de capçada. Per aquest motiu, els sensors s'han de poder situar en alçades diferents per a poder mesurar la capçada des de la més adient. La situació inadequada dels sensors pot provocar errors en l'estimació de la secció transversal tant per sobreestimació com per subestimació i, per tant, afectaria el volum de capçada estimat (Figura 6.23). Abans de realitzar un assaig de caracterització, per tant, cal analitzar la plantació i establir la posició més adient per a cada sensor.

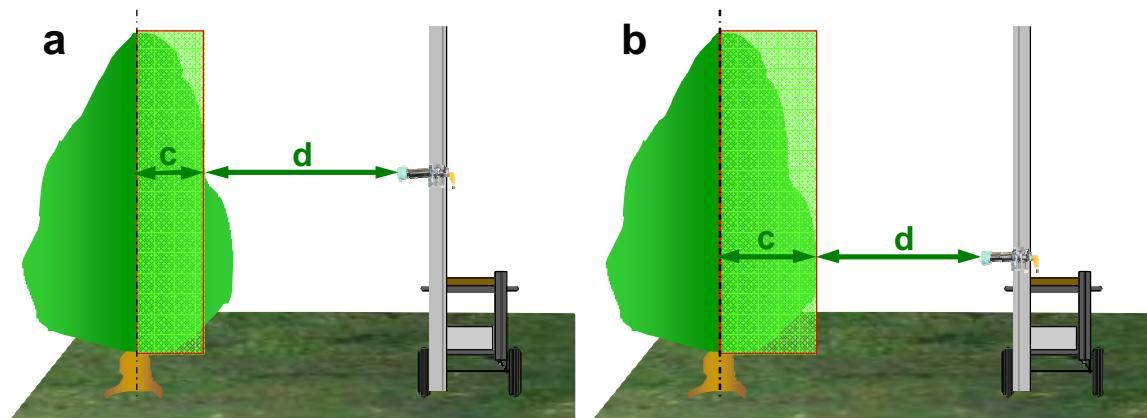


Figura 6.23.- Errors teòrics de subestimació (a) i sobreestimació (b) deguts al posicionament vertical dels sensors.

El pas següent és la determinació de la superfície de la semisecció transversal analitzada. Per a això, cal assignar a cada sensor l'alçada de capçada que representa. En cas de disposar d'un sol sensor (Figura 6.22.a), la semisecció transversal ve determinada per la semiampada de capçada estimada a partir de la lectura del sensor i l'alçada de la capçada, un paràmetre establert a partir de mesures manuals prèvies. En cas de disposar de dos o més sensors (Figura 6.22.b i c), la semisecció transversal es determina a partir de la suma de les dues o més subseccions establertes. Cada subsecció queda definida pel producte de l'amplada de capçada, estimada a partir de la lectura de cada sensor, i per l'alçada de capçada que representa cadascun. Aquest darrer paràmetre també s'ha d'establir de forma manual de manera prèvia a la realització dels assajos de mesura de volum de capçada.

Equació 6.3 
$$s_j = c_j \cdot b_j$$

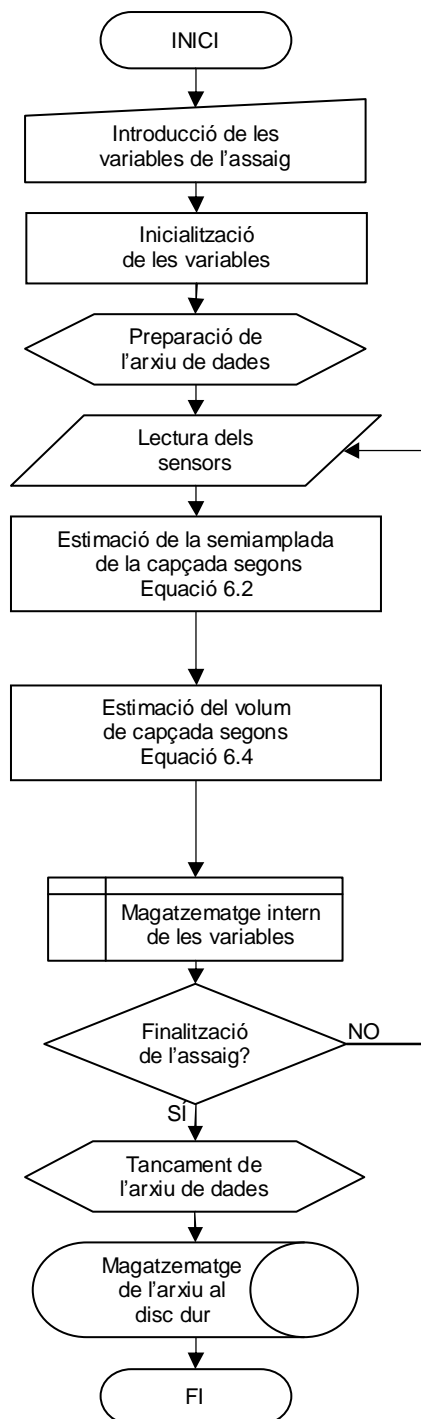
On  $s_j$  és la fracció de la semisecció transversal de la capçada estimada pel sensor  $j$ ;  $c_j$  és la semiampada de capçada estimada pel sensor  $j$ ;  $b_j$  és l'alçada de la capçada assignada al sensor  $j$ .

Una vegada estimada la semisecció transversal de la capçada, el següent pas és determinar el volum de capçada. Aquest volum ve definit pel producte de la semisecció transversal per la distància entre lectures, a mode d'extrusió de la semisecció per a convertir-la en un prisma rectangular regular o irregular segons si es disposa d'un o més sensors, respectivament (Figura 6.22.d). La distància entre lectures és funció de la freqüència de mostratge determinada per l'aplicació de control i la velocitat d'avanç de la plataforma mòbil. El càlcul final introduït en l'aplicació de control per a la determinació del volum de la capçada és el que mostra l'Equació 6.4.

Equació 6.4 
$$V_{Ci} = r_h \cdot \sum_{j=1}^N (c_j \cdot b_j)$$

On  $V_{Ci}$  és el volum de capçada instantani estimat a partir d'una sola mesura de la capçada, expressat en  $m^3_{capçada}$ ;  $r_h$  és la separació entre lectures equivalent a la resolució horitzontal de mostratge, expressada en m;  $c_j$  és la semiampada de capçada detectada pel sensor  $j$ , expressada en m;  $b_j$  és l'alçada de capçada que representa el sensor  $j$ , expressada en m;  $N$  és el número de sensors de que disposa el sistema de mesura.

A la Figura 6.24 es mostra l'algorisme creat per a la realització de les mesures de caracterització de capçades. Les variables que necessàriament ha d'introduir l'usuari són la velocitat d'avanç, el número de mostres que es desitja realitzar per cada metre avançat, l'amplada de carrer, la posició dels sensors respecte al centre del carrer, el nombre de sensors que realitzen la caracterització i l'alçada de capçada que representa cadascun. En l'arxiu de dades generat per l'aplicació s'hi enregistren les variables introduïdes per l'usuari, l'instant en el que es realitza cada adquisició dels sensors i el valor dels senyals adquirits per a la seva posterior anàlisi.

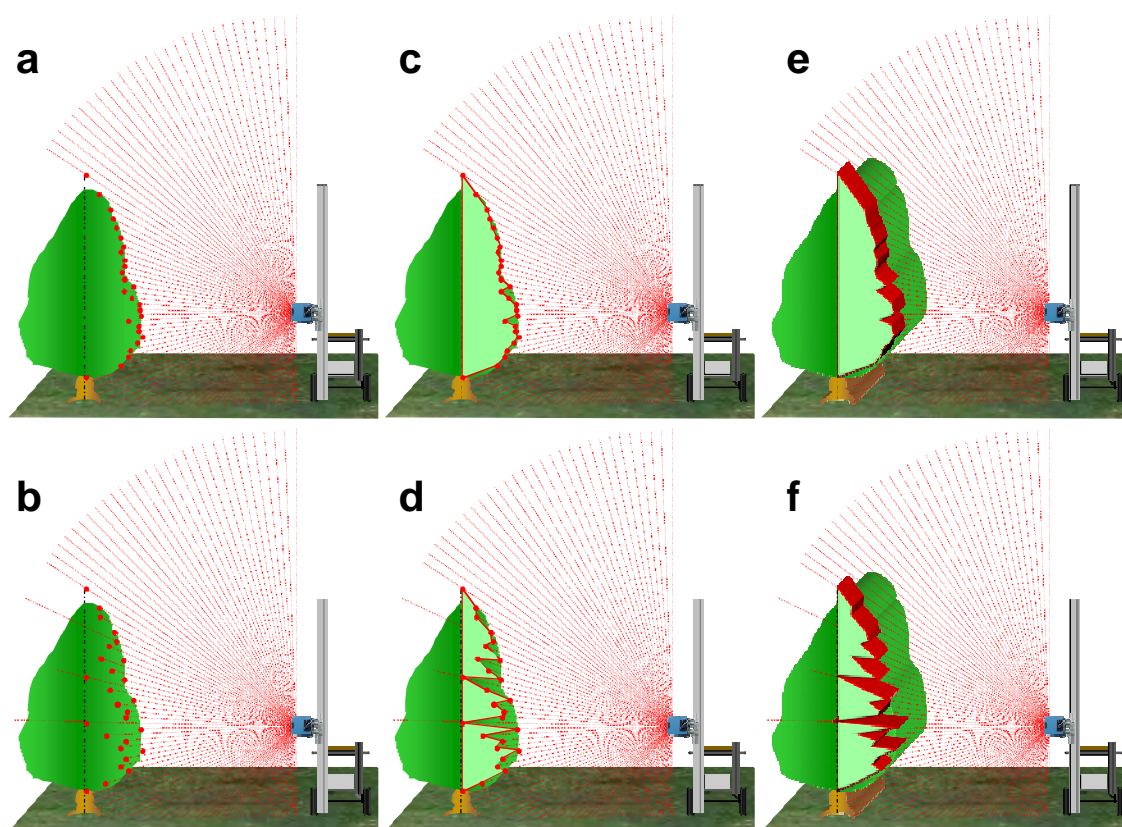


**Figura 6.24.-** Diagrama de flux de l'algorisme per a la realització dels assajos de caracterització de la capçada amb sensors d'ultrasons.



### 6.2.6.2 Sensors lidar

La caracterització de la capçada en temps real amb el sensor lidar es va realitzar disposant el sensor de manera que efectués l'escaneig en el pla vertical perpendicular a l'eix longitudinal de la fila d'arbres. Tal com s'ha explicat a l'apartat 6.2.2 Sensors per a la caracterització de la capçada, els sensors lidar tenen un principi de funcionament diferent al dels sensors d'ultrasons. El seu senyal de sortida és una cadena de caràcters que es poden convertir fàcilment en una matriu de coordenades polars o cartesianes. D'aquesta manera, l'algorisme dissenyat per a caracteritzar la capçada amb sensors lidar el que fa és interpretar aquesta matriu de dades per tal d'extreure'n la informació necessària. El procés és similar al cas dels ultrasons ja que consisteix en determinar la superfície de la semisecció transversal i multiplicar-la per la distància a la següent mesura per tal d'estimar el volum de capçada corresponent a cada lectura del sensor. A la Figura 6.25 es mostra, de manera esquemàtica, el procés de detecció de la capçada, estimació de la semisecció transversal i càlcul del volum de capçada instantani corresponent a un sol escaneig del sensor lidar.



**Figura 6.25.-** Procés de detecció de la capçada (a i b), estimació de la semisecció transversal (c i d) i càlcul del volum de capçada instantani corresponent a un sol escaneig del sensor lidar (e i f).

Degut al fet que les lectures del sensor són polars amb origen de coordenades a l'interior del dispositiu, la posició vertical del sensor és molt important per a la correcta caracterització de la capçada. Si la posició del sensor és massa baixa, el brancatge situat a mitja alçada podria interceptar els feixos làser destinats a les zones superiors de la secció i provocar el que s'anomena efecte "ombra", ja que el raig no té capacitat de penetració i atura el seu progrés al primer objecte capaç de reflectir-lo. En general, aquesta situació genera valors de volum de capçada sobreestimats. El mateix problema es produeix en posicions massa elevades del sensor.

La recomanació de Sanz (2008) és situar el sensor a una alçada entre 1 m i 2 m respecte a terra depenent de l'estructura de la capçada, de manera que l'efecte ombra tingui la mínima incidència possible.

El procés de determinació del volum de cada escaneig consta de diverses etapes que originen un flux important d'informació durant l'execució de l'aplicació que controla el procés de caracterització. A la Figura 6.26 es mostra el diagrama de flux utilitzat en el disseny de l'aplicació esmentada. L'aplicació que executava l'algorisme es va desenvolupar amb el llenguatge de programació gràfica LabVIEW. Les variables que necessàriament ha d'introduir l'usuari són la velocitat d'avanç, el número de mostres que es desitja realitzar per cada metre avançat, l'amplada de carrer, la posició del sensor respecte al centre del carrer i l'alçada on acaba el tronc nu i comença la capçada.

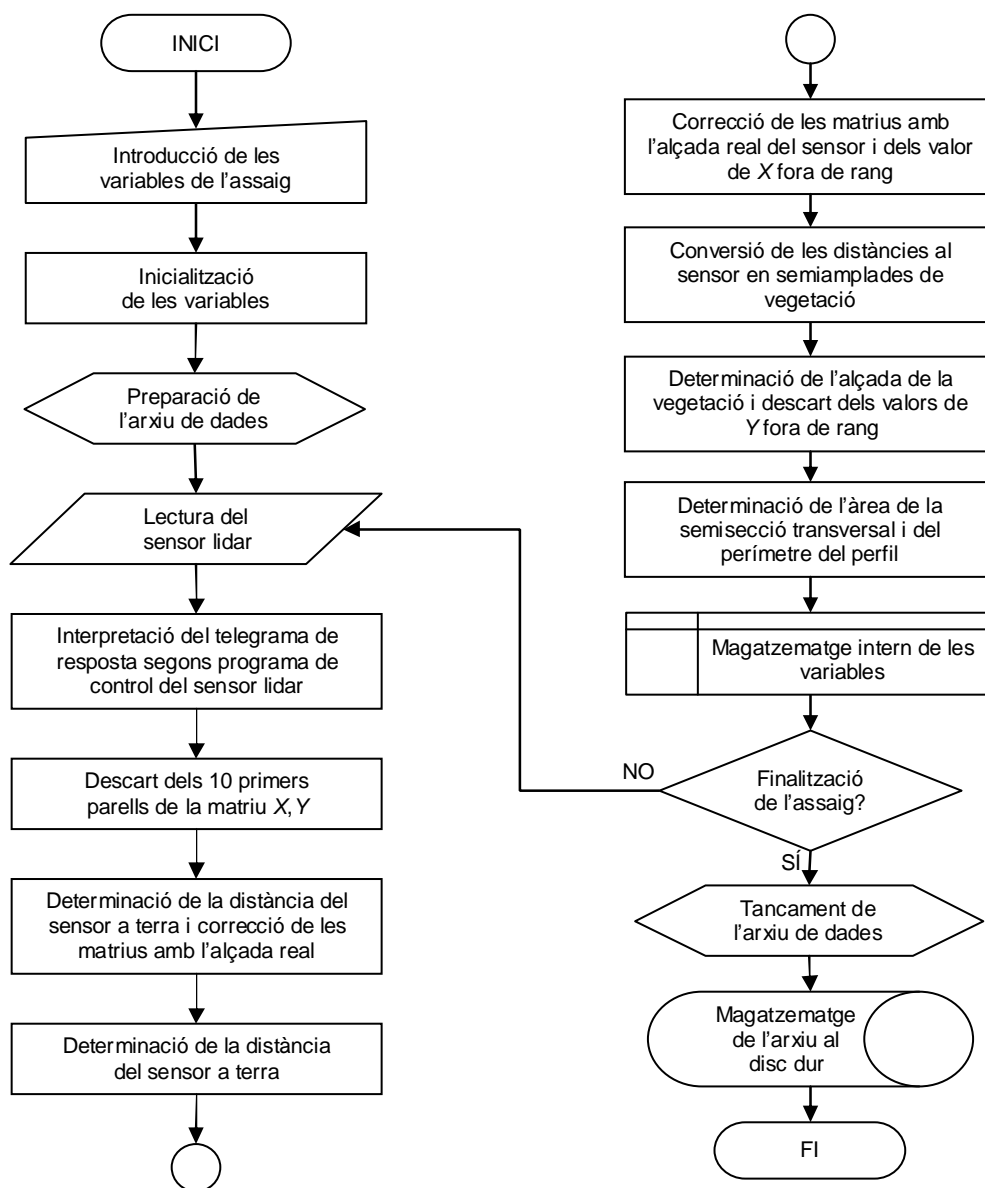
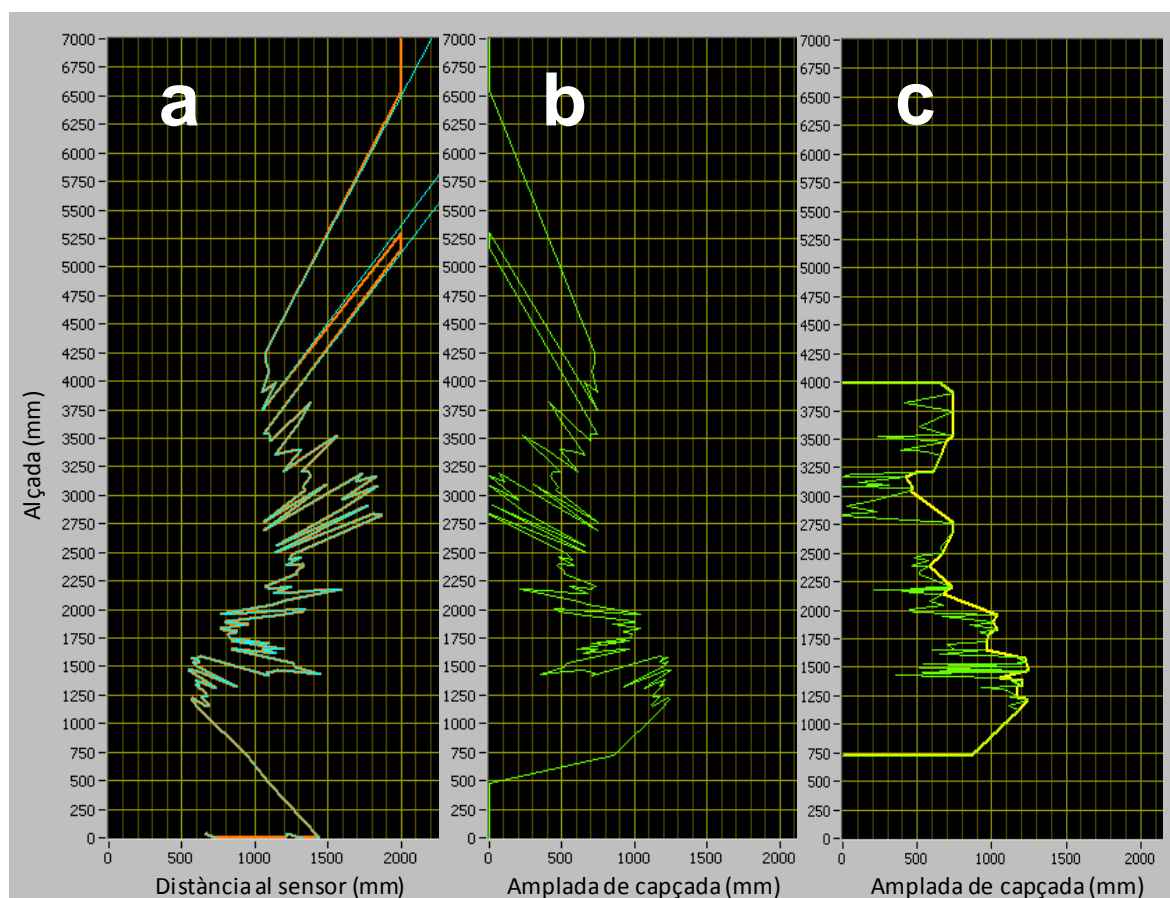


Figura 6.26.- Diagrama de flux de l'algorisme per a la caracterització de la capçada amb el sensor lidar.

A la Figura 6.27 s'observen tres gràfiques que reflecteixen el procés d'estimació de la semisecció transversal de la capçada per a un determinat escaneig del sensor lidar. La Figura 6.27.a és la representació dels diferents punts obtinguts a partir d'un sol escanament vertical del sensor en coordenades cartesianes però units seguint l'ordre d'adquisició polar (línia blava). L'alçada real dels punts es determina a partir de les mateixes dades del sensor, restant la mitjana de les cinc mesures següents al descart de les deu primeres a totes les coordenades y de la semisecció. La línia roja de la mateixa Figura 6.27.a uneix només els punts detectats entre l'eix central de la fila i el centre del carrer. Qualsevol impacte que rebassi aquest límit és prèviament projectat de forma radial al centre de la fila. La nova coordenada x d'aquest punt serà igual a la meitat de l'amplada del carrer de la plantació i la coordenada y es corregirà segons l'Equació 6.5.



**Figura 6.27.-** Seqüència del procés d'estimació de la superfície de la semisecció transversal a partir d'un escaneig realitzat amb el sensor lidar: a) representació dels punts obtinguts amb el sensor (línia blava) i projecció radial dels impactes làser llunyans a l'eix central de la fila (línia roja); b) conversió de les distàncies al sensor en semiamplades de capçada; c) representació del perfil real de la semisecció transversal de la capçada amb el descart de les zones superior i inferior (línia verda) i ajust d'un contorn suavitzat (línia groga).

**Equació 6.5**

$$y_c = \frac{a/2}{\operatorname{tg}(\alpha_L)} + y_L$$

On  $y_c$  és la coordenada y corregida corresponent a la parella de punts  $(x,y)$  en que l'impacte del feix lidar es produeix més enllà del pla central de la fila;  $a$  és l'amplada de carrer;  $\alpha_L$  és l'argument polar de la parella cartesiana  $(x,y)$ ;  $y_L$  és la posició del sensor lidar respecte el terra.

A la Figura 6.27.b es mostra el perfil de la semisecció transversal una vegada realitzada la conversió dels punts detectats pel sensor ( $i$ , en cas que sigui necessari, dels projectats) en semiamplades de capçada. La conversió de la coordenada  $x$  de cada punt es realitza a partir de l'Equació 6.6, anàloga a l'emprada en la determinació de la semiamplada de capçada amb sensors d'ultrasons (Equació 6.2), mentre que la coordenada  $y$  roman constant.

**Equació 6.6**

$$c_k = \frac{a}{2} - x_k - e_L$$

On  $c_k$  és la coordenada  $x$  de la semiamplada de capçada corresponent al  $k$ -èssim punt ( $x, y$ ) determinat pel sensor lidar;  $a$  és l'amplada de carrer;  $x_k$  és la coordenada  $x$  del  $k$ -èssim punt ( $x, y$ ) determinat pel sensor lidar;  $e_L$  és la distància del centre de coordenades del sensor lidar al centre del carrer.

La Figura 6.27.c mostra el perfil real de la semisecció transversal de la capçada (línia verda) i un perfil suavitzat o contornejat (línia groga). El perfil real és resultat d'haver desestimat els punts inferiors a una determinada alçada mínima de la capçada i els punts superiors a una determinada alçada màxima de capçada, ambdues establertes de forma manual i considerades com a variable d'entrada al programa de regulació. L'alçada mínima de capçada correspon a l'alçada mitjana del tronc nu a la plantació i l'alçada màxima correspon a l'alçada mitjana de la capçada. Totes dues s'estableixen per a reduir la influència de l'efecte ombra en la interpretació de les lectures del sensor. A mode d'exemple, observant la Figura 6.27.b es podria concloure que l'alçada de capçada de la secció escanejada arribava als 6,5 m quan, en realitat, és possible que no passés de 4 m. En aquest pas, el perfil s'ha realitzat reordenant la matriu de dades en funció del valor de l'alçada,  $y$ , de manera que la unió dels punts del perfil ja no respon a la concepció polar del sensor sinó que intenta representar l'espai ocupat pel fullatge i el brancatge des d'un punt de vista més real, intentant reduir l'efecte ombra.

El perfil suavitzat o contornejat es construeix a partir de la unió de les semiamplades màximes al llarg del perfil real, a mode de corba envolupant que uneix les semiamplades màximes del perfil real, i la seva finalitat és la de generar nous paràmetres per a introduir en els models estadístics de regressió entre variables. Una vegada obtinguts el perfil real i el suavitzat, la mateixa aplicació calcula la superfície continguda en el perfil i el seu perímetre. La superfície de la semisecció transversal és determinada calculant el sumatori de la superfície de tots els rectangles possibles amb base la mitjana de dues coordenades  $x$  correlatives i alçada la diferència entre les corresponents coordenades  $y$  (Equació 6.7). El perímetre ve determinat pel sumatori de totes les distàncies euclidianes entre punts consecutius (Equació 6.8).

**Equació 6.7**

$$s = \sum \left[ (y_k - y_{k-1}) \cdot \frac{(x_k + x_{k-1})}{2} \right]$$

On  $s$  és la superfície de la semisecció transversal,  $(x_k, y_k)$  és el  $k$ -èssim parell de coordenades i  $(x_{k-1}, y_{k-1})$  el parell anterior en l'ordre del perfil.

**Equació 6.8**

$$p_s = \sum \left( \sqrt{(x_k - x_{k-1})^2 + (y_k - y_{k-1})^2} \right)$$

On  $p_s$  és el perímetre de la semisecció transversal,  $(x_k, y_k)$  és el  $k$ -èssim parell de coordenades i  $(x_{k-1}, y_{k-1})$  el parell anterior en l'ordre del perfil.

L'aplicació dissenyada permetia, a més, establir dues alçades llindar per tal de facilitar tant la superfície de la semisecció com el seu perímetre desglossats en tres blocs (inferior, central i superior) per tal de generar més informació per a les anàlisis posteriors.

Els algorismes de caracterització de la capçada amb sensor lidar s'han desenvolupat en plantacions fruiteres deixant per a futurs treballs la caracterització en temps real de la vinya i altres espècies.

## 6.2.7 Determinació de la resolució horitzontal de mostratge

Un altre aspecte important en la caracterització de la capçada és establir quina és la freqüència de mostratge que, juntament amb la velocitat d'avanç de la plataforma on s'embarquen els sensors, determina el nombre de lectures realitzades per unitat de longitud recorreguda o, cosa que és el mateix, la separació entre lectures dels sensors, altrament dita, resolució horitzontal de mostratge.

Per tal que el mètode de dosificació dissenyat al Capítol 5 Desenvolupament del mètode dinàmic de dosificació tingui un comportament realment dinàmic i detecti la variabilitat de la capçada de manera fiable, cal establir una resolució horitzontal elevada. Aquest criteri, però, cal ponderar-lo amb el fet que la informació de la caracterització de la capçada servirà per a regular el procés d'aplicació variable de productes fitosanitaris i, per tant, ha de ser possible gestionar tota la informació generada en molt poc temps (de l'ordre de mil·lèsimes de segon). A més a més, cal no oblidar que els actuadors i el circuit hidràulic del polvoritzador tenen la seva pròpia dinàmica amb una sèrie d'inèrcies que cal tenir en compte. És necessari, per tant, arribar a un compromís entre el màxim nombre possible de mostres per unitat de longitud per a caracteritzar correctament la capçada i el volum d'informació processada màxima per a no saturar el sistema de regulació. Per a la determinació de la resolució de mostratge es realitzaren diverses mesures d'una fila d'arbres en una plantació de *Malus domestica*, Borkhausen cv. 'Golden Delicious' que l'Estació Experimental de Lleida de l'Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries té a Gimenells (Figura 6.28).



**Figura 6.28.-** Emplaçament de la parcel·la de *Malus domestica*, Borkhausen cv. 'Golden Delicious' que l'Estació Experimental de Lleida de l'Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries té a Gimenells on es van dur a terme les mesures de la capçada per a determinar la resolució horitzontal de mostratge (font: ICC).

Les mesures es van realitzar amb tres sensors d'ultrasons a la màxima freqüència de mostratge que permetia el dispositiu d'adquisició i emmagatzematge. La posició del sensor inferior era de

1,20 m respecte el terra, la del sensor central a 2,40 m respecte el terra i la del sensor superior a 3,00 m respecte el terra. A continuació es van realitzar diferents submostres de dades simulant mesures amb diferents resolucions de mostratge. Les dades es van processar per a obtenir la superfície de les diferents semiseccions transversals i es van representar i analitzar per a determinar la resolució més adient per a caracteritzar la capçada.

Una vegada obtingudes les diferents mostres del mateix tram de capçada amb diferents resolucions de mostratge (i, per tant, amb menys nombre de dades) es va procedir a aplicar un tractament estadístic per a contrastar la hipòtesi nul·la que plantejava la igualtat entre totes les mitjanes de les mostres de semiseccions estimades. El tractament va consistir en una anàlisi de la variància unifactorial prèvia comprovació de les assumpcions sobre les dades de les mostres que requereix aquest procediment. Per a determinar si la distribució de les dades de les diferents mostres es podia assimilar a una distribució normal es va realitzar una prova de Shapiro-Wilk i per a comprovar la igualtat de les variàncies (homoscedasticitat) es va realitzar una prova de Bartlett. En cas d'acceptar la normalitat i la igualtat entre variàncies, a més de la independència i aleatorietat de les dades obtingudes, es podia procedir a aplicar l'anàlisi de la variància. En cas contrari, la prova aplicada seria la prova no paramètrica de Kruskal-Wallis, que no requereix fer cap assumptió sobre les dades analitzades ja que no treballa a partir dels valors numèrics de la variable resposta sinó que ho fa a partir de l'estudi dels rangs de posicionament de les dades en el conjunt. Ambdues anàlisis consisteixen en comparar les diferents mostres de mesures de les semiamples de capçada per a contrastar la hipòtesi nul·la i acceptar-la o rebutjar-la segons la probabilitat que es doni o no l'estadístic corresponent. Si aquesta probabilitat fos inferior al nivell de significació (en el nostre cas  $\alpha = 0,05$ ), no podríem acceptar la hipòtesi nul·la i no es podria afirmar que totes les mostres representessin la mateixa població. A partir del resultat d'aquesta prova es podrà tenir una indicació de la resolució de mostratge més adient per al tipus de capçada escanejada.

## 6.2.8 Assajos de caracterització de la capçada

Una vegada seleccionats els sensors i desenvolupada la metodologia per a la determinació del volum de la capçada en temps real, en aquest apartat es descriuen els assajos realitzats i la metodologia utilitzada per a analitzar la variabilitat de la capçada al llarg de les files d'arbres i vinyes i per a comparar els resultats obtinguts entre ells i amb d'altres mètodes de caracterització de la capçada. La majoria dels assajos realitzats es varen dur a terme amb sensors d'ultrasons però en el darrer període dels assajos de camp es va emprar el sensor lidar, cosa que permeté la realització d'un estudi comparatiu de les dues metodologies.

### 6.2.8.1 Caracterització amb sensors d'ultrasons

Una vegada posat a punt el sistema, es va procedir a realitzar els assajos de camp per a caracteritzar capçades en condicions reals. Els primers assajos es van realitzar en una plantació de perers (*Pyrus communis* L. cv. 'Conference'), el 21 de juny de 2001, i en una plantació de pomers (*Malus domestica* Borkhausen cv. 'Golden Delicious'), realitzat el 25 de juliol de 2002. Ambdós assajos es va dur a terme a la finca que l'Estació Experimental de Lleida, pertanyent a l'Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries, té a Gimenells, terme municipal de Gimenells i el Pla de la Font (Figura 6.29).



**Figura 6.29.-** Emplaçament de les parcel·les de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' i de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious' que l'Estació Experimental de Lleida de l'Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries té a Gimenezells on es van dur a terme els assajos de caracterització de la variabilitat de la capçada els anys 2001 i 2002 (font: ICC).

A la Figura 6.30 es poden apreciar les plantacions en el moment de la realització dels respectius assajos de caracterització i a la Taula 6.3 es relacionen les seves característiques geomètriques. Després d'analitzar les plantacions, en la realització dels assajos es va considerar oportú situar els sensors d'ultrasons en la posició indicada a la Figura 6.31, per considerar que les semiamplades d'aquelles alçades eren suficientment representatives de les semiseccions transversals.



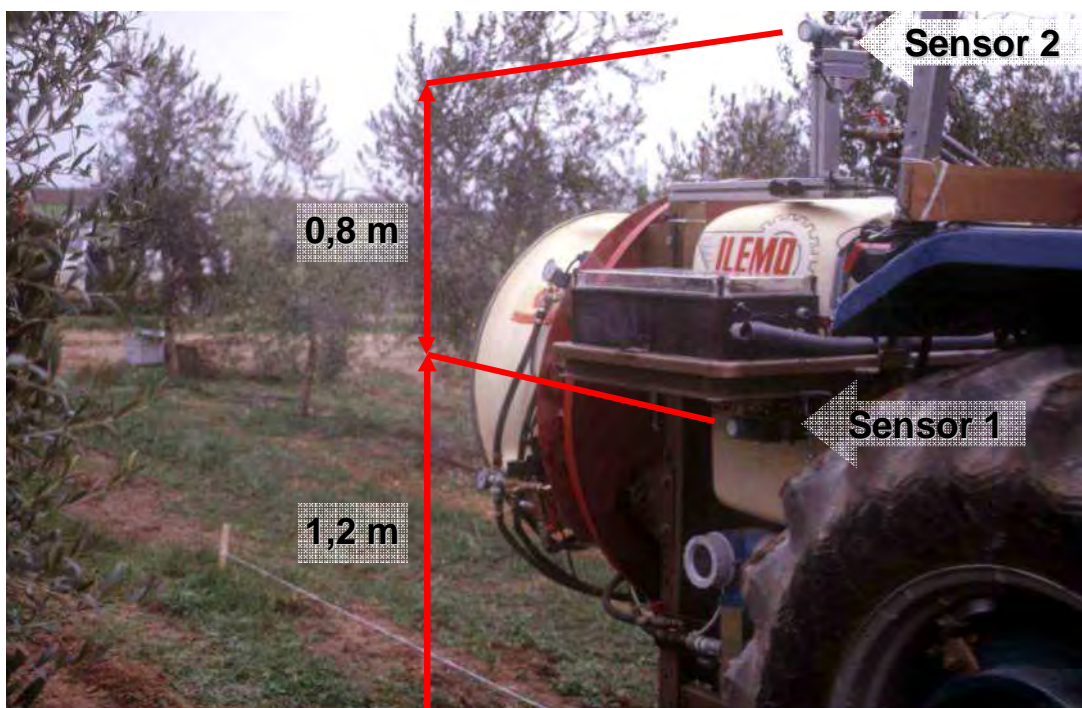
**Figura 6.30.-** Imatge de les parcel·les de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' (esquerra) i de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious' (dreta) en la que es van realitzar els assajos de caracterització de la capçada amb dos sensors d'ultrasons els anys 2001 i 2002.

**Taula 6.3.-** Característiques de la plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' i de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious' en la que es van desenvolupar els assajos de caracterització de la capçada amb dos sensors d'ultrasons els anys 2001 i 2002.

Característica	Valor aproximat perers	Valor aproximat pomers
Estadi fenològic	BBCH 81*	BBCH 77*
Sistema de formació	Eix	Eix
Amplada de carrer	4,0 m	4,0 m
Separació entre arbres	1,5 m	1,5 m
Amplada d'arbre	1,5 m	1,9 m
Alçada d'arbre	3,5 m	4,5 m
Alçada de tronc nu	0,5 m	0,5 m

\* Meier, 2001

Per a l'execució de l'assaig es van muntar dos sensors d'ultrasons en una plataforma subjectada l'enganxall de l'elevador hidràulic del tractor. El sensor inferior, anomenat Sensor 1, es situà a una alçada de 1,2 m respecte el terra. El sensor superior, designat Sensor 2, es situà a 2 m del terra (Figura 6.31). L'assaig consistí en mesurar 38 arbres d'un tram de fila (113 m) des dels dos costats amb els dos sensors simultàniament. Posteriorment, es van analitzar els resultats obtinguts tenint en compte només les lectures del Sensor 1 o bé tenint en compte la informació generada pels dos sensors. A partir de les dades de distància dels dos sensors es van determinar les semiamplades de capçada i les semiseccions transversals per a cada costat del tram de fila caracteritzat. Per tal que les mesures fossin el més correctes possibles d'acord amb allò explicat a l'apartat 6.2.6 Algorismes d'estimació del volum de capçada, calia que el tractor circulés pel centre del carrer entre fileres. Per aquest motiu es va determinar el punt central del carrer en dos punts separats uns 120 m i es va estendre un cordill a mode de referència per al conductor del tractor (Figura 6.31).



**Figura 6.31.-** Muntatge inicial dels sensors en un polvoritzador hidropneumàtic suspès a mode de plataforma mòbil amb el que es van realitzar els primers assajos de caracterització de la capçada l'any 2001.

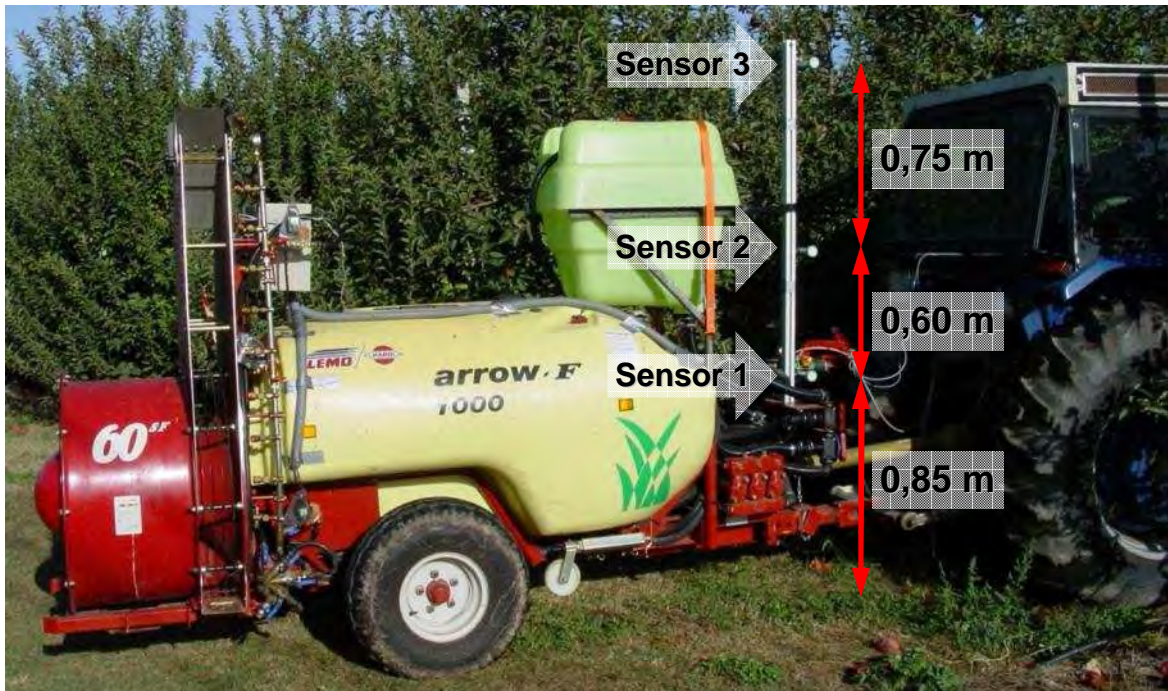
L'anàlisi estadística que es va aplicar va consistir, en primer lloc, en determinar alguns estadístics descriptius de les diferents mesures electròniques realitzades i en elaborar diagrames de caixa i de dispersió per tal de visualitzar i determinar la variabilitat dels valors obtinguts tant entre els diferents sensors com al llarg de la fila d'arbres. En segon lloc, la repetibilitat de les mesures dels sensors es va avaluar visualment representant les semiamplades de capçada estimades arran de les lectures dels sensors durant les diferents repeticions en un mateix diagrama on l'eix d'abscisses representava la posició de les lectures en la fila. Per tal de valorar el comportament dels sensors en referència a la seva repetibilitat amb un criteri objectiu, es va realitzar una anàlisi de la variància d'un factor (les diferents repeticions) consistent en comparar les mitjanes i la variància de les tres repeticions de les mesures de les semiamplades de capçada realitzades per



cada costat amb un i amb dos sensors. La hipòtesi nul·la era que les mitjanes de semiamplada de la població d'on provenien les mostres eren iguals. Per contra, la hipòtesi alternativa era que “no totes les mitjanes de semiamplada de la població eren iguals”. L'anàlisi de la variància es va realitzar amb un nivell de significació,  $\alpha$ , de 0,05. El tram de distància de fila analitzat i la resolució de mostratge són idèntiques i, per tant, les mostres tenen exactament el mateix volum de dades. Això fa que l'anàlisi de la variància sigui suficientment robust en front de violacions de la normalitat o de l'homoscedasticitat com per a que no calgués realitzar les comprovacions pertinents. En cas de rebutjar la hipòtesi nul·la es va aplicar la prova de separació de mitjanes de Tukey-Kramer per a agrupar-les segons el seu valor. Es va escollir aquesta prova per ser àmpliament utilitzada en la bibliografia i per no ser una prova ni massa estricta ni massa conservadora a l'hora de realitzar separacions. En tercer lloc es va realitzar una altra anàlisi de la variància per a comparar les mitjanes dels semivolums obtinguts amb un i amb dos sensors mitjançant una anàlisi de la variància d'un factor per tal de detectar diferències estadísticament significatives entre elles. Igual que en el cas anterior, les dues mostres tenen el mateix volum de dades i no és necessària cap comprovació addicional. Finalment, a partir de les característiques geomètriques de la plantació (Taula 6.3) es determinaren tres volums manuals aplicant metodologies basades en el volum de la fila d'arbres (*Tree Row Volume*, *TRV*). El primer volum manual es calculà a partir del mètode original desenvolupat als Estats Units (Byers *et al.*, 1971) expressat en l'Equació 2.8 i anomenat  $TRV_{US}$  a les taules de resultats. Els altres dos volums són els determinats a partir de les expressions utilitzades actualment a Suïssa segons es tracti de capçades amb gran volum foliar (Equació 2.10) o capçades convencionals (Equació 2.11). La nomenclatura utilitzada a les taules de resultats en aquest dos casos serà  $TRV_{SW1}$  i  $TRV_{SW2}$ , respectivament. Com que les referències dimensionals suïsses no tenen per què coincidir amb les catalanes o amb les de la resta d'Europa es calcularan els dos volums en tots els casos. Els tres volums manuals obtinguts i els obtinguts electrònicament es compararen mitjançant un estudi numèric per a quantificar les diferències absolutes i relatives entre ells. A més dels volums totals del tram escanejat, també es van calcular els errors en valor absolut dels mètodes relatius respecte als volums instantanis en cada punt de la fila per tal que aquests no quedessin compensats per les sobreestimacions i les subestimacions en els volums.



Coincidint amb el canvi d'unitat de processament i sistema d'adquisició descrit a l'apartat 6.2.3, el sistema de caracterització va passar de dos sensors d'ultrasons a muntar-ne tres (Figura 6.32). Amb aquest nou sistema es van realitzar dos assajos més de caracterització de capçades seguint el procediment desenvolupat fins al moment. El primer assaig es va realitzar en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' el 22 de setembre de 2005 i el segon en una plantació de *Malus domestica* Borkhausen cv. 'Top Red', realitzat el 2 d'octubre de 2005. Els sensors es van situar a 0,85 m, 1,45 m i 2,20 m respecte el terra en els dos assajos per considerar que les semiamplades mesurades a aquestes alçades eren representatives de tota la semisecció transversal.



**Figura 6.32.-** Muntatge definitiu dels tres sensors en un polvoritzador hidropneumàtic arrossegat amb el que es van realitzar els assaigs de caracterització de la capçada l'any 2005.

Ambdues plantacions estan situades a la finca que l'Estació Experimental de Lleida té a la població de Gimennells, al terme Municipal de Gimennells i el Pla de la Font (Figura 6.33). A la Figura 6.34 es pot observar una imatge de les plantacions el dia de la realització de l'assaig. A la Taula 6.4 es relacionen els estadis fenològics de les dues plantacions i les dimensions mitjanes el dia abans que es realitzés l'assaig. Les mesures es van realitzar de manera manual de la mateixa manera que ho podria fer un agricultor amb la intenció de determinar el TRV de la seva plantació.



**Figura 6.33.-** Emplaçament de les parcel·les de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' i de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious' que l'Estació Experimental de Lleida de l'Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries té a Gimennells on es van dur a terme els assaigs de caracterització de la variabilitat de la capçada l'any 2005 (font: ICC).



**Figura 6.34.-** Imatge de les parcel·les de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' i de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top Red' en la que es van realitzar els assajos de caracterització de la capçada amb tres sensors d'ultrasons l'any 2005.

Amb els resultats d'aquests assajos es va realitzar un estudi descriptiu de les mesures adquirides per a determinar la variabilitat de les plantacions assajades. Les eines utilitzades foren estadístics descriptius i diagrames de caixa i de dispersió. Posteriorment es van analitzar les mostres de volums instantanis de capçada obtingudes des del costat esquerre i des del costat dret per a detectar diferències significatives a partir de l'anàlisi de la variància. Finalment, es va realitzar un estudi numèric per a avaluar les diferències obtingudes en la determinació del volum de capçada entre el mètode electrònic i els mètodes manuals basats en el TRV, de la mateixa manera que en les caracteritzacions descrites anteriorment.

**Taula 6.4.-** Característiques de la plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' i de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' en la que es van realitzar els assajos de caracterització de la capçada amb tres sensors d'ultrasons l'any 2005.

<b>Característica</b>	<b>Valor aproximat perers</b>	<b>Valor aproximat pomers</b>
Estadi fenològic	BBCH 92*	BBCH 89*
Sistema de formació	Eix	Eix
Amplada de carrer	4,0 m	4,0 m
Separació entre arbres	1,6 m	1,5 m
Amplada d'arbre	1,9 m	2,5 m
Alçada d'arbre	4,0 m	4,0 m
Alçada de tronc nu	0,5 m	0,5 m

\* Meier, 2001

### 6.2.8.2 Caracterització amb sensor lidar

L'any 2006 es va incorporar el sensor lidar al sistema de caracterització descrit anteriorment per tal d'avaluar les possibilitats d'aquest sensor treballant en temps real i el 2 d'octubre de 2006 es va realitzar un assaig en la mateixa parcel·la de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' on es va realitzar l'assaig l'any 2005. La plataforma utilitzada va ser la mateixa que la dels assajos de 2005 i l'única modificació va ser la d'afegir el sensor lidar (Figura 6.35). El sensor es va situar a una alçada de 1,7 m respecte el terra després d'analitzar la capçada visualment i determinar que era des d'on generava menys zones d'ombra. Amb el sensor lidar embarcat al polvoritzador es caracteritzà un tram de 40 m d'una fila de perers per ambdós costats. Per tal d'analitzar la repetibilitat de les mesures obtingudes, la caracterització es va realitzar per triplicat fent tres repeticions per cada costat de la fila.

A la Taula 6.5 es relacionen l'estadi fenològic i les mesures manuals realitzades en la plantació per a comparar els volums de capçada determinats amb les diferents metodologies *TRV* amb els volums estimats a partir de les mesures electròniques. Una altra anàlisi que es va realitzar a partir de les mesures del sensor lidar fou la comparació entre el volum de capçada obtingut a partir de les semiseccions reals i el volum obtingut a partir dels perfils suavitzats o contornejats descrits a l'apartat 6.2.6 Algorismes d'estimació del volum de capçada (Figura 6.27).

L'anàlisi estadística per a l'estudi de la repetibilitat de les mesures consistí en una comparació de les mitjanes de cadascuna de les repeticions mitjançant una anàlisi de la variància, ANOVA, prèvia representació de les mesures en diagrames de dispersió per a una anàlisi visual. Donat que el nombre de mostres en cada repetició és exactament igual, la prova ANOVA serà suficientment robusta encara que les mostres no segueixin una distribució normal o presentin heteroscedasticitat i, per tant, s'obviaran les comprovacions pertinents. En cas de rebutjar la hipòtesi nul·la es va aplicar la prova de separació de mitjanes de Tuckey-Kramer per a ordenar-les segons el seu valor. Es va escollir aquesta prova per ser àmpliament utilitzada en la bibliografia i per no ser una prova ni massa estricta ni massa conservadora a l'hora de realitzar les separacions de les mitjanes.



**Figura 6.35.-** Detall del muntatge per a la caracterització de la capçada amb els tres sensors ultrasònics i el sensor lidar en un polvoritzador hidropneumàtic arrossegat amb el que es va realitzar l'assai de caracterització de la capçada l'any 2006.

**Taula 6.5.-** Característiques de la plantació *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' en la que es van realitzar els assajos de caracterització de la capçada amb tres sensors d'ultrasons i amb el sensor lidar simultàniament l'any 2006.

<b>Característica</b>	<b>Valor aproximat</b>
Estadi fenològic	BBCH 92*
Sistema de formació	Eix
Amplada de carrer	4,00 m
Separació entre arbres	1,60 m
Amplada d'arbre	2,00 m
Alçada d'arbre	4,25 m
Alçada de tronc nu	0,50 m

\* Meier, 2001

En la comparació entre els volums de capçada obtinguts a partir dels perfils reals i a partir dels perfils suavitzats o contornejats, es va ajustar un model de regressió lineal simple als diferents parells de variables per tal de determinar l'existència de relació determinista entre les variables i definir, si s'esqueia, les rectes de regressió pel mètode dels mínims quadrats a partir dels valors de la mostra analitzada (Equació 6.1). La qualitat de l'ajust de la recta de regressió es valorà a partir dels coeficients de correlació ( $r$ ) i de determinació ( $R^2$ ) després de comprovar que el diagrama de dispersió dels residus no presentava cap tipus d'estructura.

### 6.2.8.3 Assaig comparatiu amb sensors ultrasònics i lidar

A l'assaig descrit a l'apartat anterior es va aprofitar per a adquirir el senyal dels sensors d'ultrasons que, tal com es veu a la Figura 6.35, es van mantenir en el perfil vertical d'alumini del polvoritzador. El fet d'enregistrar simultàniament tots els sensors va permetre comparar els resultats obtinguts sobre la mateixa capçada garantint un perfecte solapament de les mesures.

Tal com s'ha explicat a l'apartat 6.2.2 Sensors per a la caracterització de la capçada, els sensors lidar tenen un principi de funcionament molt diferent al dels sensors d'ultrasons. Encara que tots dos estimin la distància a partir del temps de trànsit d'una ona, el fet que el sensor lidar realitzi un escombratge de 180° del pla vertical incrementa notablement la resolució vertical de mostratge i, per tant, un sol sensor lidar genera molta més informació que tres sensors d'ultrasons treballant simultàniament. Sobre el paper, és d'esperar que les determinacions siguin més acurades com més alta sigui la resolució vertical de mostratge, és a dir, com més mostres es prenguin per unitat d'alçada. Per a confirmar aquesta hipòtesi es va realitzar aquest assaig en el que es van comparar els volums de capçada obtinguts amb els sensors d'ultrasons i els volums obtinguts amb el sensor lidar a partir de les semiseccions reals i a partir de les semiseccions suavitzades.

El tractament estadístic va consistir en representar les estimacions del volum de capçada per a cadascuna de les lectures realitzades amb diagrames de caixa i de dispersió per tal de poder ser comparades visualment. A més a més, es van determinar diversos estadístics descriptius i es va realitzar una comparació de les mitjanes amb una prova d'anàlisi de la variància. Igual que en assajos anteriors, la quantitat de mostres generades era exactament igual en ambdós sistemes i, per tant, es van obviar les comprovacions de normalitat i d'homoscedasticitat. En cas de rebutjar la hipòtesi nul·la es va aplicar la prova de separació de mitjanes de Tuckey-Kramer per a ordenar-les i agrupar-les segons el seu valor. Es va escollir aquesta prova per ser àmpliament utilitzada en la bibliografia i per no ser una prova ni massa estricta ni massa conservadora a l'hora de realitzar separacions. Finalment, es va provar d'ajustar un model de regressió lineal simple per als diferents parells de variables per tal de determinar l'existència d'una relació determinista entre les variables i definir, si s'esqueia, les rectes de regressió pel mètode dels mínims quadrats a partir dels valors de la mostra analitzada (Equació 6.1). La qualitat de l'ajust de la recta de regressió es valorà a partir dels coeficients de correlació ( $r$ ) i de determinació ( $R^2$ ) després de comprovar que el diagrama de dispersió dels residus no presentava cap tipus d'estructura.

## 6.3 Resultats i discussió

En aquest apartat es relacionen tots els resultats de les diferents determinacions realitzades tant amb els sensors d'ultrasons com amb el sensor lidar per tal de validar-ne el seu funcionament de cara a la caracterització de la capçada en temps real. Els primers assajos, cronològicament parlant, correspongueren a la caracterització dels sensors d'ultrasons. Més endavant es va validar el funcionament del sensor lidar i es van comparar els resultats obtinguts amb un tipus de sensor i amb l'altre.

### 6.3.1 Assajos de calibratge dels sensors d'ultrasons en laboratori

#### 6.3.1.1 Anàlisi global

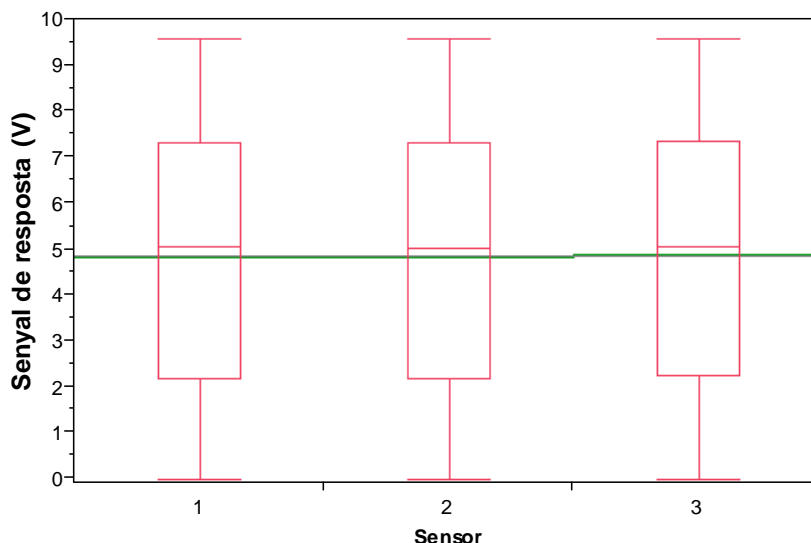
En una primera fase es van analitzar totes les dades de manera conjunta. Les dades de les que es disposava eren 114.000 lectures dels sensors adquirides pel sistema d'adquisició corresponents a tres sensors, a 18 distàncies assajades entre 45 cm i 300 cm (un estacionament cada 15 cm), ambdues incloses, a raó de 2.000 dades per distància i sensor. A la Figura 6.36 es pot observar que els diagrames de caixa són molt similars, presentant una distribució de les dades semblant. Malgrat això, s'aprecia que la mitjana del Sensor 3 és lleugerament superior a les dels altres dos. Per tal de determinar si les diferències existents entre mitjanes són estadísticament significatives, és realitza una anàlisi de la variància els resultats de la qual es mostren a la Taula 6.6. Segons aquesta anàlisi, es va rebutjar la hipòtesi nul·la que mantenia la igualtat de les mitjanes. Seguidament es va aplicar una prova de Tukey-Kramer amb un nivell de significació de 0,05 per tal de saber com s'agrupaven les mitjanes de les mostres i la conclusió va ser que les mitjanes dels Sensors 1 i 2 representaven la mateixa població de mostres mentre que la mitjana del Sensor 3 era significativament diferent. Malgrat això, la diferència observada va ser de només 0,079 V, valor que més endavant es transformarà en distància a partir dels resultats dels assajos de calibratge per tal d'avaluar a quina distància física equivaldria (veure apartat 6.3.1.4).

**Taula 6.6.-** Separació de mitjanes i intervals de confiança del conjunt de dades de l'assai de calibratge en laboratori de tres sensors d'ultrasons entre 45 cm i 300 cm.

Sensor	Observacions	Mitjana* (V)	Error estàndard (V)	Interval de confiança 95% (V)	
1	36.000	4,815 b	0,01519	4,785	4,845
2	36.000	4,817 b	0,01519	4,787	4,847
3	36.000	4,896 a	0,01519	4,866	4,926

\* Letres diferents en mitjanes impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.

A mode d'aclariment, indicar que els diagrames de caixa mostrats són diagrames de caixa del tipus que rebutja les dades extremes superiors i inferiors. En aquests diagrames de caixa, els extrems superior i inferior es determinen sumant al quartil superior el 150% de l'amplitud interquartílica o restant al quartil inferior el 150% de l'amplitud interquartílica, respectivament. Aquest tipus de diagrama de caixa, per tant, no representa estrictament els valors màxim i mínim de la mostra sinó que els substitueix pels determinats a partir de les expressions anteriors.



**Figura 6.36.-** Diagrames de caixa de les mostres de resposta dels sensors d'ultrasons de l'assaig de calibratge en laboratori de tres sensors d'ultrasons entre 45 cm i 300 cm. En aquesta i la resta dels diagrames de caixa, les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les línies horitzontals roges representen els diferents quartils de les mostres.

### 6.3.1.2 Estadística descriptiva

Una vegada realitzada l'anàlisi global es va procedir a analitzar les dades de cada sensor obtingudes en cada estacionament de forma més detallada per tal de detectar diferències entre sensors. A la Taula 6.7, la Taula 6.8, la Taula 6.9, la Taula 6.10, la Taula 6.11 i la Taula 6.12 es mostren els estadístics descriptius de les 2.000 mostres adquirides per cada sensor en cadascuna de les estacions assajades entre 45 cm i 300 cm. En la majoria de les estacions es detecten diferències significatives entre les tres mitjanes corresponents a cada sensor; malgrat això, els valors absoluts d'aquestes diferències tan sols oscil·len entre 0,15 V i 0,002 V (a excepció de la distància 300 cm, que assoleix una diferència màxima de 1,33 V). El fet que tant l'anàlisi de la variància com la prova de Tukey-Kramer separin les mitjanes amb diferències tan petites en les distàncies curtes es deu al fet que les lectures de cada sensor en cada estació presenten poca variabilitat. Observant els valors del coeficient de variació, la desviació estàndard i la variància de cada sensor i estació, es pot comprovar l'alta repetibilitat de les lectures; tot i això, a mesura que les distàncies assajades creixen, la variabilitat va augmentant fins a arribar al seu màxim a la distància de 300 cm. També es detecta un coeficient de variació exageradament major en el Sensor 3 en diverses estacions però no de manera sistemàtica, fet que es podria atribuir a alguna deficiència en el desenvolupament de l'assaig com ara una manca d'alineació entre el sensor i el perfil metàl·lic vertical que actuava com a blanc. Aquesta diferència en la variabilitat de les lectures del Sensor 3 podria ser la causa de les diferències detectades en l'anàlisi global i que s'han comentat a l'apartat anterior.

**Taula 6.7.-** Estadístics descriptius del conjunt de dades de l'assaig de calibratge en laboratori de tres sensors d'ultrasons per a les distàncies de 45 cm, 60 cm i 75 cm.

Estadístics descriptius	Distància = 45 cm			Distància = 60 cm			Distància = 75 cm		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Mitjana* (V)	9,562a	9,543b	9,539c	9,002a	8,972c	8,987b	8,491a	8,466c	8,480b
Desv. Est. (V)	0,004	0,004	0,004	0,005	0,006	0,004	0,006	0,005	0,008
Variància (V <sup>2</sup> )	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CV (%)	0,039	0,037	0,037	0,053	0,069	0,042	0,066	0,063	0,100

\* Lletres diferents en les mitjanes de la mateixa fila dins la mateixa distància impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.



**Taula 6.8.-** Estadístics descriptius del conjunt de dades de l'assaig de calibratge en laboratori de tres sensors d'ultrasons per a les distàncies de 90 cm, 105 cm i 120 cm.

Estadístics descriptius	Distància = 90 cm			Distància = 105 cm			Distància = 120 cm		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Mitjana* (V)	7,895a	7,857c	7,882b	7,324b	7,300c	7,332a	6,746a	6,711c	6,737b
Desv. Est. (V)	0,018	0,110	0,134	0,007	0,161	0,012	0,005	0,011	0,009
Variància (V <sup>2</sup> )	0,000	0,012	0,018	0,000	0,026	0,000	0,000	0,000	0,000
CV (%)	0,231	1,401	1,705	0,092	2,199	0,164	0,068	0,159	0,140

\* Lletres diferents en les mitjanes de la mateixa fila dins la mateixa distància impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.

**Taula 6.9.-** Estadístics descriptius del conjunt de dades de l'assaig de calibratge en laboratori de tres sensors d'ultrasons per a les distàncies de 135 cm, 150 cm i 165 cm.

Estadístics descriptius	Distància = 135 cm			Distància = 150 cm			Distància = 165 cm		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Mitjana* (V)	6,158a	6,124c	6,150b	5,593a	5,569c	5,587b	5,048b	5,018c	5,065a
Desv. Est. (V)	0,004	0,004	0,006	0,004	0,006	0,008	0,004	0,009	0,138
Variància (V <sup>2</sup> )	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,019
CV (%)	0,067	0,060	0,095	0,078	0,110	0,135	0,081	0,174	2,729

\* Lletres diferents en les mitjanes de la mateixa fila dins la mateixa distància impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.

**Taula 6.10.-** Estadístics descriptius del conjunt de dades de l'assaig de calibratge en laboratori de tres sensors d'ultrasons per a les distàncies de 180 cm, 195 cm i 210 cm.

Estadístics descriptius	Distància = 180 cm			Distància = 195 cm			Distància = 210 cm		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Mitjana* (V)	4,466b	4,434c	4,485a	3,903b	3,878c	3,922a	3,320b	3,316c	3,346a
Desv. Est. (V)	0,004	0,004	0,197	0,010	0,010	0,018	0,007	0,009	0,014
Variància (V <sup>2</sup> )	0,000	0,000	0,039	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CV (%)	0,089	0,092	4,401	0,253	0,255	0,451	0,213	0,263	0,415

\* Lletres diferents en les mitjanes de la mateixa fila dins la mateixa distància impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.

**Taula 6.11.-** Estadístics descriptius del conjunt de dades de l'assaig de calibratge en laboratori de tres sensors d'ultrasons per a les distàncies de 225 cm, 240 cm i 255 cm.

Estadístics descriptius	Distància = 225 cm			Distància = 240 cm			Distància = 255 cm		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Mitjana* (V)	2,762b	2,743c	2,779a	2,216b	2,188c	2,252a	1,770a	1,620b	1,762a
Desv. Est. (V)	0,031	0,012	0,014	0,383	0,009	0,464	0,914	0,337	0,800
Variància (V <sup>2</sup> )	0,001	0,000	0,000	0,147	0,000	0,215	0,836	0,114	0,639
CV (%)	1,112	0,435	0,519	17,276	0,407	20,593	51,670	20,809	45,391

\* Lletres diferents en les mitjanes de la mateixa fila dins la mateixa distància impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.

**Taula 6.12.-** Estadístics descriptius del conjunt de dades de l'assaig de calibratge en laboratori de tres sensors d'ultrasons per a les distàncies de 270 cm, 285 cm i 300 cm.

Estadístics descriptius	Distància = 270 cm			Distància = 285 cm			Distància = 300 cm		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Mitjana* (V)	1,065b	1,067b	1,117a	0,395b	0,390b	0,430a	0,952c	1,508b	2,277a
Desv. Est. (V)	0,006	0,011	0,349	0,003	0,004	0,163	2,006	2,362	2,909
Variància (V <sup>2</sup> )	0,000	0,000	0,122	0,000	0,000	0,027	4,023	5,580	8,463
CV (%)	0,527	0,991	31,297	0,654	1,043	37,889	210,786	156,607	127,781

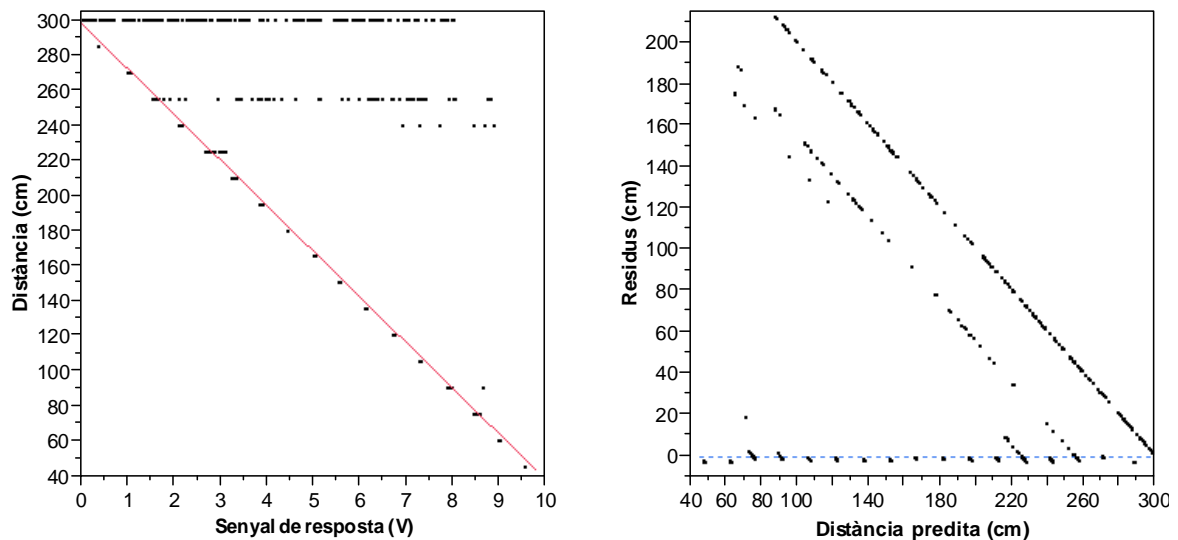
\* Lletres diferents en les mitjanes de la mateixa fila dins la mateixa distància impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.

### 6.3.1.3 Calibratge de 45 cm a 300 cm

En aquest apartat es presenten els resultats de l'ajust dels models de regressió lineal simple per a cadascun dels sensors i cadascuna de les distàncies mesurades. Per a cada cas es representa el diagrama de dispersió i es mostra l'ajust del model de regressió i la bondat del seu ajust per a calibrar els diferents sensors i estimar la distància mesurada a partir de la resposta adquirida, expressada en voltatge.

#### 6.3.1.3.1 Sensor 1

A la Figura 6.37 es mostra el diagrama de dispersió per al Sensor 1 de les variables senyal adquirit, expressat en voltatge, i distància mesurada, expressada en centímetres. La variable distància mesurada s'ha situat en l'eix d'ordenades per tal que, en el moment d'ajustar el model estadístic, es consideri com a variable resposta o variable depenent. A la mateixa figura, a la part dreta, es pot observar el diagrama de residus resultant de l'ajust del model de regressió lineal simple. En l'Equació 6.9 es mostra el model ajustat en forma de funció de calibratge per al Sensor 1. A la Taula 6.13 es mostra un resum del model de regressió lineal simple ajustat.



**Figura 6.37.-** Diagrama de dispersió dels voltatges generats pel Sensor 1 en laboratori (esquerra) i diagrama de residus de les distàncies predites a partir dels voltatges generats (dreta) per a distàncies entre 45 cm i 300 cm.

A la Figura 6.37 es veu clarament que a les distàncies 255 cm i 300 cm la dispersió creix de forma desmesurada, cosa que ja quedava reflectida a les taules de l'apartat anterior. Aquest fet distorsiona clarament el diagrama de residus però no afecta excessivament el pendent de la recta ajustada; cal tenir en compte, però, que les mostres generades per a cada distància són 2.000 i que a la gràfica es mostren com un sol punt en la majoria dels casos. A les distàncies llargues, el nombre de punts que marxen de la recta d'ajust poden semblar molts però el seu valor relatiu no supera el 4% (percentatge de mostres amb un valor major que la mitjana incrementada un 10%) en el pitjor dels casos (255 cm) amb la clara excepció de la mesura realitzada a 300 cm on el percentatge arriba al 37%. D'altra banda, el coeficient de correlació mostral,  $r$ , revela una associació lineal negativa forta entre les variables i el coeficient de determinació indica que el model ajustat explica una mica més del 96% de la variabilitat de la distància mesurada (Taula 6.13). El que sí que es pot veure afectat per la variabilitat a les llargues distàncies és l'arrel quadrada de l'error quadràtic mitjà que, en el cas del Sensor 1, és de 15,27 cm. A la Taula 6.13

també s'indica que els dos paràmetres estimats són significativament diferents de zero amb un probabilitat que es doni un valor més alt de l'estadístic  $t$  igual a zero.

**Taula 6.13.-** Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades generades pel Sensor 1 entre 45 i 300 cm.

Paràmetre	Valor	Terme	Estimació	Error est.	Estadístic $t$	Prob >   $t$
Coef. determinació ( $R^2$ )	0,962	Intersecció	298,726	0,156	1920,700	0,000
Coef. correlació ( $r$ )	-0,981	Pendent	-26,216	0,028	-948,400	0,000
AEQM* (cm)	15,26					
Observacions	36.000					

\* Arrel quadrada de l'error quadràtic mitjà.

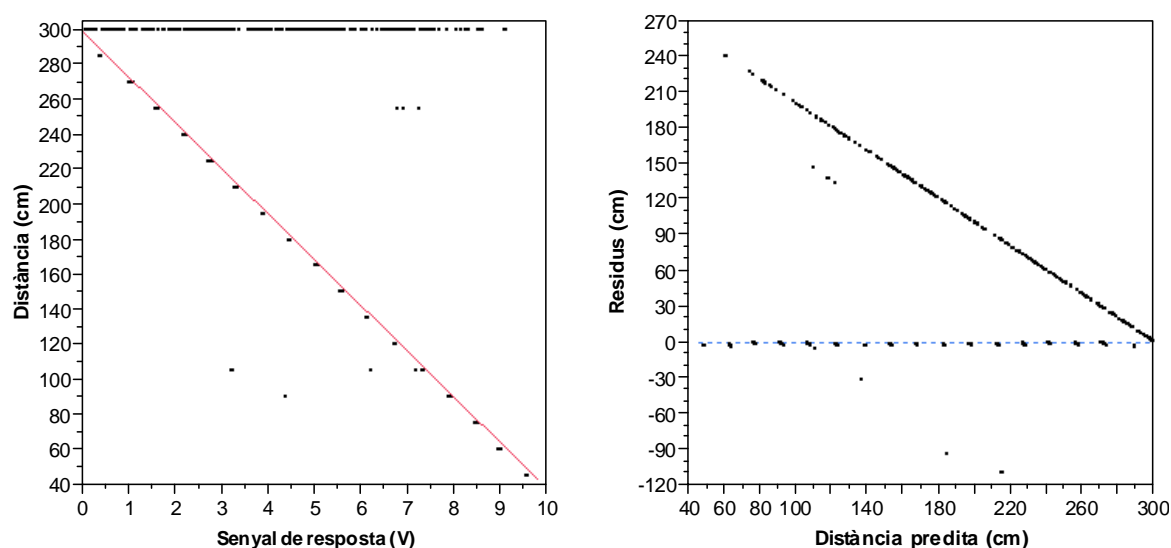
$$\text{Equació 6.9} \quad d_{S1} = 298,726 - 26,216 v_{S1}$$

On  $d_{S1}$  és la distància estimada pel Sensor 1, expressada en cm;  $v_{S1}$  és el voltatge emès pel Sensor 1, expressat en V.

### 6.3.1.3.2 Sensor 2

A la Figura 6.38 es mostra el diagrama de dispersió per al senyal del Sensor 2, a l'eix d'abscisses, i la distància assajada, a l'eix d'ordenades. En aquest cas, l'increment exagerat de la variabilitat en distàncies llargues no apareix fins als 300 cm. Com en el cas del Sensor 1, aquesta dispersió final tampoc sembla que interfereixi excessivament l'ajust de la recta de regressió. Malgrat això, el diagrama de residus apareix amb errors de gran magnitud i molt estructurats.

En l'Equació 6.10 s'observa que el punt d'intersecció amb l'eix d'ordenades és 299,22 cm, pràcticament coincident amb la darrera mesura assajada. A la Taula 6.14 s'observa que el coeficient de correlació també revela una associació negativa forta entre variables i el coeficient de determinació indica que el model ajustat explica gairebé un 94,8% de la variabilitat de la distància mesurada, una explicació una mica menor que en el cas del Sensor 1. En canvi, el pendent de les dues rectes d'ajust és pràcticament el mateix i els paràmetres estimats pel model d'ajust són, també, significativament diferents de zero.



**Figura 6.38.-** Diagrama de dispersió dels voltatges generats pel Sensor 2 en laboratori (esquerra) i diagrama de residus de les distàncies predites a partir dels voltatges generats (dreta) per a distàncies entre 45 cm i 300 cm.

Taula 6.14.- Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades generades pel Sensor 2 entre 45 i 300 cm.

Paràmetre	Valor	Terme	Estimació	Error est.	Estadístic t	Prob >  t
Coef. determinació ( $R^2$ )	0,948	Intersecció	299,222	0,183	1636,000	0,000
Coef. correlació (r)	-0,974	Pendent	-26,308	0,036	-807,200	0,000
AEQM* (cm)	17,81					
Observacions	36.000					

\* Arrel quadrada de l'error quadràtic mitjà.

Equació 6.10 
$$d_{S2} = 299,222 - 26,308 v_{S2}$$

On  $d_{S2}$  és la distància estimada pel Sensor 2, expressada en cm;  $v_{S2}$  és el voltatge emès pel Sensor 2, expressat en V.

### 6.3.1.3.3 Sensor 3

El Sensor 3 també presenta una alta variabilitat a les distàncies 255 cm i 300 cm, fet que provoca, al seu temps, un diagrama de residus amb errors importants i estructurats (Figura 6.39). La recta d'ajust, caracteritzada mitjançant l'Equació 6.11, torna a ser similar a les ajustades per als Sensors 1 i 2; mentre el punt d'intersecció és uns mil·límetres més proper a la darrera distància assajada, el pendent és una mica inferior als altres dos casos.

En referència a la bondat de l'ajust, aquest sensor presenta els coeficients de correlació i de determinació més desfavorables, explicant el 90,6% de la variabilitat de les mesures, i el valor més elevat de l'arrel de l'error quadràtic mitjà, amb un valor de prop de 23,85 cm (Taula 6.15).

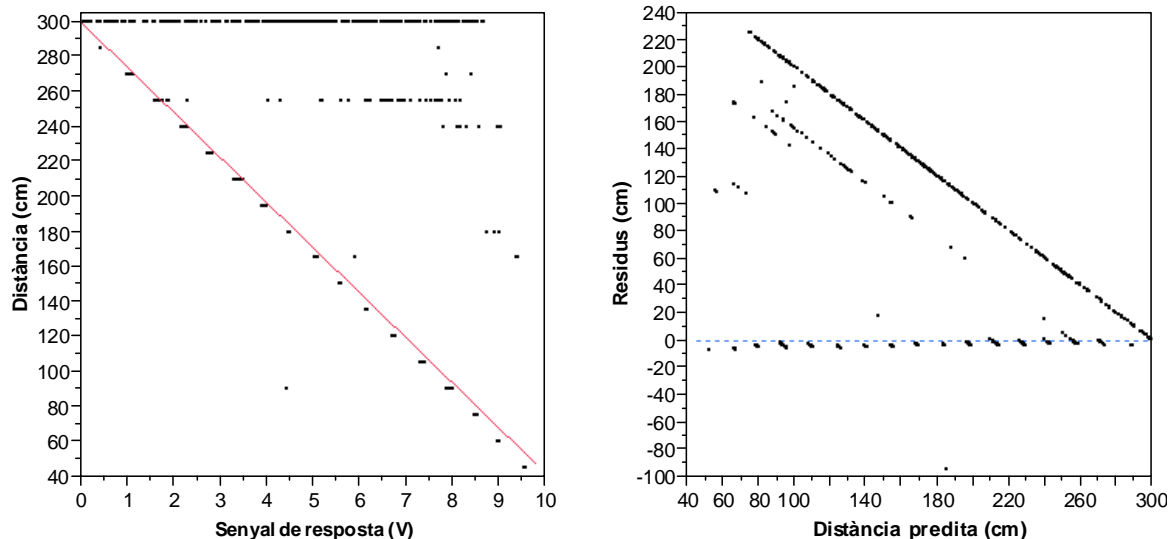


Figura 6.39.- Diagrama de dispersió dels voltatges generats pel Sensor 3 en laboratori (esquerra) i diagrama de residus de les distàncies predites a partir dels voltatges generats (dreta) per a distàncies entre 45 cm i 300 cm.

Taula 6.15.- Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades generades pel Sensor 3 entre 45 i 300 cm.

Paràmetre	Valor	Terme	Estimació	Error est.	Estadístic t	Prob >  t
Coef. determinació ( $R^2$ )	0,906	Intersecció	299,450	0,249	1200,400	0,000
Coef. correlació (r)	-0,952	Pendent	-25,929	0,044	-589,200	0,000
AEQM* (cm)	23,86					
Observacions	36.000					

\* Arrel quadrada de l'error quadràtic mitjà.

**Equació 6.11** 
$$d_{S3} = 299,450 - 25,929 v_{S3}$$

On  $d_{S3}$  és la distància estimada pel Sensor 3, expressada en cm;  $v_{S3}$  és el voltatge emès pel Sensor 3, expressat en V.

### 6.3.1.4 Calibratge de 45 cm a 240 cm

Donat que l'augment de la variabilitat a les distàncies llargues podria distorsionar en gran mesura l'ajust del model de regressió lineal, es creu oportú realitzar una segona anàlisi de les distàncies i les respostes descartant les mesures majors de 240 cm. S'ha establert aquest llindar tenint en compte que les amplades de carrer de les plantacions fruïteres de la rodalia de Lleida rarament són majors de 5 m i, per tant, els sensors rarament hauran d'estimar distàncies majors que la meitat de l'amplada de carrer menys la seva excentricitat respecte d'aquest punt (normalment major que 10 cm).

Un altre argument en favor d'una nova anàlisi és que aquest increment de variabilitat no es va donar en totes les distàncies elevades sinó que només en 255 cm i en 300 cm (a excepció del Sensor 2, en que només es donà en 300 cm) i mai a les distàncies de 270 cm i 285 cm. Aquest fet podria apuntar a algun tipus d'error produït durant l'execució de l'assaig, probablement una manca d'alineació entre els sensors i el blanc mesurat que provocà que la majoria de les mesures fossin correctes però un cert percentatge fos erroni. En referència al Sensor 1, els valors exposats a la Taula 6.16 reflecteixen que, en descartar les dades obtingudes en distàncies grans, l'ajust del model de regressió simple és sensiblement més alt. El coeficient de correlació indica que l'associació lineal entre variables és pràcticament exacta i el coeficient de determinació mostra que el model explica un 99,8% de la variabilitat observada a la distància obtinguda. L'arrel quadrada de l'error quadràtic mitjà passa a valer 2,75 cm. La nova expressió de la recta d'ajust del model és la descrita en l'Equació 6.12.

**Taula 6.16.-** Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades generades pel Sensor 1 entre 45 i 240 cm.

Paràmetre	Valor	Terme	Estimació	Error est.	Estadístic t	Prob >  t
Coef. determinació ( $R^2$ )	0,998	Intersecció	297,699	0,045	6570,200	0,000
Coef. correlació (r)	-0,999	Pendent	-26,342	0,007	-3676,000	0,000
AEQM* (cm)	2,75					
Observacions	28.000					

\* Arrel quadrada de l'error quadràtic mitjà.

**Equació 6.12** 
$$d_{S1} = 297,699 - 26,342 v_{S1}$$

On  $d_{S1}$  és la distància estimada pel Sensor 1, expressada en cm;  $v_{S1}$  és el voltatge emès pel Sensor 1, expressat en V.

En la resta de sensors, la tendència és la mateixa essent els resultats del Sensor 2 (Taula 6.17) els que mostren una correlació lineal més forta entre les variables senyal del sensor i distància estimada. El Sensor 3, en canvi, és el que presenta una correlació menor i una arrel de l'error quadràtic mitjà major respecte als altres sensors (Taula 6.18) però de cap manera es podria dir que els seus resultats no siguin satisfactoris. Les rectes ajustades per al Sensor 2 i per al Sensor 3 es descriuen en l'Equació 6.13 i en l'Equació 6.14 respectivament.

Taula 6.17.- Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades generades pel Sensor 2 entre 45 i 240 cm.

Paràmetre	Valor	Terme	Estimació	Error est.	Estadístic t	Prob >  t
Coef. determinació ( $R^2$ )	0,999	Intersecció	297,403	0,0239	12428,000	0,000
Coef. correlació (r)	-0,999	Pendent	-26,409	0,0038	-6948,000	0,000
AEQM* (cm)	1,46					
Observacions	28.000					

\* Arrel quadrada de l'error quadràtic mitjà.

$$\text{Equació 6.13} \quad d_{S2} = 297,403 - 26,409 v_{S2}$$

On  $d_{S2}$  és la distància estimada pel Sensor 2, expressada en cm;  $v_{S2}$  és el voltatge emès pel Sensor 2, expressat en V.

Taula 6.18.- Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades generades pel Sensor 3 entre 45 i 240 cm.

Paràmetre	Valor	Terme	Estimació	Error est.	Estadístic t	Prob >  t
Coef. determinació ( $R^2$ )	0,996	Intersecció	298,581	0,0642	4652,600	0,000
Coef. correlació (r)	-0,998	Pendent	-26,472	0,0102	-2608,000	0,000
AEQM* (cm)	3,87					
Observacions	28.000					

\* Arrel quadrada de l'error quadràtic mitjà.

$$\text{Equació 6.14} \quad d_{S3} = 298,581 - 26,472 v_{S3}$$

On  $d_{S3}$  és la distància estimada pel Sensor 3, expressada en cm;  $v_{S3}$  és el voltatge emès pel Sensor 3, expressat en V.

Una vegada determinades les rectes de calibratge dels tres sensors, es pot comprovar que la màxima diferència entre sensors és de 1,05 cm en distàncies properes a 240 cm. A efectes pràctics, degut a que els errors en camp seran, previsiblement, majors i de cara a simplificar els programes de monitoratge, es considera que la resposta dels tres sensors és equivalent i, en endavant, es treballarà amb una mateixa funció de calibratge.

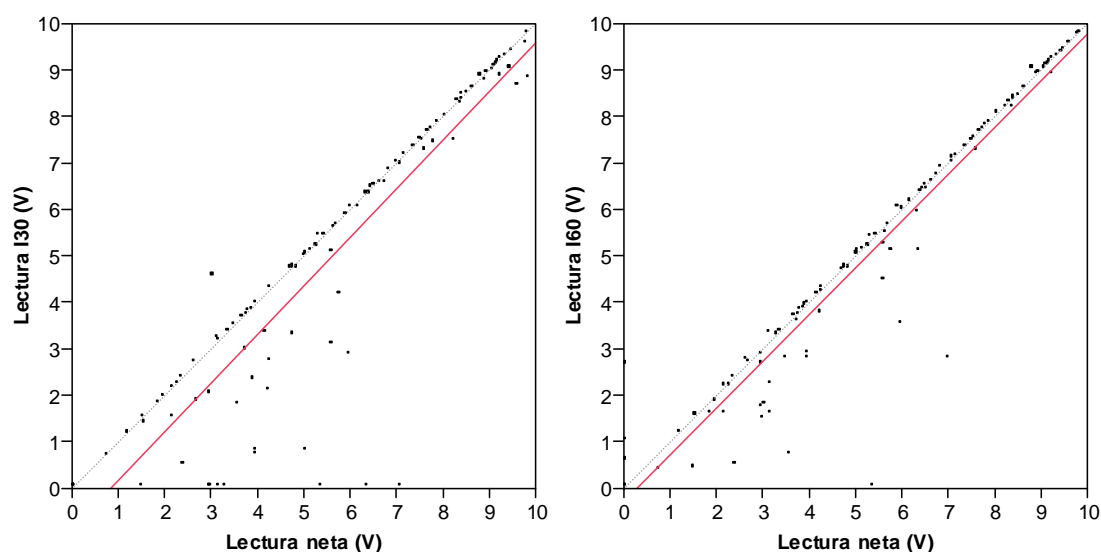
Abans d'escollir una equació de transformació definitiva, però, es creu oportú realitzar un segon assaig de calibratge en camp per tal de treballar en condicions reals. La motivació principal d'aquest assaig és la voluntat d'avaluar la capacitat d'una capçada d'arbres fruiters per a generar un eco suficient per a la correcta estimació de la distància entre el sensor i la capçada. A diferència del blanc artificial utilitzat al laboratori, una capçada és una superfície irregular que genera una reflexió difosa de les ones de so. Aquest fet pot tenir dos efectes perjudicials en l'estimació de la distància. El primer és que les ones reflectides siguin tan disperses que no aconseguixin retornar a la membrana del sensor amb una intensitat suficient. El segon és la possible aparició d'interferències, fruit del rebot dispers d'ones d'un segon sensor que acabin arribant a la membrana d'un altre.

### 6.3.2 Assajos de calibratge dels sensors d'ultrasons en camp

Tal com s'ha explicat a l'apartat 6.2.5, el calibratge dels sensors d'ultrasons en camp va constar de dos assajos. El primer consistí en quantificar l'efecte de les possibles interferències d'una parella de sensors en un sensor central i el segon consistí en determinar l'equació de calibratge a introduir al sistema d'adquisició de dades per a estimar les distàncies entre els sensors i la capçada.

### 6.3.2.1 Assaig d'interferències

El resultat ideal de l'assaig d'interferències seria que la recta ajustada del diagrama de dispersió entre les lectures netes i les lectures simultànies amb d'altres sensors fos una recta amb intersecció zero i pendent u. Tal com es veu a la Figura 6.40, les mesures realitzades simultàniament amb la parella de sensors a  $\pm 30$  cm es desvien una mica més de la recta ideal que no pas les mesures realitzades simultàniament amb la parella de sensors a  $\pm 60$  cm. Tot i que la recta ajustada en el segon cas no és la ideal, els coeficients de correlació i determinació indiquen una forta relació lineal entre els senyals del sensor amb interferències i sense (Taula 6.19) i un millor ajust que en el primer cas (Taula 6.20). Donat que la majoria dels punts es troba sobre la recta ideal i no és sinó un petit percentatge el que se'n desvia, s'interpreta que les ones que retornen al sensor són suficients com per a estimar les distàncies correctament. Els punts que es desvien de la resposta ideal han de ser, per tant, conseqüència de les interferències causades per les parelles de sensors adjacents a  $\pm 30$  cm i a  $\pm 60$  cm. Com que la tendència és a millorar la resposta com més allunyats estan els sensors adjacents, cosa que concorda amb les especificacions del fabricant i amb el principi de funcionament d'aquest tipus de sensors, es considera suficientment satisfactori el comportament dels sensors quan es separen entre ells 60 cm; cal tenir en compte, a més, que probablement els sensors es munten amb més espaiament per tal de permetre la caracterització de tota l'alçada de la capçada.



**Figura 6.40.-** Diagrames de dispersió de lectures d'un sensor d'ultrasons sense interferències i lectures del mateix sensors preses simultàniament amb dos sensors més a  $\pm 30$  cm (esquerra) i amb dos sensors més a  $\pm 60$  cm (dreta). La línia gris representa la bisectriu del quadrant.

**Taula 6.19.-** Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades de lectura neta i lectura amb possibles interferències causades per la parella de sensors situada a  $\pm 30$  cm del sensor principal.

Paràmetre	Valor	Terme	Estimació	Error est.	Estadístic t	Prob >  t
Coef. determinació ( $R^2$ )	0,814	Intersecció	-0,867	0,285	-3,04	0,003
Coef. correlació (r)	0,902	Pendent	1,042	0,047	22,01	0,000
AEQM* (cm)	1,36					
Observacions	113					

\* Arrel quadrada de l'error quadràtic mitjà.

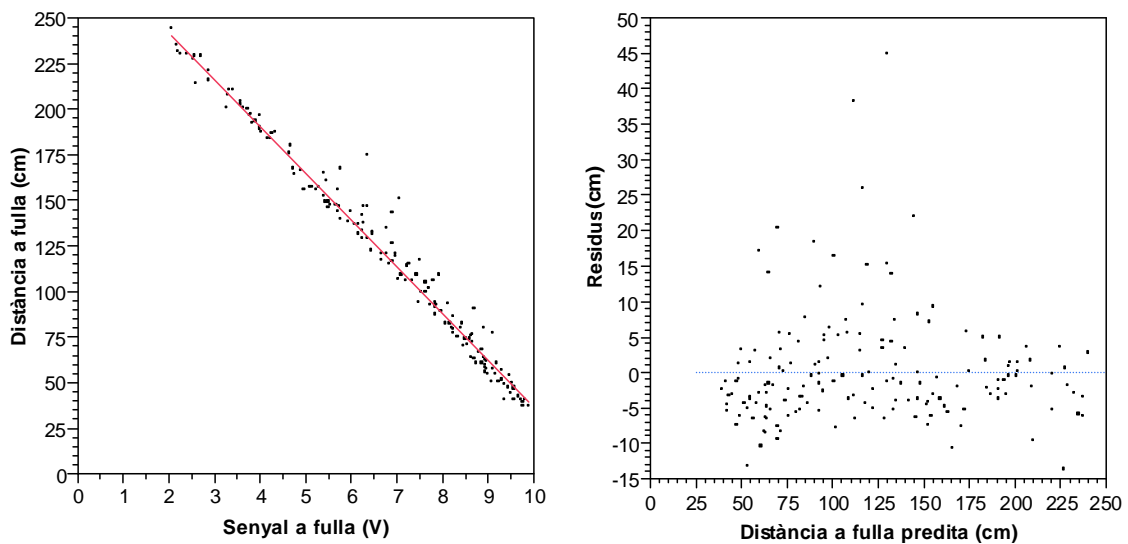
**Taula 6.20.-** Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades de lectura neta i lectura amb possibles interferències causades per la parella de sensors situada a  $\pm 60$  cm del sensor principal.

Paràmetre	Valor	Terme	Estimació	Error est.	Estadístic t	Prob >  t
Coef. determinació ( $R^2$ )	0,910	Intersecció	-0,288	0,181	-1,590	0,114
Coef. correlació (r)	0,954	Pendent	1,005	0,030	33,470	0,000
AEQM* (cm)	0,86					
Observacions	113					

\* Arrel quadrada de l'error quadràtic mitjà.

### 6.3.2.2 Assaig de calibratge

El diagrama de dispersió del senyal del sensor, mesurant directament sobre la fulla i la distància mesurada manualment amb el flexòmetre, posa de manifest una forta correlació negativa entre les dues variables (Figura 6.41). Com que el diagrama de residus no presenta una estructura clara i els coeficients de correlació i determinació mostren un bon ajust del model (Taula 6.21), el calibratge que mostra l'Equació 6.15 es dona per bo.



**Figura 6.41.-** Diagrama de dispersió dels voltatges generats pel sensor d'ultrasons a diferents distàncies del fullatge (esquerra) i diagrama de residus de les distàncies predites a partir dels voltatges generats (dreta) durant l'assaig de calibratge en camp.

**Taula 6.21.-** Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades de senyal del sensor i distància mesurada a la capçada a l'assaig de calibratge del sensor d'ultrasons en camp.

Paràmetre	Valor	Terme	Estimació	Error est.	Estadístic t	Prob >  t
Coef. determinació ( $R^2$ )	0,979	Intersecció	293,845	2,103	139,760	0,000
Coef. correlació (r)	-0,989	Pendent	-25,711	0,297	-86,580	0,000
AEQM* (cm)	8,10					
Observacions	161					

\* Arrel quadrada de l'error quadràtic mitjà.

**Equació 6.15** 
$$d = 293,845 - 25,711 v_S$$

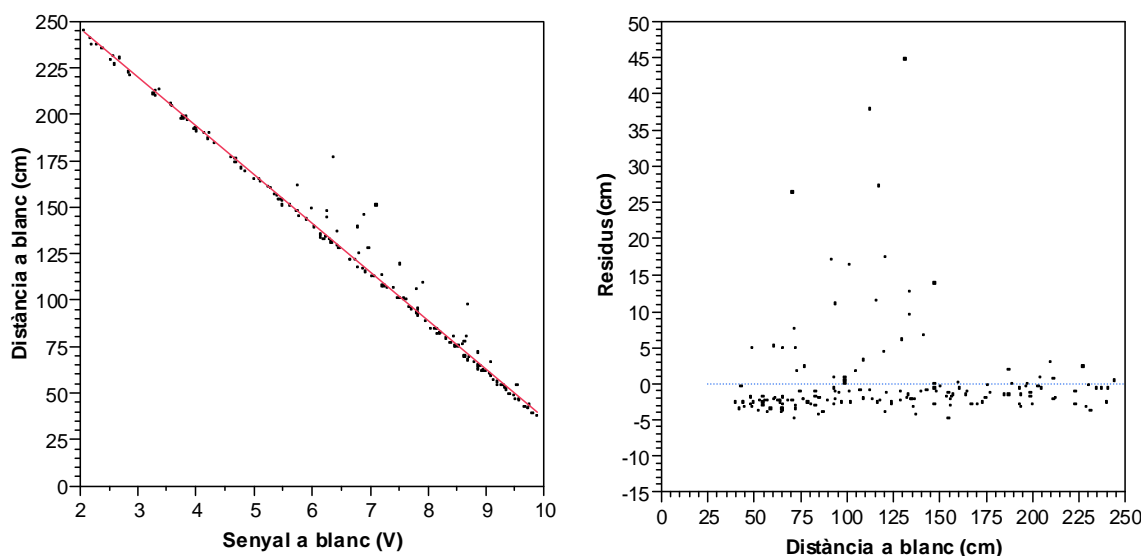
On  $d$  és la distància estimada per un sensor d'ultrasons, expressada en cm;  $v_S$  és el voltatge emès pel sensor, expressat en V.

A mode de comprovació, a la Figura 6.42 es representen els diagrames de dispersió i de residus per al model de regressió lineal que s'ajusta entre les variables senyal del sensor i distància mesurada manualment al blanc artificial. El diagrama de dispersió mostra una certa variabilitat a la



zona central de la resposta del sensor; tanmateix, a la Taula 6.22 s'observa que l'ajust és bo i la recta obtinguda (Equació 6.16) és molt similar a les aconseguïdes en laboratori.

Una segona validació consisteix en comparar les distàncies mesurades manualment al blanc artificial i a la capçada per tal de detectar diferències entre les dues superfícies. El resultat és una relació lineal positiva forta entre les dues variables (Taula 6.23) que avala la hipòtesi que defensa un bon comportament dels sensors per a caracteritzar la capçada de les plantacions fruiteres.



**Figura 6.42.-** Diagrama de dispersió dels voltatges generats pel sensor d'ultrasons a diferents distàncies del blanc artificial (esquerra) i diagrama de residus de les distàncies predites a partir dels voltatges generats (dreta) durant l'assaig de calibratge en camp.

**Taula 6.22.-** Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades de senyal del sensor i distància mesurada al blanc artificial a l'assaig de calibratge del sensor d'ultrasons en camp.

Paràmetre	Valor	Terme	Estimació	Error est.	Estadístic t	Prob >  t
Coef. determinació ( $R^2$ )	0,985	Intersecció	297,864	1,779	167,430	0,000
Coef. correlació (r)	-0,992	Pendent	-26,083	0,251	-103,800	0,000
AEQM* (cm)	6,85					
Observacions	161					

\* Arrel quadrada de l'error quadràtic mitjà.

**Equació 6.16**

$$d = 297,864 - 26,083 v_S$$

On  $d$  és la distància estimada per un sensor d'ultrasons al blanc artificial, expressada en cm;  $v_S$  és el voltatge emès pel sensor, expressat en V.

**Taula 6.23.-** Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades de distància a la capçada i distància al blanc artificial a l'assaig de calibratge del sensor d'ultrasons en camp.

Paràmetre	Valor	Terme	Estimació	Error est.	Estadístic t	Prob >  t
Coef. determinació ( $R^2$ )	0,994	Intersecció	0,017	0,8127	0,020	0,984
Coef. correlació (r)	0,997	Pendent	0,987	0,0067	163,330	0,000
AEQM* (cm)	4,33					
Observacions	161					

\* Arrel quadrada de l'error quadràtic mitjà.

Finalment, per tal d'establir la bondat de les estimacions de distància es realitza una comparació numèrica entre la funció de calibratge realitzada sobre la capçada (Equació 6.15) i la funció de calibratge sobre el blanc artificial (Equació 6.16). A la Taula 6.24 es pot observar la resposta de les funcions de calibratge a un senyal simulat d'un sensor d'ultrasons. La diferència màxima en valor absolut és d'aproximadament 4 cm a les distàncies estimades més llunyanes i que disminueix fins a 3 mm a les distàncies més properes. Aquestes distàncies absolutes equivalen a una desviació del 1,35% per a distàncies màximes i del 0,81% per a distàncies curtes. Per tot l'exposat fins al moment, es selecciona la funció ajustada pel model de regressió lineal simple a les dades de senyal del sensor i distància manual a la capçada segons l'Equació 6.15.

**Taula 6.24.-** Comparació numèrica entre les funcions de calibratge a la capçada i al blanc artificial per a un senyal simulat.

Senyal del sensor (V)	Calibratge a fulla (cm)	Calibratge a blanc artificial (cm)	Diferència (cm)	Diferència (%)
0,00	293,85	297,86	4,02	1,35
1,00	268,13	271,78	3,65	1,34
2,00	242,42	245,70	3,27	1,33
3,00	216,71	219,62	2,90	1,32
4,00	191,00	193,53	2,53	1,31
5,00	165,29	167,45	2,16	1,29
6,00	139,58	141,37	1,79	1,26
7,00	113,87	115,28	1,41	1,23
8,00	88,16	89,20	1,04	1,17
9,00	62,45	63,12	0,67	1,06
10,00	36,74	37,03	0,30	0,81

### 6.3.3 Determinació de la resolució horitzontal de mostratge

Per tal de caracteritzar la capçada de les plantacions de manera òptima, cal decidir quina és la resolució de mostratge més adient. A tal efecte es va escanejar un tram de 30 m de capçada a la màxima resolució possible, determinada pel sistema d'adquisició de dades i pel sensor d'ultrasons i, a continuació, es van crear set mostres més a partir de l'obtinguda en camp simulant diferents resolucions de mostratge. Les resolucions obtingudes foren 1,68 cm/mostra (la màxima), 3,31 cm/mostra, 4,97 cm/mostra, 6,63 cm/mostra, 10,09 cm/mostra, 13,56 cm/mostra, 19,88 cm/mostra i 29,87 cm/mostra (la mínima).

En les figures següents es realitza una primera anàlisi visual de les semiseccions transversals determinades al llarg de la fila per parelles. Concretament, a la Figura 6.43 es representen les semiseccions estimades amb la resolució de mostratge màxima i 4,97 cm/mostra; a la Figura 6.44 les resolucions mostrades són la màxima i 10,09 cm/mostra; a la Figura 6.45, la màxima i 19,88 cm/mostra; i, finalment, a la Figura 6.46 es mostren les resolucions màxima i mínima. La resolució màxima es representa amb una corba roja per sota de les altres resolucions i, per tant, com més s'aprecii la corba roja, més diferències hi ha entre les semiseccions estimades.

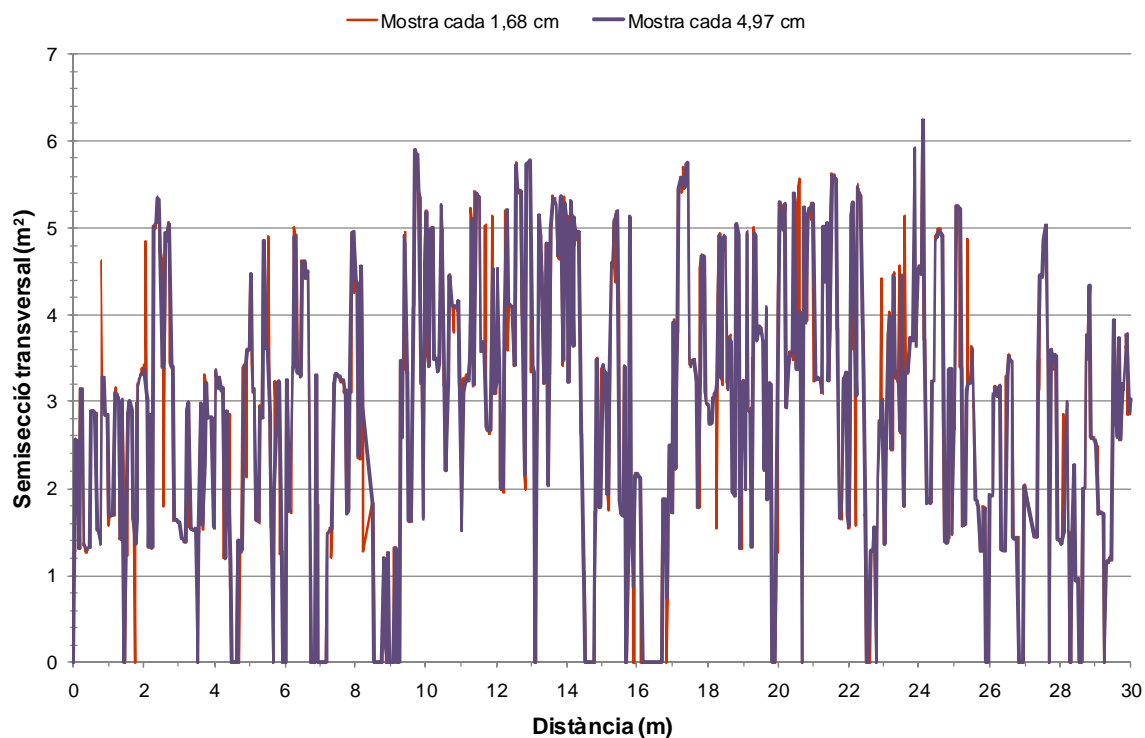


Figura 6.43.- Diagrama de dispersió de les semiseccions transversals al llarg d'una fila d'arbres amb diferents resolucions de mostreig (1,68 cm/mostra i 4,97 cm/mostra).

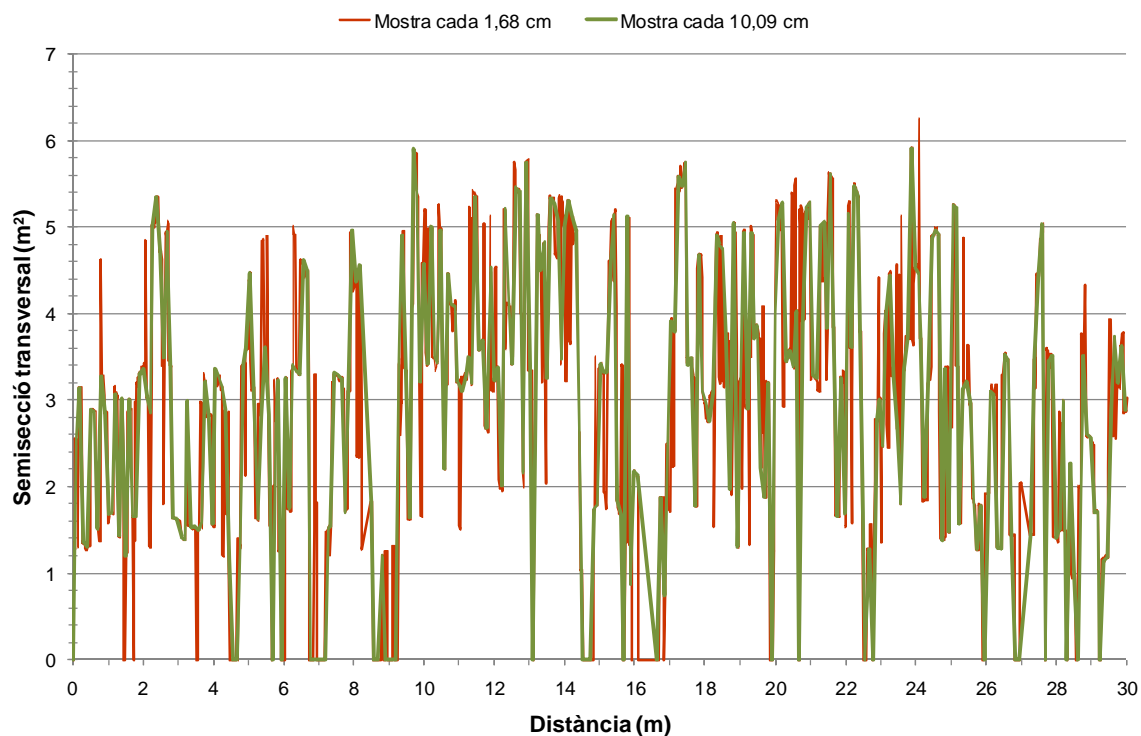


Figura 6.44.- Diagrama de dispersió de les semiseccions transversals al llarg d'una fila d'arbres amb diferents resolucions de mostreig (1,68 cm/mostra i 10,09 cm/mostra).

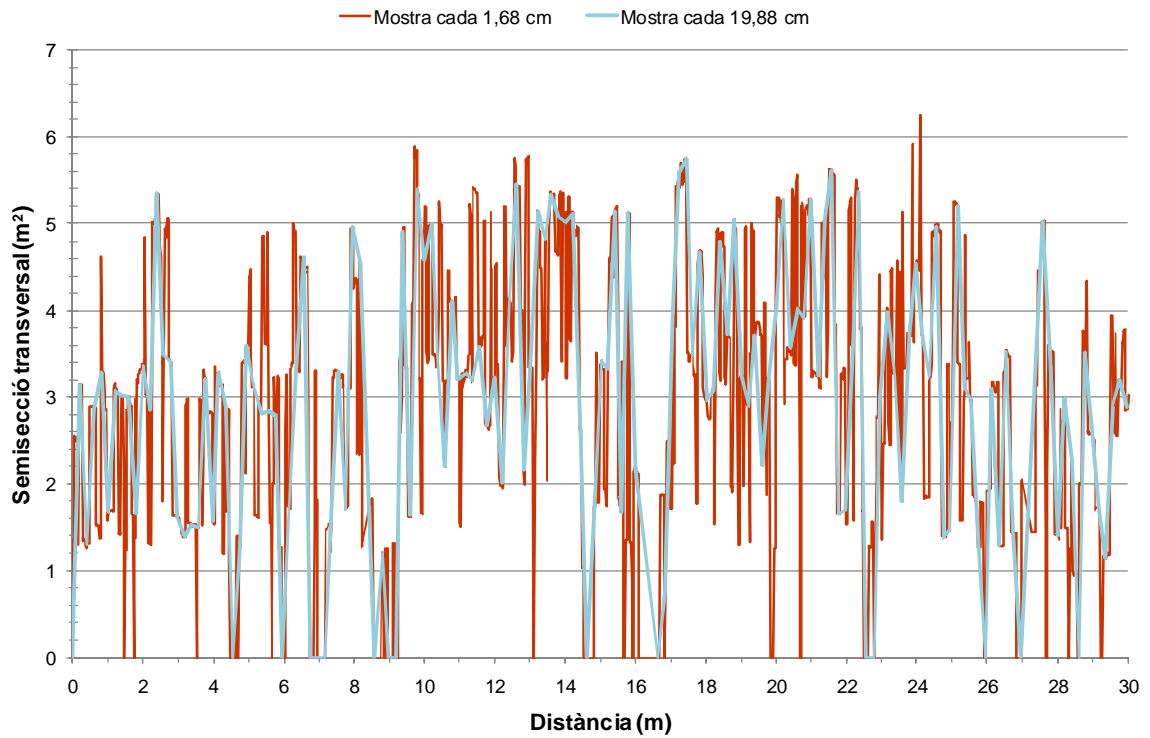


Figura 6.45.- Diagrama de dispersió de les semiseccions transversals al llarg d'una fila d'arbres amb diferents resolucions de mostratge (1,68 cm/mostra i 19,88 cm/mostra).

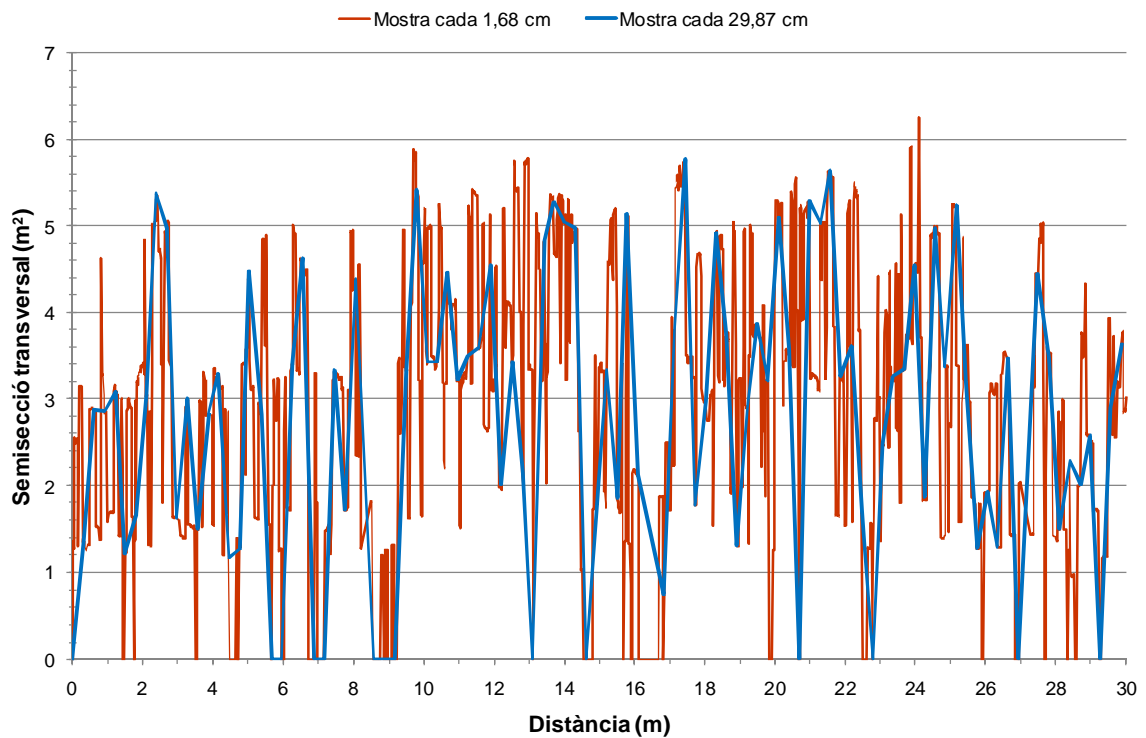
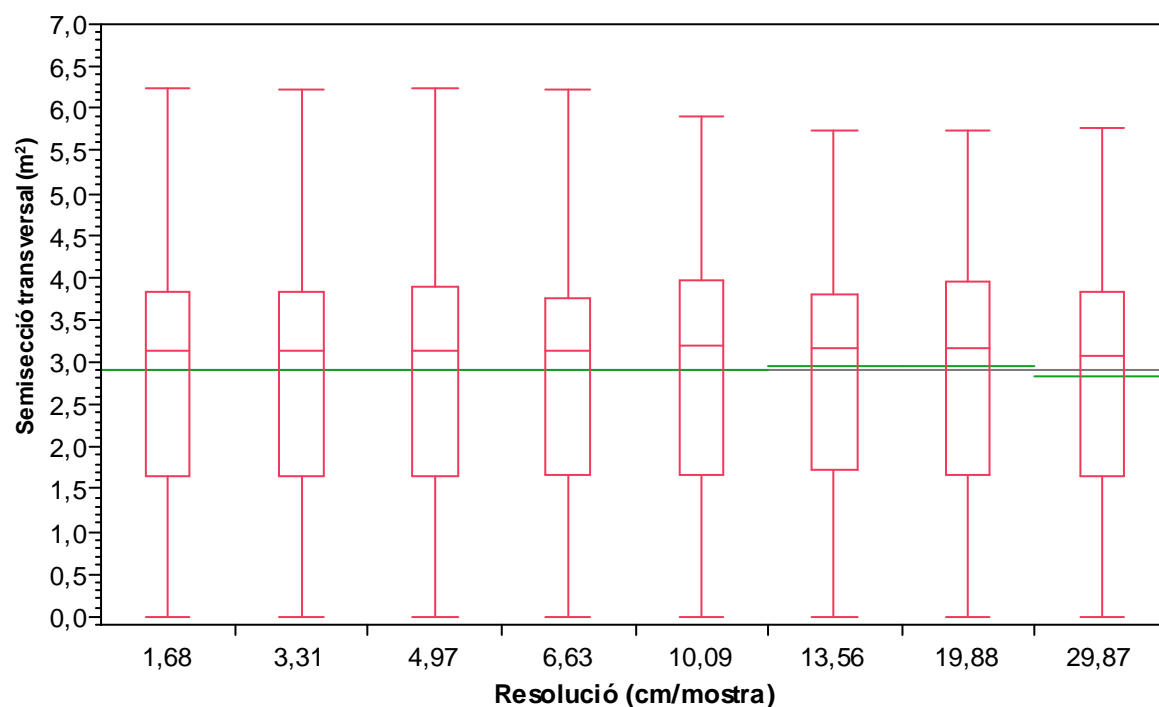


Figura 6.46.- Diagrama de dispersió de les semiseccions transversals al llarg d'una fila d'arbres amb diferents resolucions de mostratge (1,68 cm/mostra i 29,87 cm/mostra).

En les figures anteriors s'observa clarament que a mesura que augmenta la resolució de mostreig més s'aprecia la corba de resolució superior i, per tant, més diferència existeix en l'estimació de les semiseccions transversals estimades. Per tal de quantificar aquestes diferències entre les mostres obtingudes amb diferent resolució de mostratge es van representar els diagrames de caixa de les vuit mostres a la Figura 6.47 i es van calcular els estadístics descriptius relacionats a la Taula 6.25.



**Figura 6.47.-** Diagrames de caixa de les vuit mostres de semiseccions transversals preses a diferents resolucions de mostratge entre 1,68 cm/mostra i 29,87 cm/mostra. Les rectes verdes representen les mitjanes mostrals, la recta gris representa la mitjana global i les rectes horitzontals roges representen els diferents quartils de les mostres.

A la Figura 6.47 s'aprecia que les mostres preses amb resolucions de mostratge entre 1,68 cm/mostra i 6,63 cm/mostra són força similars. Els valors màxims i mínims són pràcticament iguals i les seves mitjanes coincideixen amb la mitjana general per a totes les mostres. La mostra obtinguda a 10,09 cm/mostra manté la igualtat de la mitjana i un certa similitud en els quartils encara que el valor màxim obtingut és lleugerament inferior. Les mostres obtingudes amb resolucions de mostratge majors presenten lleugeres diferències entre les seves mitjanes i la mitjana global.

**Taula 6.25.-** Estadístics descriptius i comparació numèrica entre les vuit mostres amb diferents resolucions de mostratge.

Resolució (cm/mostra)	Observacions	Semisecció mitjana (m <sup>2</sup> )	Diferència a res 1,68 (%)	Desviació est. (m <sup>2</sup> )	CV (%)
1,68	1755	2,903	-	1,541	53,06
3,31	877	2,895	-0,30	1,544	53,35
4,97	585	2,905	0,07	1,568	53,97
6,63	438	2,896	-0,24	1,537	53,05
10,09	292	2,916	0,44	1,599	54,83
13,56	219	2,955	1,77	1,531	51,81
19,88	146	2,946	1,48	1,569	53,24
29,87	97	2,829	-2,58	1,652	58,40

Tal com s'aprecia a la Taula 6.25, cap dels estadístics mostrats segueix una tendència clara en funció de la resolució de mostratge utilitzada; tanmateix, les diferències més grans respecte als valors obtinguts amb la resolució màxima es donen en les dades obtingudes amb la resolució mínima. Per a determinar si hi ha diferències estadísticament significatives entre les mostres es procedeix a realitzar una anàlisi de la variància per a contrastar la hipòtesi nul·la que les mostres tenen igual mitjana. El nombre d'observacions realitzades és diferent en cada mostra pel simple fet que disminuint la resolució de mostratge s'adquireixen menys lectures dels sensors per a una mateixa distància de caracterització. Per aquest motiu, abans d'aplicar una prova d'anàlisi de la variància cal comprovar la normalitat i l'homoscedasticitat de les mostres. Donat que totes les mostres tenen menys de 2.000 observacions, per a comprovar la normalitat es realitza la prova de Shapiro-Wilk que parteix de la hipòtesi nul·la que les dades de la mostra analitzada pertanyen a una distribució normal. A la Taula 6.26 es mostra un resum de la prova per a la mostra corresponent a la resolució de mostratge de 1,68 cm/mostra. La taula mostra el valor de la distribució normal ajustada i el valor de l'estadístic  $W$  calculat durant la prova. A la darrera columna es veu que la probabilitat que es doni un valor de  $W$  menor que el calculat és igual a 0 i, per tant, cal rebutjar la hipòtesi nul·la i, per tant, que la mostra estudiada tingui una distribució normal.

**Taula 6.26.-** Resum de la prova de Shapiro-Wilk per a la comprovació de la normalitat de la distribució amb resolució de mostratge de 1,68 cm/mostra.

Terme	Paràmetre	Estimació (m <sup>2</sup> )	Interval de confiança 95% (m <sup>2</sup> )		W Shapiro-Wilk	Prob < W
Localització	$\mu$ (mitjana)	2,903	2,831	2,976	0,963	0,000
Dispersió	$\sigma$ (dev. est.)	1,541	1,491	1,593		

Es va comprovar la normalitat de la resta de mostres amb la mateixa prova estadística i els resultats foren idèntics: totes les mostres tenien distribucions molt similars entre elles però cap mostra seguia una distribució normal. De fet, en alguns casos és molt difícil que les mostres obtingudes en la caracterització de les capçades segueixin distribucions normals ja que al llarg de la fila d'arbres hi pot haver zones amb poca vegetació o forats que impliquen lectures dels sensors que comporten semiamplades nul·les. Aquest fet fa que, depenent de cada capçada, l'edat o l'estadi vegetatiu o la formació de la plantació, els histogrames presentin una acumulació més o menys gran de semiamplades en la classe que conté el valor 0 i, per tant, no es pugui ajustar bé la distribució normal.

Com que les mostres ja no complien la hipòtesi de normalitat necessària per a l'aplicació d'una anàlisi de la variància convencional, es decidí realitzar una anàlisi de la variància no paramètrica amb la prova de Kruskal-Wallis. Aquesta prova només fa una assumptió i és que totes les mostres tinguin una distribució similar i siguin homoscedàstiques. Donat que la prova de Bartlett per a comprovar la igualtat de variàncies pot presentar alguna deficiència enfront a violacions de la normalitat i el programari estadístic utilitzat disposa d'altres proves d'homoscedasticitat, es realitzaren els càlculs pertinents i es compararen els resultats de les diferents proves (Taula 6.27). Totes les proves realitzades avalen la hipòtesi que les diferents mostres són homoscedàstiques.

**Taula 6.27.-** Resultat de les proves d'homoscedasticitat de les diferents mostres utilitzades en la determinació de la resolució de mostratge òptima.

Prova	Estadístic $F$	Prob > $F$
O'Brien	0,4371	0,8794
Brown-Forsythe	0,2793	0,9623
Levene	0,3407	0,9354
Bartlett	0,2659	0,9671

Una vegada comprovats els requisits, a la Taula 6.28 es mostren els resultats de la prova de Kruskal-Wallis. Per a rebutjar la hipòtesi nul·la que mantenia la igualtat de les mitjanes de les mostres, la probabilitat de superar el valor de la distribució khi al quadrat hauria de ser menor que el nivell de significació triat de 0,05. Tal com es veu a la taula, el valor és pròxim a la unitat, cosa que indica que no es pot rebutjar la hipòtesi nul·la i considerem que les mitjanes són iguals amb una significació.

**Taula 6.28.-** Resum de la prova de Kruskal-Wallis per a la contrastació de la hipòtesi nul·la d'igualtat de mitjanes per a les vuit mostres obtingudes amb diferents resolucions de mostratge.

Resolució (cm/mostra)	Observacions	Sumatori de categories	Categoria mitjana	Comparació de mitjanes	khi al quadrat	GL	Prob > $\chi^2$
1,68	1.755	3.861.139	2.200,08	-0,209	0,6292	7	0,9988
3,31	877	1.926.138	2.196,28	-0,227			
4,97	585	1.288.882	2.203,22	-0,036			
6,63	438	963.621	2.200,05	-0,086			
10,09	292	651.092	2.229,77	0,344			
13,56	219	492.386	2.248,34	0,517			
19,88	146	327.599	2.243,83	0,375			
29,87	97	210.990	2.175,15	-0,234			

El fet que les mitjanes no presentin diferències estadísticament significatives implicaria que es podria utilitzar qualsevol resolució de mostratge entre 1,68 cm/mostra i 29,87 cm/mostra sense afectar el resultat final de la caracterització de la capçada. Malgrat això, observant les figures dels diagrames de dispersió al llarg de la fila d'arbres, és evident que no és el mateix prendre una mostra de la capçada cada 1,68 cm que prendre'n una cada 30 cm, tal com palesa la Figura 6.46. Els diagrames més coincidents amb més solapament de la corba a resolució màxima són, per ordre, els aconseguits amb la resolució de 4,97 cm/mostra (Figura 6.43) i 10,09 cm/mostra (Figura 6.44). El llinar es podria establir en la resolució de 20 cm/mostra de manera que, per a una correcta caracterització de les capçades, es podrien acceptar resolucions de mostratge entre 1 cm i 20 cm.

### 6.3.4 Assajos de caracterització de la capçada en temps real

Una vegada caracteritzats els sensors i establert el rang de resolucions de mostratge més adient es va procedir a realitzar els assajos de caracterització de la capçada en temps real. En aquest apartat es mostren els resultats obtinguts en els assajos realitzats en diversos conreus amb tecnologies i metodologies diferents.

#### 6.3.4.1 Sensors d'ultrasons

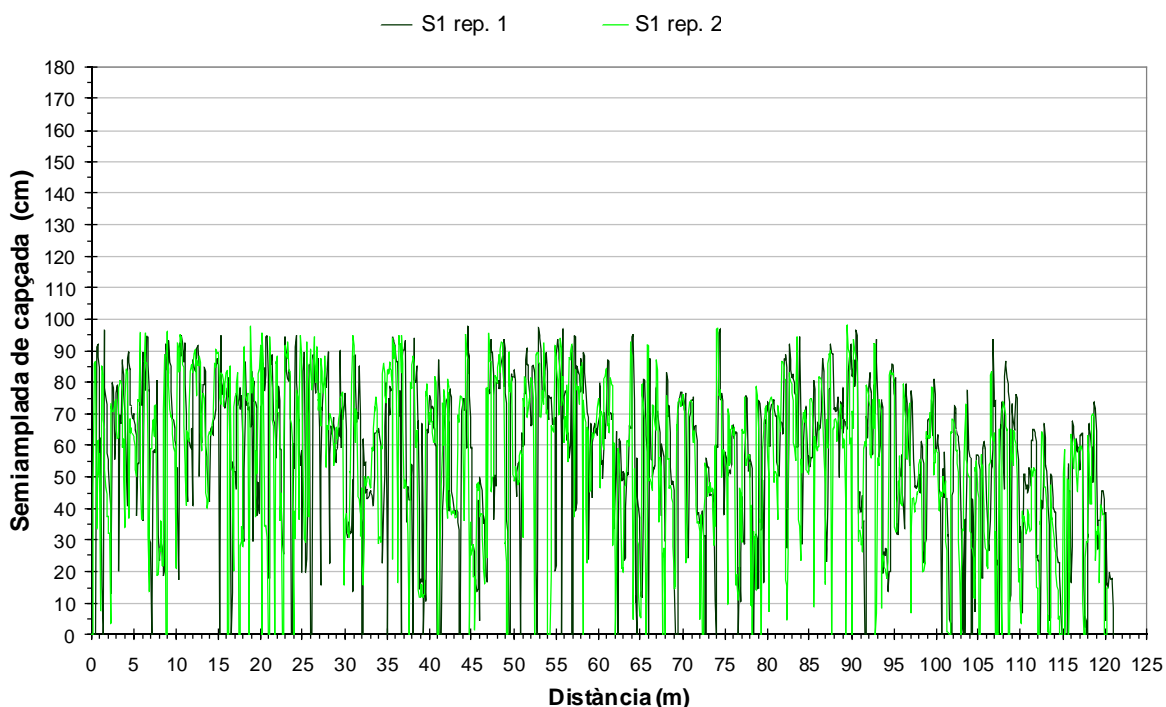
Els primers assajos realitzats es van dur a terme amb els sensors d'ultrasons en una plantació de perers de la varietat 'Conference' (*Pyrus communis* L. cv. 'Conference') amb un sensor treballant en solitari i amb dos sensors treballant simultàniament a dues alçades diferents. Posteriorment es van realitzar assajos de caracterització en una plantació de pomers 'Golden' (*Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious') amb dos sensors d'ultrasons. Més endavant es van realitzar assajos amb tres sensors d'ultrasons en la mateixa plantació de perers i en una altra plantació de pomers (*Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red'). I, finalment, es va realitzar la prova de caracterització amb el sensor lidar en la varietat de perers 'Conference'.

### 6.3.4.1.1 Caracterització d'una plantació de perers 'Conference'

Les característiques geomètriques i l'estat fenològic de la plantació *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' es poden observar a la Taula 6.3. El primer paràmetre a contrastar fou la repetibilitat de les mesures de semiampлада de la capçada tant del Sensor 1 (situat a 1,2 m del terra) com del Sensor 2 (situat a 2 m de terra) després de passar dues vegades per un dels costats de la fila d'arbres. A continuació es realitzà una comparació entre els semivolums dels dos costats de la capçada estimats per al tram de filera escanejada únicament amb el sensor inferior i amb els dos sensors. I, finalment, es va realitzar un estudi numèric de les diferències entre el volum de capçada estimat amb els sensors d'ultrasons i l'estimat amb tres mètodes coneguts de *TRV* (*Tree Row Volume*). La resolució de mostratge utilitzada fou de 12 mostres/m, equivalent a la presa d'una mostra cada 8,3 cm en el sentit d'avanç del polvoritzador.

#### Anàlisi de la capçada i de la repetibilitat del Sensor 1

L'anàlisi de la repetibilitat del sistema de caracterització de la capçada es realitza a partir de dues repeticions consistents en dues passades del sistema de caracterització per un dels costats de la fila d'arbres. A partir de les mesures dels sensors, s'estimen les semiampлады de capçada, tal com es descriu a la Figura 5.1. A la Figura 6.48 es poden observar les estimacions de les semiampлады de capçada realitzades amb el Sensor 1, situat a la posició inferior a 1,2 m del terra.



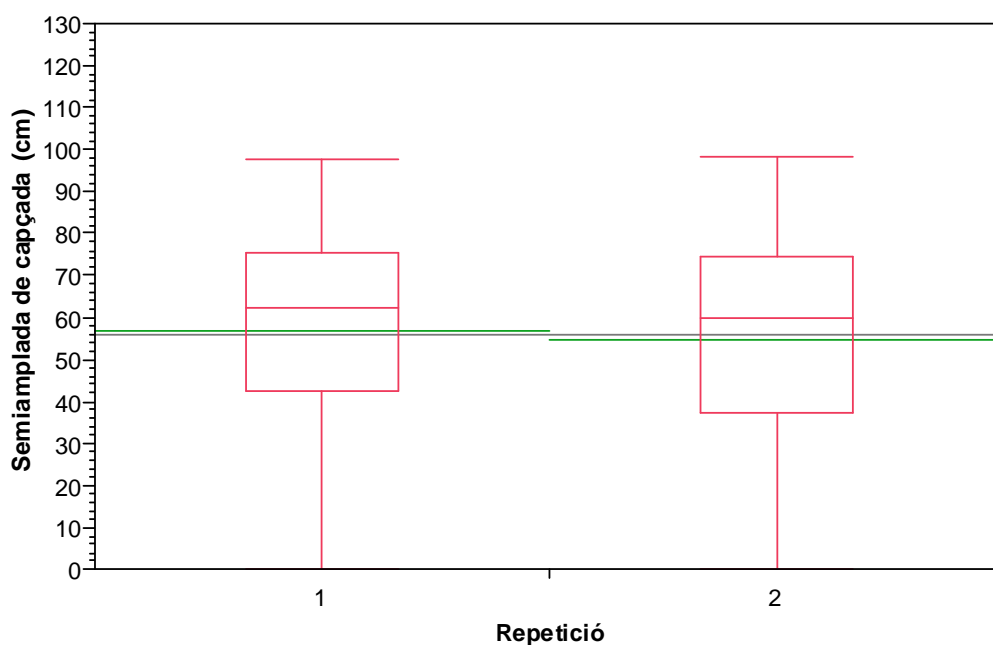
**Figura 6.48.-** Diagrama de dispersió de les repeticions per a la determinació de les semiampлады de capçada amb el Sensor 1 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference'.

En primer lloc, la representació de les semiampлады de capçada fa palesa l'alta variabilitat que presentava la capçada escanejada. Lluny de tractar-se d'una capçada regular amb una semiampлада aproximadament constant com es podria esperar en una plantació intensiva d'aquestes característiques. Les zones amb més vegetació corresponen a les zones del tronc donat que la distància entre màxims coincideix, aproximadament, amb la separació entre soques



(1,5 m). També s'observa que el patró generat no és uniforme al llarg del tram escanejat sinó que, a més de la microvariabilitat hi ha una variabilitat a més gran escala que es podria anomenar macrovariabilitat. Aquesta macrovariabilitat fa que, per exemple, la semiamplada mitjana dels darrers 20 m sigui menor que la dels 20 m inicials o que la determinada entre el punt 60 m i 80 m.

Com es pot observar a la Figura 6.48, les corbes de semiamplades corresponents a les dues repeticions tenen un alt grau de coincidència. Els diagrames de caixa de la Figura 6.49 també mostren dues mostres molt similars. Tanmateix, una observació més detallada posa de manifest que la repetició 2 presenta semiamplades menors que provoquen una mitja i uns quartils més baixos.



**Figura 6.49.-** Diagrames de caixa de les repeticions per a la determinació de les semiamplades de capçada amb el Sensor 1 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference'. Les rectes verdes representen les mitjanes mostrals, la recta gris representa la mitjana global i les rectes horitzontals roges representen els diferents quartils mostrals.

Una anàlisi més completa indica que les mitjanes presenten diferències significatives (Taula 6.29). Donat que les corbes de semiamplades i els diagrames de caixa són pràcticament iguals, es va hipotetitzar que la diferència era deguda a que el tractor no va seguir exactament el mateix traç en les dues passades. A efectes de càlcul, les semiamplades de capçada estimades a partir dels sensors d'ultrasons es determinaren mitjançant l'Equació 6.2. En aquesta expressió es veu clarament que el fet de no seguir el traç central altera les distàncies estimades pels sensors i, per tant, distorsiona el càlcul realitzat. Com que es disposa de les lectures originals dels sensors d'ultrasons d'aquest assaig, es va procedir a comprovar quin hagués estat el resultat de l'anàlisi de la variància en el cas que el tractor hagués seguit una trajectòria paral·lela a la de la repetició 2 amb diversos desfasaments. Després de diverses proves es va comprovar que si es desplaçava 3 cm la traça de la repetició 2, l'anàlisi estadística deixava de manifestar diferències significatives entre les mitjanes. La repetició modificada s'anomenà repetició 2 corregida.

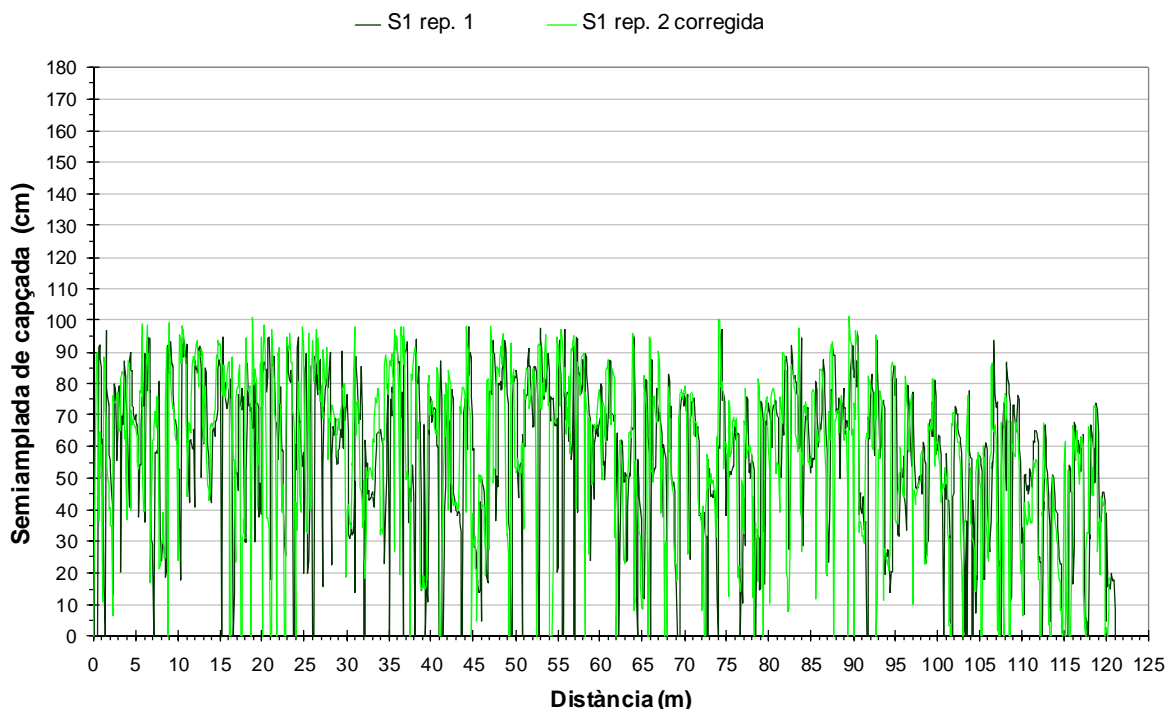
**Taula 6.29.-** Estadístics descriptius de les diferents repeticions per a la determinació de les semiamples de capçada amb el Sensor 1 des del costat dret en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference'.

Repetició	1	2	2 corregida 3 cm
Mitjana (cm)	56,98 a	54,71 b	57,54 a
Desviació estàndard (cm)	24,85	25,67	26,05
Error estàndard mitjana (cm)	0,65	0,67	0,68
Observacions	1.454	1.454	1.454
Variància (cm <sup>2</sup> )	617,54	659,10	678,60
Coef. de variació (%)	43,61	46,92	45,27

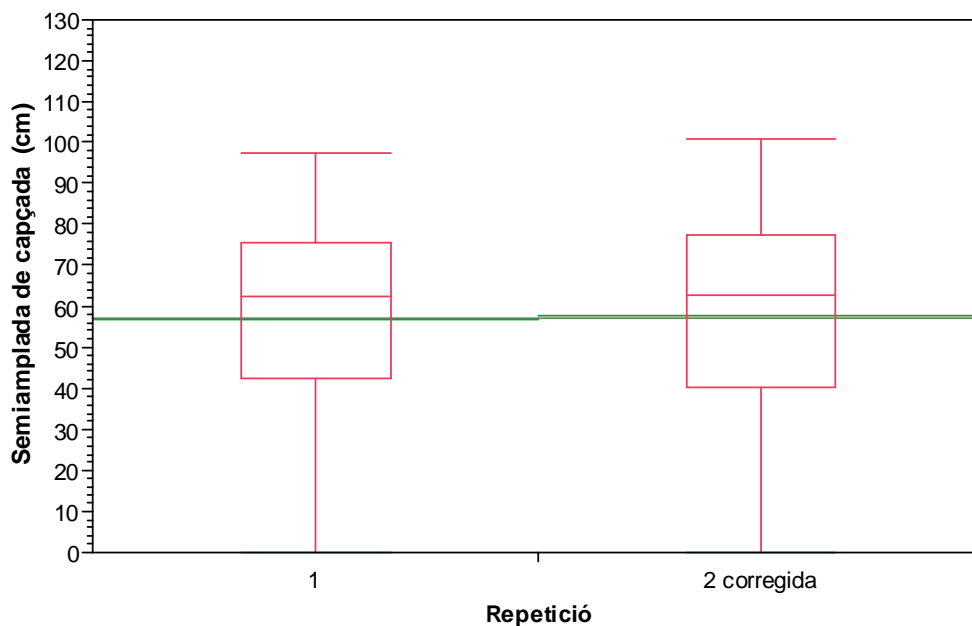
\* Lletres diferents en mitjanes impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons anàlisi de la variància.

Una vegada corregida la repetició 2 es tornen a representar les semiamples de capçada (Figura 6.50) i els diagrames de caixa (Figura 6.51). Es pot comprovar que la coincidència entre mostres és major, fet que, juntament amb el resultat de la prova d'anàlisi de la variància, permet afirmar que les dues repeticions representen la mateixa capçada. Es pot concloure, per tant, que si el tractor hagués seguit el traçat correcte, la repetibilitat de les mesures hagués estat acceptable tant des del punt de vista de la localització espacial de les semiamples de capçada al llarg de la fila com des del punt de vista de la determinació de les semiamples de capçada.

A la Taula 6.29 es pot observar l'elevat valor dels coeficients de variació, que representen l'alt grau de variabilitat de la capçada escanejada.



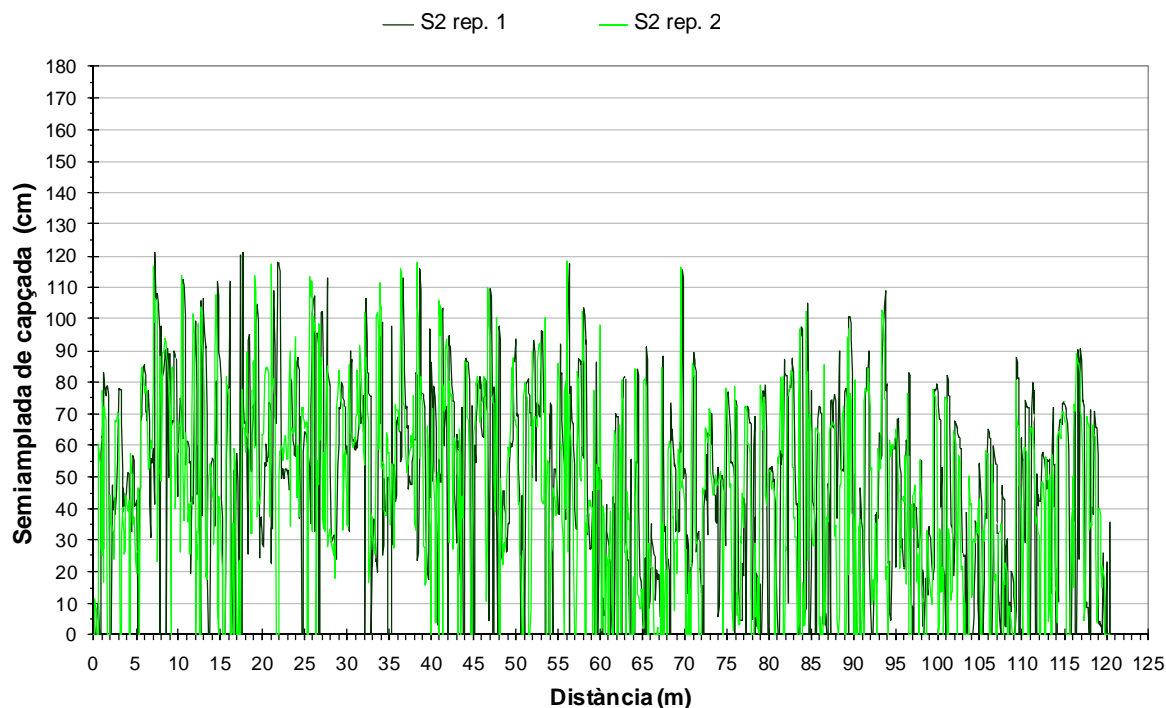
**Figura 6.50.-** Diagrama de dispersió de la repetició 1 i de la repetició 2 corregida per a la determinació de les semiamples de capçada amb el Sensor 1 des del costat esquerre en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference'.



**Figura 6.51.-** Diagrames de caixa de les repeticions per a la determinació de les semiamples de capçada amb el Sensor 1 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' amb la repetició 2 corregida. Les rectes verdes representen les mitjanes mostrals, la recta gris representa la mitjana global i les rectes horitzontals roges representen els diferents quartils mostrals.

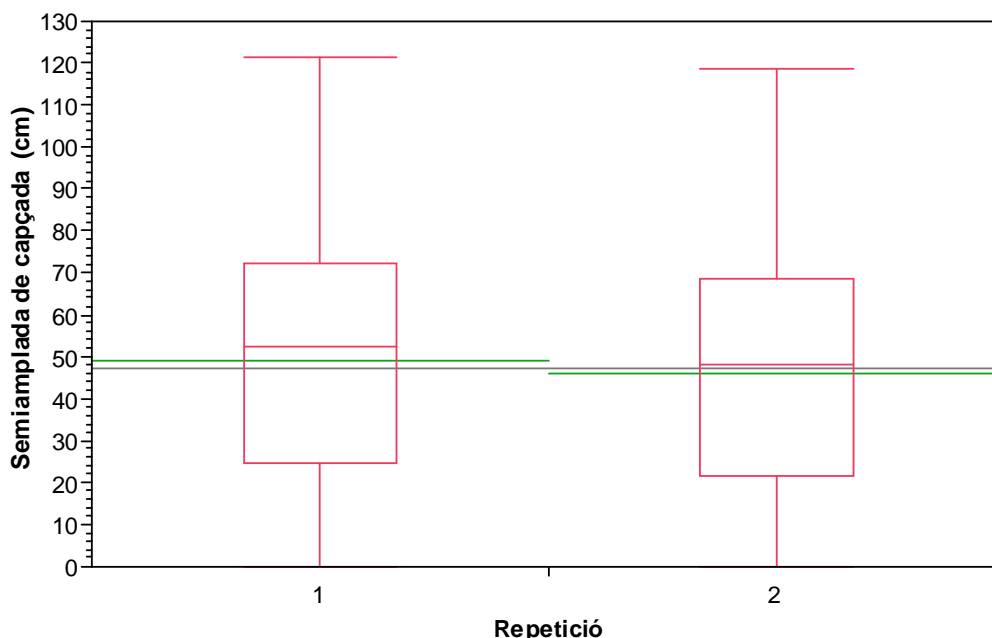
### Anàlisi de la capçada i de la repetibilitat del Sensor 2

A la Figura 6.52 es mostren les semiamples estimades amb el Sensor 2. S'observa clarament la microvariabilitat deguda a la concentració de vegetació a les zones dels troncs i la macrovariabilitat representable per una hipotètica envoltant (unió dels punts màxims de la funció).



**Figura 6.52.-** Diagrama de dispersió de les repeticions per a la determinació de les semiamples de capçada amb el Sensor 2 des del costat esquerre en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference'.

A la Figura 6.53 s'aprecia que, tot i que els diagrames de caixa són similars, la mitjana de la repetició 2 i els respectius quartils són lleugerament menors que en la repetició 1. A la Taula 6.30 es pot observar el resultat de la prova d'anàlisi de la variància, que indica diferències significatives entre les mostres. Donat que les mesures dels Sensors 1 i 2 són simultànies, cal corregir de nou la repetició 2 amb la mateixa proporció que en el cas del Sensor 1 (3 cm).



**Figura 6.53.-** Diagrames de caixa de les repeticions per a la determinació de les semiamplades de capçada amb el Sensor 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference'. Les rectes verdes representen les mitjanes mostrals, la recta gris representa la mitjana global i les rectes horitzontals roges representen els diferents quartils mostrals.

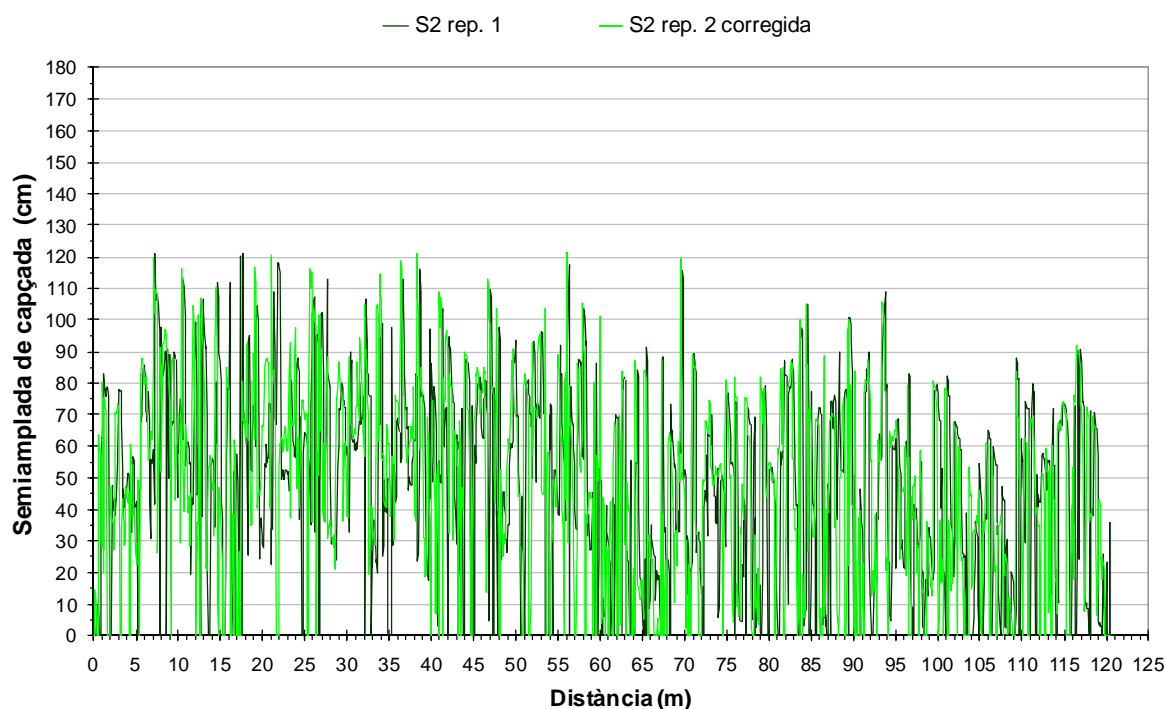
**Taula 6.30.-** Estadístics descriptius de les diferents repeticions per a la determinació de les semiamplades de capçada amb el Sensor 2 des del costat dret en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference'.

Repetició	1	2	2 corregida 3 cm
Mitjana (cm)	48,87 a	45,92 b	48,50 a
Desviació estàndard (cm)	30,67	30,35	31,01
Error estàndard mitjana (cm)	0,80	0,80	0,81
Observacions	1.454	1.454	1.454
Variància (cm <sup>2</sup> )	940,39	921,17	961,38
Coef. de variació (%)	62,74	66,09	63,94

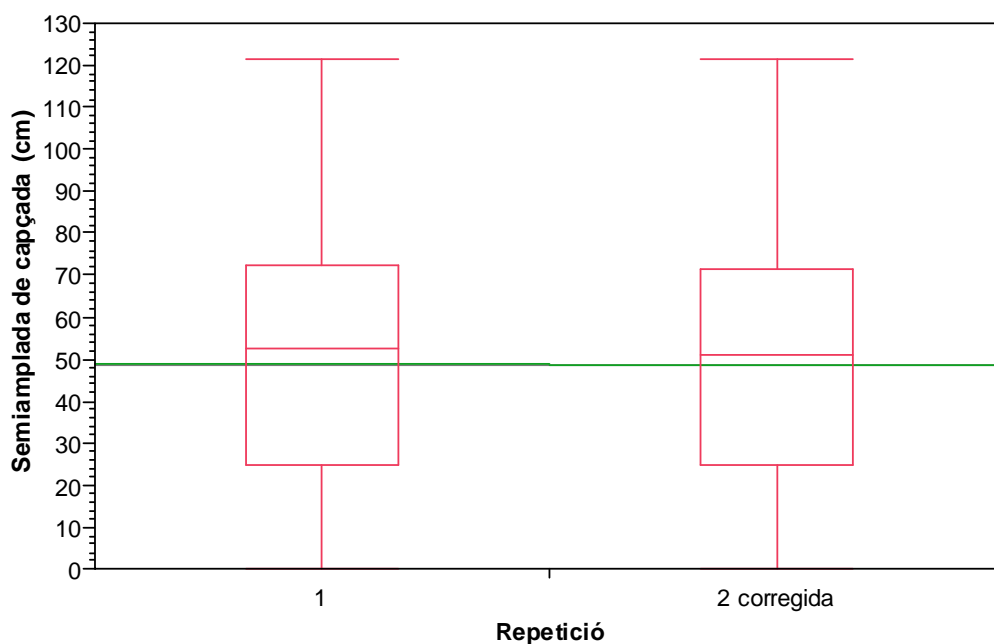
\* Lletres diferents en mitjanes impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons anàlisi de la variància.

Una vegada corregida la repetició 2 dels Sensor 2, els diagrames de la Figura 6.54 i la Figura 6.55 indiquen un grau de coincidència tal que permet afirmar que el sistema de caracterització electrònica de la capçada és repetible en condicions de camp.

Una observació important és que el Sensor 2 detecta una variabilitat més alta en les semiamplades de capçada. Donat que la capçada és la mateixa que l'escanejada amb el Sensor 1, es pot afirmar que aquest tipus de formació presenta més variabilitat en les parts altes dels arbres. Aquesta variabilitat ve donada per la major presència d'espais buits amb una alta periodicitat. Observant la Figura 6.54, es pot intuir que els espais buits corresponen a les zones entretroncs, que a les parts altes acumulen menys vegetació que a les parts baixes.



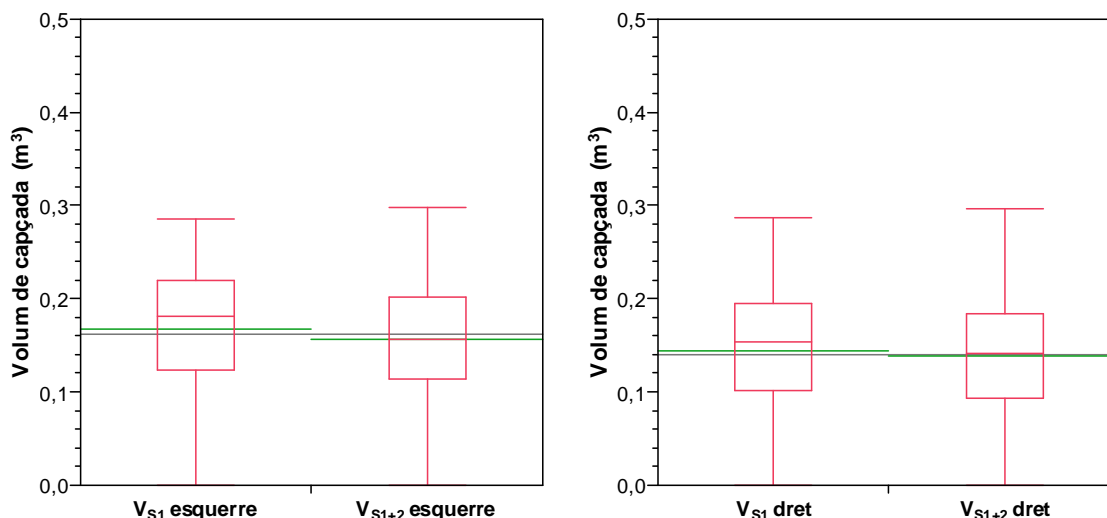
**Figura 6.54.-** Diagrama de dispersió de la repetició 1 i de la repetició 2 corregida per a la determinació de les semiamples de capçada amb el Sensor 2 des del costat esquerre en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference'.



**Figura 6.55.-** Diagrames de caixa de les repeticions per a la determinació de les semiamples de capçada amb el Sensor 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' amb la repetició 2 corregida. Les rectes verdes representen les mitjanes mostrals, la recta gris representa la mitjana global i les rectes horitzontals roges representen els diferents quartils mostrals.

### Comparació entre volums de capçada estimats amb 1 i amb 2 sensors

A partir de les semiamplades de capçada estimades amb un o els dos sensors d'ultrasons es va procedir a calcular els volums de capçada del tram escanejat. A la Figura 6.56 es mostren els diagrames de caixa de cadascuna de les mostres de volums instantanis de capçada preses des del costat esquerre i des del costat dret amb un i amb dos sensors.



**Figura 6.56.-** Diagrames de caixa de les mostres de volums de capçada estimats amb 1 o amb 2 sensors des del costat esquerre (esquerra) i des del costat dret (dreta) en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference'. Les rectes verdes representen les mitjanes mostrals, la recta gris representa la mitjana global i les rectes horitzontals roges representen els diferents quartils mostrals.

Malgrat la semblança de les mitjanes representades a la Figura 6.56, a la Taula 6.31 es mostra el resultat de la prova de Tukey-Kramer indicant que les mitjanes són totes significativament diferents. La prova es va aplicar després que el resultat de l'anàlisi de la variància portés a rebutjar la hipòtesi nul·la que defensava el contrari.

Dels diagrames es desprèn que la variabilitat dels volums estimats és considerable. Els valors del coeficient de variació oscil·len entre pràcticament el 40% i el 50% indicant un alt grau de variabilitat que justificaria treballs de recerca com l'actual. L'estimació dels volums amb un sol sensor presenta més variabilitat que quan es realitza amb dos sensors.

**Taula 6.31.-** Estadístics descriptius dels volums de capçada instantanis estimats amb 1 o amb 2 sensors des del costat esquerre i des del costat dret en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference'.

Mesura	V <sub>S1</sub> esquerre	V <sub>S1+2</sub> esquerre	V <sub>S1</sub> dret	V <sub>S1+2</sub> dret
Mitjana (m <sup>3</sup> )	0,166 a	0,156 b	0,143 c	0,138 d
Desviació estàndard (m <sup>3</sup> )	0,072	0,061	0,071	0,061
Error estàndard mitjana (m <sup>3</sup> )	0,002	0,002	0,002	0,002
Observacions	1.454	1.454	1.454	1.454
Volum acumulat (m <sup>3</sup> )	241,586	226,855	208,489	200,024
Variància	0,005	0,004	0,005	0,004
Asimetria	-0,730	-0,208	-0,478	-0,217
Apuntament	-0,237	-0,470	-0,511	-0,554
Coef. de variació (%)	43,611	39,123	49,799	44,608

\* Lletres diferents en mitjanes impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.

### Comparació entre volums de capçada electrònics i manuals

Els volums de capçada estimats per al tram escanejat amb les dues metodologies electròniques i els tres mètodes manuals es relacionen a les primeres columnes de la Taula 6.32 i de la Taula 6.33. Els volums electrònics estimats des del costat esquerre difereixen un 15 m<sup>3</sup>, equivalent a un 6%, mentre que els estimats des del costat dret només ho fan en un 4%. En aquesta ocasió, l'únic volum manual que és superior als electrònics és el calculat amb el mètode americà, que continua sobreestimant la capçada de manera important. El volums suïssos, en canvi, proposen uns volums de capçada clarament inferiors encara que la suma d'errors en la determinació dels volums de capçada instantanis en valor absolut és considerable en els dos trajectes.

**Taula 6.32.-** Comparació entre els volums de capçada estimats amb diferents tecnologies i metodologies des del costat esquerre en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference'.

	Volum tram escanejat (m <sup>3</sup> )	Volum per unitat de superfície (m <sup>3</sup> /ha)	Error respecte V <sub>S1</sub> (m <sup>3</sup> )	Error respecte V <sub>S1</sub> (%)	Error absolut acum. respecte V <sub>S1</sub> (m <sup>3</sup> )	Error respecte V <sub>S1+2</sub> (m <sup>3</sup> )	Error respecte V <sub>S1+2</sub> (%)	Error absolut acum. respecte V <sub>S1+2</sub> (m <sup>3</sup> )
V <sub>S1</sub> esquerre	241,586	9.262	-	-	-	14,732	6,494	-
V <sub>S1+2</sub> esquerre	226,855	8.784	-14,732	-6,098	-	-	-	-
TRV <sub>US</sub>	318,413	13.125	76,826	31,801	96,207	91,558	40,360	103,573
TRV <sub>SW1</sub>	181,950	7.500	-59,636	-24,685	105,938	-44,905	-19,794	81,824
TRV <sub>SW2</sub>	136,463	5.625	-105,124	-43,514	132,023	-90,392	-39,846	106,492

**Taula 6.33.-** Comparació entre els volums de capçada estimats amb diferents tecnologies i metodologies des del costat dret en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference'.

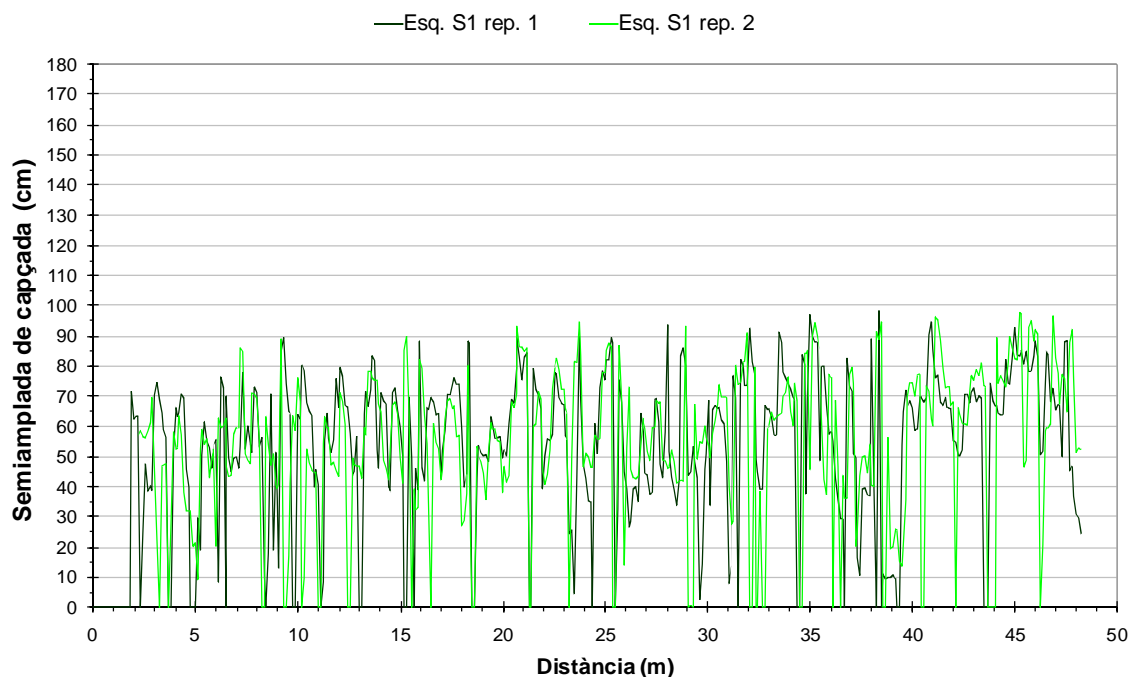
	Volum tram escanejat (m <sup>3</sup> )	Volum per unitat de superfície (m <sup>3</sup> /ha)	Error respecte V <sub>S1</sub> (m <sup>3</sup> )	Error respecte V <sub>S1</sub> (%)	Error absolut acum. respecte V <sub>S1</sub> (m <sup>3</sup> )	Error respecte V <sub>S1+2</sub> (m <sup>3</sup> )	Error respecte V <sub>S1+2</sub> (%)	Error absolut acum. respecte V <sub>S1+2</sub> (m <sup>3</sup> )
V <sub>S1</sub> dret	208,489	9.262	-	-	-	8,465	4,232	-
V <sub>S1+2</sub> dret	200,024	8.784	-8,465	-4,060	-	-	-	-
TRV <sub>US</sub>	318,413	13.125	110,973	53,227	120,491	119,439	59,712	124,099
TRV <sub>SW1</sub>	181,950	7.500	-25,939	-12,442	90,368	-17,474	-8,736	76,526
TRV <sub>SW2</sub>	136,463	5.625	-71,577	-34,331	110,492	-63,111	-31,552	91,645

#### 6.3.4.1.2 Caracterització d'una plantació de pomers 'Golden Delicious'

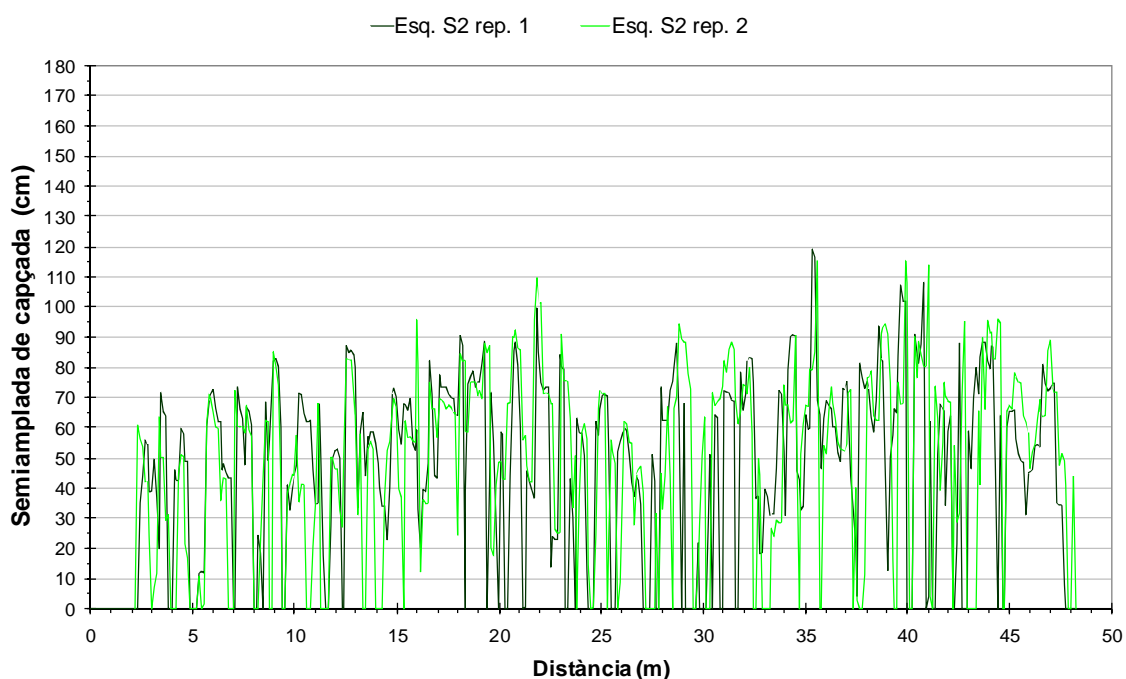
Amb l'ànim de caracteritzar plantacions d'algunes de les varietats més habituals i amb més futur de l'horta de Lleida, es va procedir a caracteritzar una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious' utilitzant el mateix sistema que en el cas dels perers. L'objectiu, tal com s'ha explicat a l'apartat de materials i mètodes, era estudiar la caracterització electrònica de la capçada amb un i amb dos sensors des del punt de vista de la seva variabilitat i dels valors obtinguts respecte d'altres metodologies. La resolució de mostratge utilitzada fou de 9 mostres/m, equivalent a la presa d'una mostra cada 11 cm en el sentit d'avanç del polvoritzador.

### Anàlisi de la capçada i de la repetibilitat dels sensors

A la Figura 6.57 i a la Figura 6.58 es representen els diagrames de dispersió de les semiamplades de capçada del costat esquerre amb el Sensor 1 i amb el Sensor 2. Es varen dur a terme dues repeticions en cada cas per a comprovar la repetibilitat de les mesures i, tal com es pot apreciar, el solapament de les corbes té un alt grau de coincidència. Donat que en la caracterització realitzada a la plantació de perers aquesta coincidència en les corbes de semiamplades es mantenia en la comparació de mitjanes, la repetibilitat dels sensors en la plantació de pomers es dóna per bona.



**Figura 6.57.-** Diagrama de dispersió de les repeticions per a la determinació de les semiamplades de capçada amb el Sensor 1 des del costat esquerre en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious'.



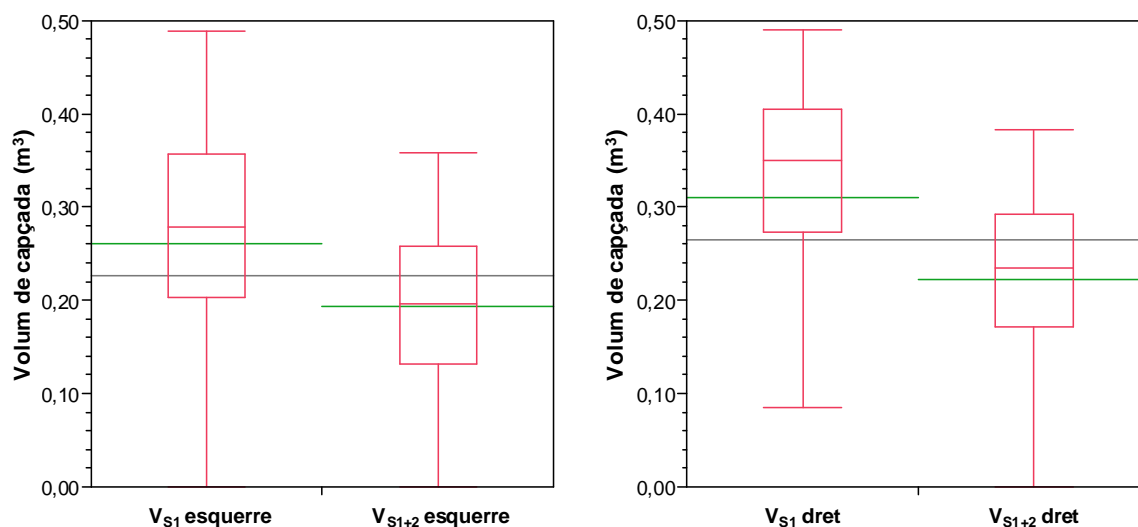
**Figura 6.58.-** Diagrama de dispersió de les repeticions per a la determinació de les semiamplades de capçada amb el Sensor 2 des del costat esquerre en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious'.



Pel que fa al resultat del mostratge de la capçada, en els diagrames de dispersió de les dues figures s'observa la microvariabilitat típica deguda a la concentració de vegetació a les zones dels troncs i una certa macrovariabilitat determinada per l'envolupant de les corbes de semiamples. Aquesta macrovariabilitat es fa més palesa en la caracterització realitzada a partir de les lectures del Sensor 2, probablement degut al fet d'estar situat a una alçada. Malgrat semblava que a la posició del Sensor 2 es detecti més vegetació, el valor de la mitjana del sensor inferior és major que el de la mitjana del sensor superior. El fet que no hi hagi tanta diferència entre les semiamples estimades segons l'alçada del sensor pot ser degut al sistema de formació i a la forma de la capçada de la varietat 'Golden Delicious', potser una mica més regular en alçada que no pas les dels perers. Cal recordar la importància del correcte posicionament dels sensors abans de realitzar les mesures en funció de les apreciacions visuals per a cada capçada.

### Comparació entre volums de capçada estimats amb 1 i amb 2 sensors

A partir de les semiamples de capçada estimades amb els dos sensors d'ultrasons es va procedir a calcular els volums de capçada del tram escanejat. A la Figura 6.59 es mostren els diagrames de caixa de cadascuna de les mostres de volums instantanis de capçada preses des del costat esquerre amb un i amb dos sensors i des del costat dret.



**Figura 6.59.-** Diagrames de caixa de les mostres de volums de capçada estimats amb 1 o amb dos sensors des del costat esquerre (esquerra) i des del dret (dreta) en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious'. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les línies horitzontals roges representen els diferents quartils de les mostres.

En aquesta capçada de pomers 'Golden Delicious' sí que s'aprecien diferències significatives entre els volums estimats amb un i amb dos sensors tant des del costat esquerre com des del dret. Els diagrames de caixa també indiquen una certa reducció de la dispersió dels volums instantanis quan s'estimen amb dos sensors simultàniament. De la Figura 6.59 també es desprèn que, encara que els diagrames de dispersió mostren algunes semiamples nul·les, aquestes representen un percentatge reduït de les dades ja que el percentil 25 queda molt allunyat de percentil 0.

A la Taula 6.34 es mostra el resultat de l'agrupació de mitjanes dels volums instantanis segons la prova de Tukey-Kramer. Tal com es desprèn del diagrama de caixes, les mitjanes van ser prou diferents com per a rebutjar la hipòtesi nul·la de l'anàlisi de variància i no fer cap agrupació. Les mitjanes més elevades es correspongueren amb els volums obtinguts a partir de la única

informació del sensor inferior mentre que el complement del segon sensor va disminuir l'estimació en els dos trajectes. En referència a la dispersió dels volums instantanis, tal com es podia intuir a la Figura 6.59, els valor del coeficient de variació són similars als obtinguts en la plantació de perers. Una variabilitat del 40% al 50% justifica un maneig específic i diferenciat per a pal·liar els efectes de la macrovariabilitat i, fins i tot, de la microvariabilitat.

**Taula 6.34.-** Estadístics descriptius dels volums de capçada instantanis estimats amb 1 o amb 2 sensors des del costat esquerre i des del costat dret en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious'.

Mesura	V <sub>S1</sub> esquerre	V <sub>S1+2</sub> esquerre	V <sub>S1</sub> dret	V <sub>S1+2</sub> dret
Mitjana (m <sup>3</sup> )	0,259 b	0,193 d	0,310 a	0,221 c
Desviació estàndard (m <sup>3</sup> )	0,132	0,084	0,139	0,089
Error estàndard mitjana	0,006	0,004	0,007	0,004
Observacions	437	437	437	437
Volum acumulat (m <sup>3</sup> )	113,391	84,254	135,615	96,558
Variància	0,017	0,007	0,019	0,008
Asimetria	-0,611	-0,246	-1,202	-0,794
Apuntament	-0,395	-0,491	0,428	0,266
Coef. de variació (%)	50,984	43,329	44,877	40,502

\* Lletres diferents en mitjanes impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.

### Comparació entre volums de capçada electrònics i manuals

Els volums de capçada estimats per al tram escanejat amb les dues metodologies electròniques i els tres mètodes manuals es relacionen a les primeres columnes de la Taula 6.35 i de la Taula 6.36.

**Taula 6.35.-** Comparació entre els volums de capçada estimats amb diferents tecnologies i metodologies des del costat esquerre en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious'.

	Volum tram escanejat (m <sup>3</sup> )	Volum per unitat de superfície (m <sup>3</sup> /ha)	Error respecte V <sub>S1</sub> (m <sup>3</sup> )	Error respecte V <sub>S1</sub> (%)	Error absolut acum. respecte V <sub>S1</sub> (m <sup>3</sup> )	Error respecte V <sub>S1+2</sub> (m <sup>3</sup> )	Error respecte V <sub>S1+2</sub> (%)	Error absolut acum. respecte V <sub>S1+2</sub> (m <sup>3</sup> )
V <sub>S1</sub> esquerre	113,391	12,881	-	-	-	29,136	34,582	-
V <sub>S1+2</sub> esquerre	84,254	9,353	-29,136	-25,696	-	-	-	-
TRV <sub>US</sub>	206,611	21,375	93,220	82,211	93,309	122,356	145,223	122,356
TRV <sub>SW1</sub>	122,436	12,667	9,045	7,977	44,629	38,182	45,317	42,634
TRV <sub>SW2</sub>	91,827	9,500	-21,564	-19,017	51,390	7,573	8,988	29,976

**Taula 6.36.-** Comparació entre els volums de capçada estimats amb diferents tecnologies i metodologies des del costat dret en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious'.

	Volum tram escanejat (m <sup>3</sup> )	Volum per unitat de superfície (m <sup>3</sup> /ha)	Error respecte V <sub>S1</sub> (m <sup>3</sup> )	Error respecte V <sub>S1</sub> (%)	Error absolut acum. respecte V <sub>S1</sub> (m <sup>3</sup> )	Error respecte V <sub>S1+2</sub> (m <sup>3</sup> )	Error respecte V <sub>S1+2</sub> (%)	Error absolut acum. respecte V <sub>S1+2</sub> (m <sup>3</sup> )
V <sub>S1</sub> dret	135,615	12,881	-	-	-	39,058	40,450	-
V <sub>S1+2</sub> dret	96,558	9,353	-39,058	-28,800	-	-	-	-
TRV <sub>US</sub>	206,611	21,375	70,995	52,351	71,103	110,053	113,977	110,053
TRV <sub>SW1</sub>	122,436	12,667	-13,179	-9,718	50,619	25,878	26,801	34,597
TRV <sub>SW2</sub>	91,827	9,500	-43,788	-32,289	68,556	-4,731	-4,899	31,103

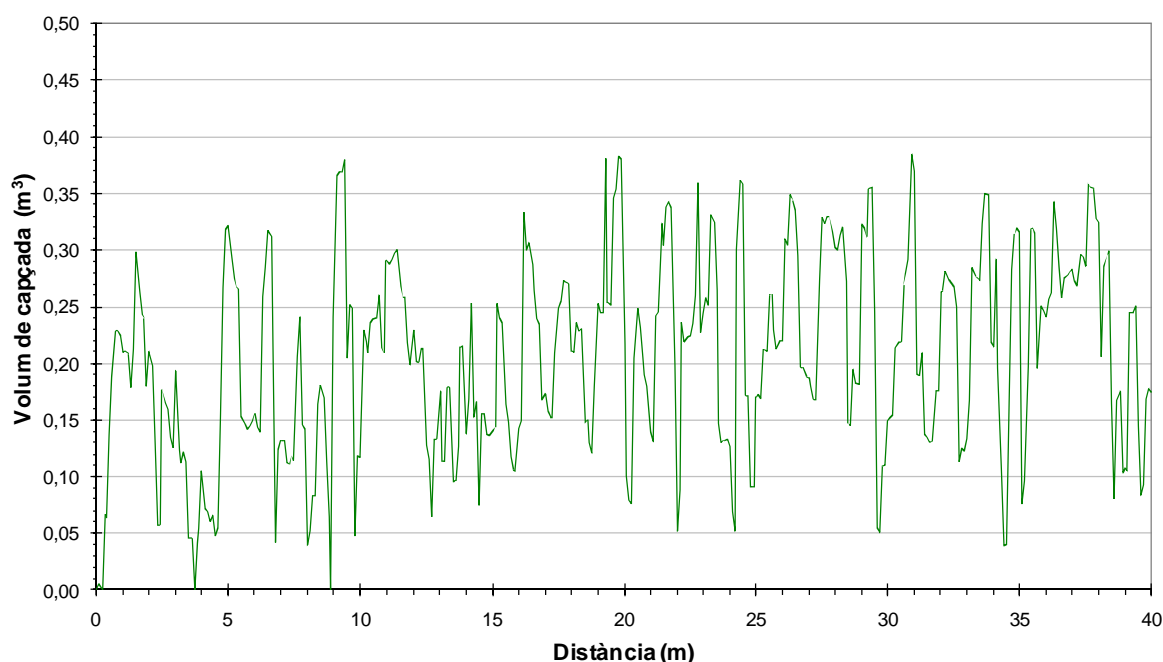
Si s'analitzen els resultats des del punt de vista dels volums totals per unitat de superfície, el volum estimat amb un sensor d'ultrasons es podria equiparar amb l'estimat amb el mètode *TRV* suís per a capçades grans, malgrat aquest darrer presenti valors entre el 8% per sobre i 10% per sota del primer. D'altra banda, el volum total per hectàrea estimat amb dos sensors resulta similar al mètode suís per a capçades "normals", essent aquest darrer un 9% per sobre i un 5% per sota dels valors determinats electrònicament en funció del costat escanejat. Tanmateix, si s'analitzen els valors dels errors instantanis acumulats, aquests oscil·len entre 30 m<sup>3</sup> i 122 m<sup>3</sup>, valors que representen entre el 30% i el 50% respecte als volums estimats. Com s'ha comentat anteriorment, els valors de *TRV* suïssos podrien ser vàlids per a estimacions del volum total o del volum per unitat de superfície però mai per a l'estimació de volums instantanis.

#### 6.3.4.1.3 Caracterització d'una plantació de perers 'Conference' amb 3 sensors

Amb la millora del sistema de caracterització, la implementació del tercer sensor i la nova distribució dels sensors en alçada, es van realitzar dues caracteritzacions més, una en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' i l'altra en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red'. Donat que la repetibilitat de les mesures ja ha quedat corroborada, en aquest apartat i en el següent es realitza una anàlisi de la capçada donant per bona la repetibilitat dels sensors. La resolució de mostrejat utilitzada fou de 10 mostres/m, equivalent a la presa d'una mostra cada 10 cm en el sentit d'avanç del polvoritzador.

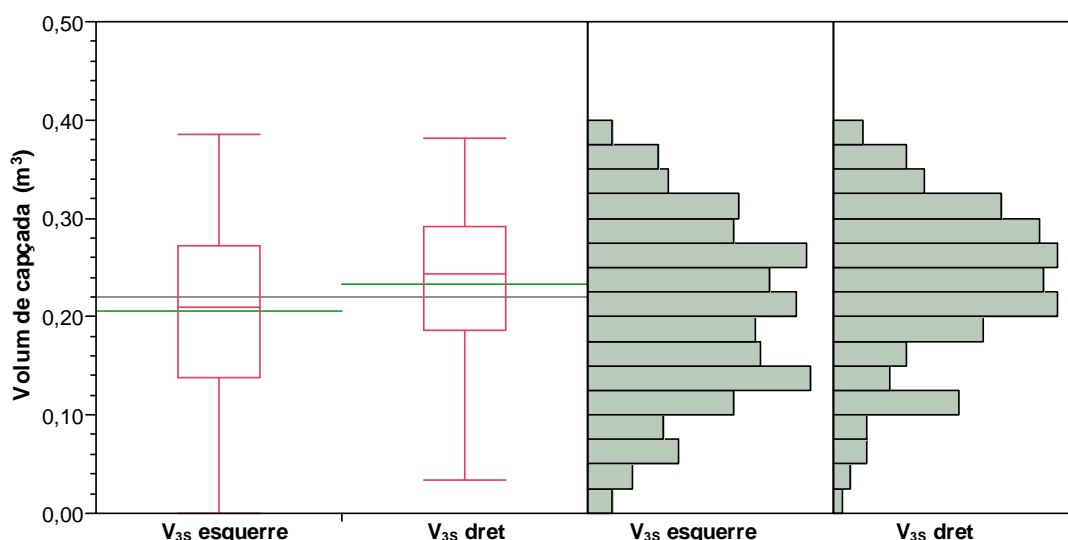
#### Anàlisi de la variabilitat de la capçada

A la Figura 6.60 es representa el diagrama de dispersió dels volums instantanis estimats des del costat esquerre amb el nou sistema de caracterització de tres sensors d'ultrasons. Igual que a les caracteritzacions anteriors, al diagrama de dispersió s'observa la microvariabilitat corresponent a la concentració de la vegetació a les zones dels troncs.



**Figura 6.60.-** Diagrama de dispersió dels volums instantanis de capçada estimat amb tres sensors d'ultrasons des del costat esquerre en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference'.

Considerant l'envolupant de la corba de volums instantanis, podem afirmar que també existeix una certa macrovariabilitat, entesa com la variabilitat dels volums estimats al llarg de la fila amb una resolució espacial major que la distància de separació entre soques. Tant a la Figura 6.60 com a la Figura 6.61 es pot observar que hi ha molt poques estimacions de volum instantani nul·les, cosa que es deu a una major frondositat de la capçada a conseqüència de l'avançat estat fenològic del conreu quan es va realitzar l'assaig de caracterització (Taula 6.4).



**Figura 6.61.-** Diagrames de caixa i histogrames de les mostres de volums instantanis de capçada realitzades amb tres sensors d'ultrasons des del costat esquerre i des del dret en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference'. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les línies horitzontals roges representen els diferents quartils de les mostres.

Els histogrames de la Figura 6.61 mostren un cert comportament normal de les distribucions de mostres de volums instantanis fet que corrobora l'alta densitat foliar de la capçada caracteritzada. A diferència d'altres capçades menys frondoses, els histogrames mostren un alt grau de simetria, també reflectit en els valors numèrics de la Taula 6.37, i uns valors d'apuntament més semblants a una distribució normal. En el cas del costat dret, s'observa al diagrama de caixes que l'amplitud interquartílica és menor i que l'histograma és més apuntat, fet que, en conseqüència ha de correspondre's a un menor grau de variabilitat de la mostra. El coeficient de variació expressat a la Taula 6.37 així ho demostra.

**Taula 6.37.-** Estadístics descriptius dels volums de capçada instantanis estimats amb 1 o amb 2 sensors des del costat esquerre i des del costat dret en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference'.

Mesura	V <sub>3s</sub> esquerre	V <sub>3s</sub> dret
Mitjana (m <sup>3</sup> )	0,205 b	0,234 a
Desviació estàndard (m <sup>3</sup> )	0,088	0,079
Error estàndard mitjana (m <sup>3</sup> )	0,004	0,004
Observacions	401	401
Volum acumulat (m <sup>3</sup> )	82,366	93,792
Variància	0,008	0,006
Asimetria	-0,087	-0,435
Apuntament	-0,732	-0,286
Coef. de variació (%)	42,688	33,568

\* Lletres diferents en mitjanes impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons anàlisi de la variància.

### Comparació entre volums de capçada electrònics i manuals

Els volums de capçada estimats per al tram escanejat amb les dues metodologies electròniques i els tres mètodes manuals es relacionen a les primeres columnes de la Taula 6.38 i de la Taula 6.39. En el cas particular d'aquesta plantació, s'observa que el valor del volum total estimat electrònicament, tant des del costat esquerre com des del dret, i el volum per unitat de superfície són similars al mètode *TRV* suís per a plantacions amb gran volum foliar. Pel que fa a l'estimació dels volums instantanis, els errors absoluts acumulats per a aquest mètode representen aproximadament un 30% del valor total estimat.

**Taula 6.38.-** Comparació entre els volums de capçada estimats amb diferents tecnologies i metodologies des del costat esquerre en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference'.

	Volum tram escanejat (m <sup>3</sup> )	Volum per unitat de superfície (m <sup>3</sup> /ha)	Error respecte V <sub>3s</sub> (m <sup>3</sup> )	Error respecte V <sub>3s</sub> (%)	Error absolut acum. respecte V <sub>3s</sub> (m <sup>3</sup> )
<b>V<sub>3s</sub> esquerre</b>	82,365	11.011	-	-	-
<b>TRV<sub>US</sub></b>	151,987	19.000	69,623	84,530	69,647
<b>TRV<sub>SW1</sub></b>	88,659	11.083	6,295	7,642	29,636
<b>TRV<sub>SW2</sub></b>	66,494	8.313	-15,870	-19,268	31,856

**Taula 6.39.-** Comparació entre els volums de capçada estimats amb diferents tecnologies i metodologies des del costat dret en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference'.

	Volum tram escanejat (m <sup>3</sup> )	Volum per unitat de superfície (m <sup>3</sup> /ha)	Error respecte V <sub>3s</sub> (m <sup>3</sup> )	Error respecte V <sub>3s</sub> (%)	Error absolut acum. respecte V <sub>3s</sub> (m <sup>3</sup> )
<b>V<sub>3s</sub> dret</b>	93,792	11.011	-	-	-
<b>TRV<sub>US</sub></b>	151,987	19.000	58,196	62,048	58,208
<b>TRV<sub>SW1</sub></b>	88,659	11.083	-5,132	-5,472	25,975
<b>TRV<sub>SW2</sub></b>	66,494	8.313	-27,297	-29,104	35,815

#### 6.3.4.1.4 Caracterització d'una plantació de pomers 'Top red' amb 3 sensors

La segona plantació caracteritzada amb el sistema de caracterització basat en tres sensors d'ultrasons va ser un tram de filera de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' amb la capçada completament desenvolupada (Taula 6.4) i amb una gran frondositat (Figura 6.34). La resolució de mostratge utilitzada fou de 10 mostres/m, equivalent a la presa d'una mostra cada 10 cm en el sentit d'avanç del polvoritzador.

#### Anàlisi de la capçada

A la Figura 6.62 es mostra el diagrama de dispersió dels volums instantanis de capçada al llarg d'un tram de 50 m de filera. En aquest diagrama de dispersió es pot apreciar un alt volum de capçada amb molt poques zones sense gens de vegetació. Igual que a les altres caracteritzacions realitzades, la variabilitat total de la mostra es pot desglossar en una microvariabilitat deguda a la concentració de fullatge i brancatge a les zones del tronc i en una macrovariabilitat definida per l'envolupant de la corba de volums instantanis.

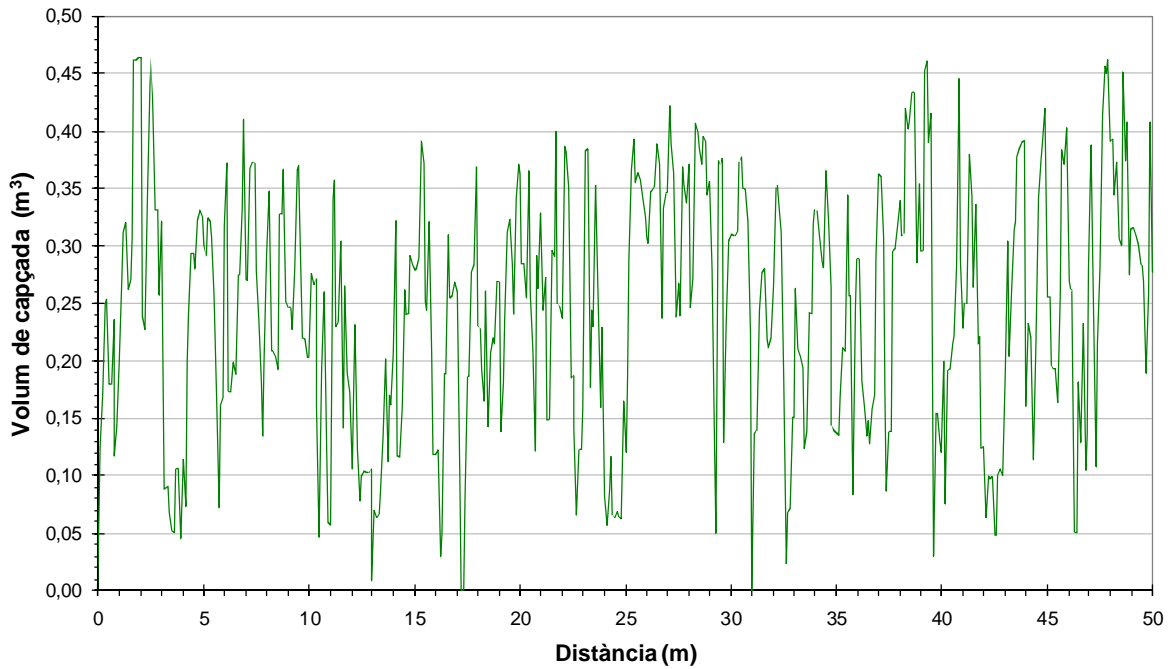


Figura 6.62.- Diagrama de dispersió dels volums instantanis de capçada estimat amb tres sensors d'ultrasons des del costat esquerre en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red'.

A la Figura 6.63 es mostren els diagrames de caixa i els histogrames dels volums de capçada instantanis estimats a partir de les passades realitzades des del costat esquerre i des del dret. El sistema de caracterització electrònica continua mostrant diferències entre els dos costats de la filera i corroborant l'alta densitat foliar de la capçada. Igual que en el cas de la plantació de perers, el costat dret presenta una lleu asimetria dels valors cap als volums instantanis elevats, probablement degut a l'orientació de la fila i el fototropisme de les plantes. Les plantacions de les dues espècies eren adjacents i les files paral·leles.

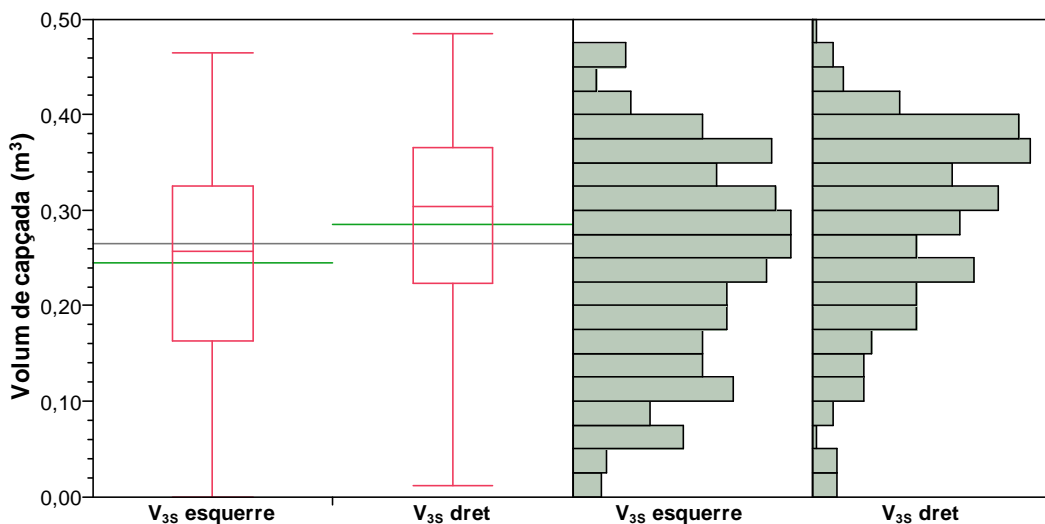


Figura 6.63.- Diagrames de caixa i histogrames de les mostres de volums instantanis de capçada realitzades amb tres sensors d'ultrasons des del costat esquerre i des del dret en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red'. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les línies horitzontals roges representen els diferents quartils de les mostres.

A la Taula 6.40 es reflecteixen els valors dels diferents estadístics descriptius calculats per a les mostres de volums instantanis. Tal com s'apuntava, les dues mitjanes presenten diferències significatives i una diferència d'uns 20 m<sup>3</sup> de capçada en termes absoluts. Els coeficients de variació presenten valors elevats similars als obtinguts a les altres plantacions de perers i pomers.

**Taula 6.40.-** Estadístics descriptius dels volums de capçada instantanis estimats amb 1 o amb 2 sensors des del costat esquerre i des del dret en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red'.

Mesura	V <sub>3S</sub> esquerre	V <sub>3S</sub> dret
Mitjana (m <sup>3</sup> )	0,245 b	0,285 a
Desviació estàndard (m <sup>3</sup> )	0,107	0,098
Error estàndard mitjana (m <sup>3</sup> )	0,005	0,004
Observacions	501	501
Volum acumulat (m <sup>3</sup> )	122,835	143,021
Variància	0,011	0,010
Asimetria	-0,151	-0,675
Apuntament	-0,757	0,045
Coef. de variació (%)	43,525	34,288

\* Lletres diferents en mitjanes impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons anàlisi de la variància.

### Comparació entre volums de capçada electrònics i manuals

Els volums de capçada estimats per al tram escanejat amb les dues metodologies electròniques i els tres mètodes manuals es relacionen a les primeres columnes de la Taula 6.41 i de la Taula 6.42. En aquesta plantació s'observa que el valor del volum total estimat electrònicament des del costat dret és similar a l'estimat amb el mètode suís per a capçades grans mentre que, per al costat esquerre, el volum electrònic es troba situat entre els dos mètodes suïssos. Això fa que el volum estimat per unitat de superfície quedi entremig dels dos valors suïssos. Pel que fa a l'estimació dels volums instantanis, els errors absoluts acumulats amb els mètodes TRV suïssos són pràcticament iguals al costat esquerre i similars als primers al costat dret. Aquests errors representen entre un 27% i 50% segons el cas. Errors encara molt elevats per a permetre una estimació dels volums instantanis.

**Taula 6.41.-** Comparació entre els volums de capçada estimats amb diferents tecnologies i metodologies des del costat esquerre en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red'.

	Volum tram escanejat (m <sup>3</sup> )	Volum per unitat de superfície (m <sup>3</sup> /ha)	Error respecte V <sub>3S</sub> (m <sup>3</sup> )	Error respecte V <sub>3S</sub> (%)	Error absolut acum. respecte V <sub>3S</sub> (m <sup>3</sup> )
V <sub>3S</sub> esquerre	122,835	13.294	-	-	-
TRV <sub>US</sub>	249,979	25.000	127,143	103,506	127,143
TRV <sub>SW1</sub>	145,821	14.583	22,985	18,712	46,873
TRV <sub>SW2</sub>	109,366	10.938	-13,470	-10,966	46,404

**Taula 6.42.-** Comparació entre els volums de capçada estimats amb diferents tecnologies i metodologies des del costat dret en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red'.

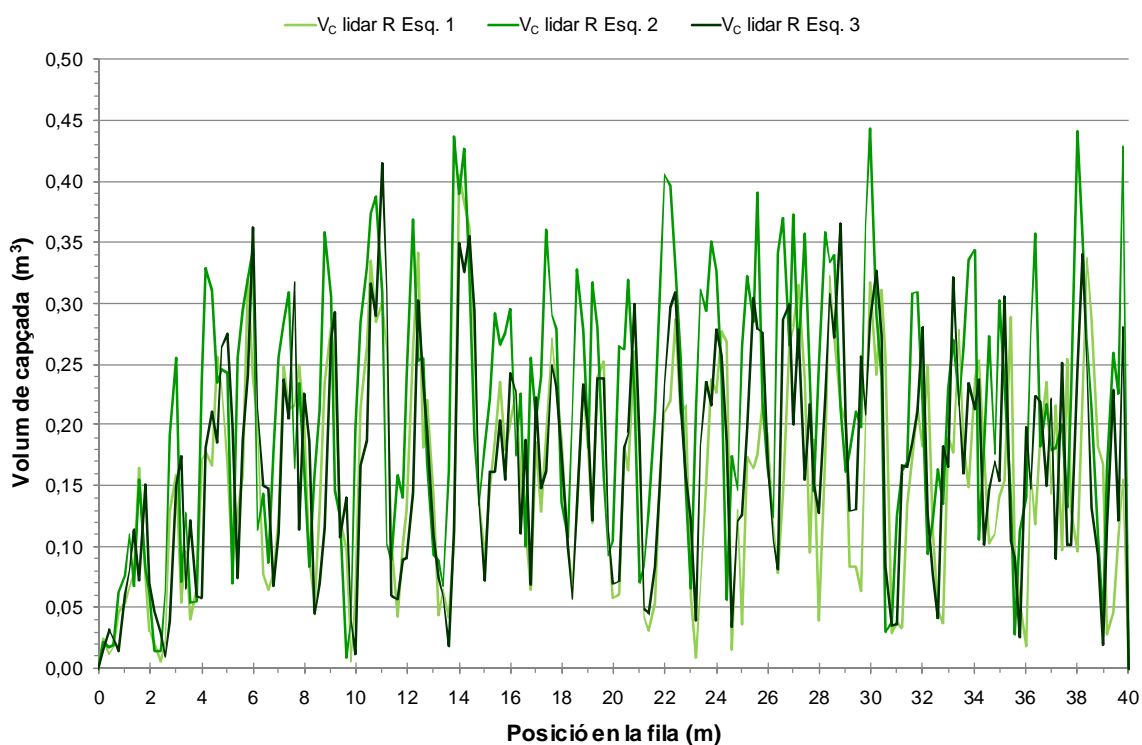
	Volum tram escanejat (m <sup>3</sup> )	Volum per unitat de superfície (m <sup>3</sup> /ha)	Error respecte V <sub>3S</sub> (m <sup>3</sup> )	Error respecte V <sub>3S</sub> (%)	Error absolut acum. respecte V <sub>3S</sub> (m <sup>3</sup> )
V <sub>3S</sub> dret	143,021	13.294	-	-	-
TRV <sub>US</sub>	249,979	25.000	106,966	74,795	106,966
TRV <sub>SW1</sub>	145,821	14.583	2,808	1,964	39,751
TRV <sub>SW2</sub>	109,366	10.938	-33,647	-23,527	50,727

### 6.3.4.2 Caracterització d'una plantació de perers 'Conference' amb sensor lidar

Amb la irrupció del sensor lidar al grup de recerca i amb l'èxit obtingut en la caracterització de les capçades de fruiters amb postprocés, es va decidir utilitzar aquesta tecnologia per a caracteritzar la capçada en temps real. Les caracteritzacions es van realitzar simultàniament amb els sensors d'ultrasons per tal de poder comparar els resultats obtinguts. En primer lloc s'analitza la repetibilitat de les estimacions realitzades amb el sensor lidar. Posteriorment es determinen els volums instantanis de capçada a partir de les estimacions de les semiseccions reals (unint tots els punts del perfil real obtingut) i a partir de les estimacions de les semiseccions suavitzades o contornejades (determinades per l'envolupant del perfil real) i es comparen entre ells. I, finalment, en tercer lloc es fa un estudi comparatiu entre els volums obtinguts amb els sensors d'ultrasons, els volums obtinguts a partir de les semiseccions i els volums obtinguts a partir de les semiseccions contornejades. Per limitacions tècniques relacionades amb la velocitat de transmissió de les dades del sensor a la unitat de processament, la resolució de mostratge utilitzada fou de 5 mostres/m, equivalent a la presa d'una mostra cada 20 cm en el sentit d'avanç del polvoritzador.

#### 6.3.4.2.1 Anàlisi de la capçada i de la repetibilitat dels sensors

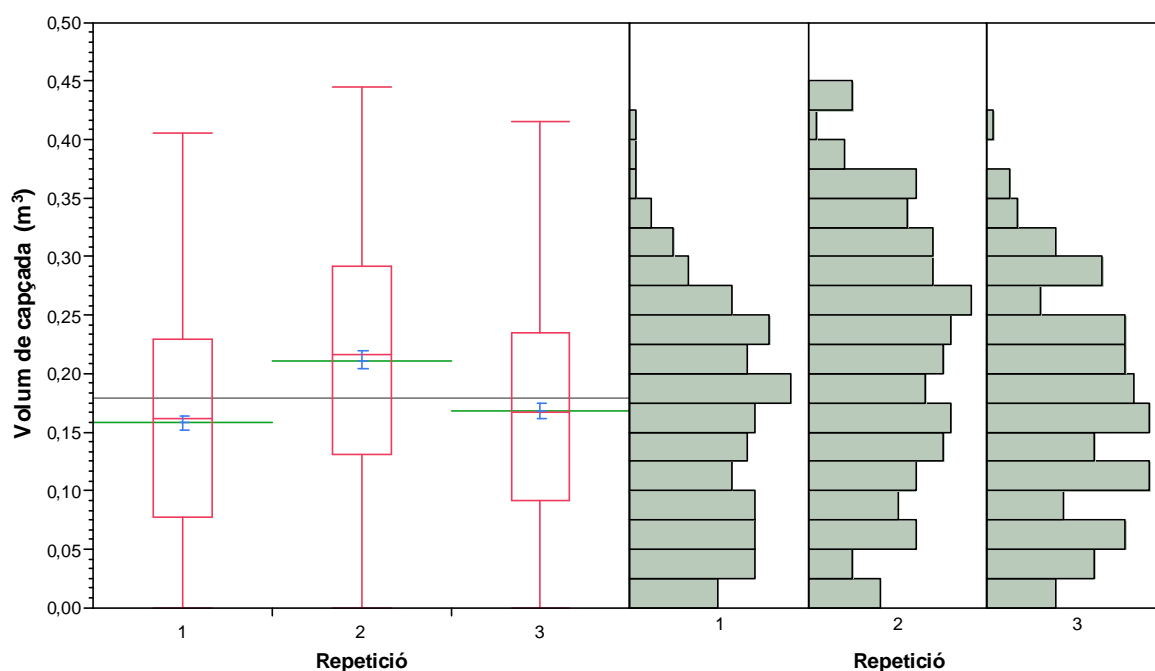
A la Figura 6.64 es poden observar els diagrames de dispersió dels volums instantanis a partir de les semiseccions reals de les tres repeticions realitzades amb el sensor lidar en un tram de 40 m. Les corbes queden ben solapades des del punt de vista espacial però s'observa que els valors obtinguts en la repetició 2 són superiors a la resta en molts punts.



**Figura 6.64.-** Diagrama de dispersió de les repeticions per a la determinació dels volums instantanis de capçada amb el sensor lidar des del costat esquerre en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference'.



Aquestes diferències entre repeticions van ser degudes, probablement, a que el sistema de caracterització no va seguir exactament el mateix traç durant la repetició 2 que en les altres dues. A la Figura 6.65 es poden observar els diagrames de caixa i els histogrames per a cadascuna de les repeticions i en ells s'aprecia que la mitjana de la repetició 2 és distància considerablement de les altres dues. Dels histogrames es desprèn que la capçada escanejada era bastant frondosa ja que s'observa un freqüència relativament baixa de valors nuls o propers a zero.



**Figura 6.65.-** Diagrames de caixa i histogrames de les repeticions per a la determinació dels volums instantanis de capçada amb el sensor lidar des del costat esquerre en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference'. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les línies horitzontals roges representen els diferents quartils de les mostres.

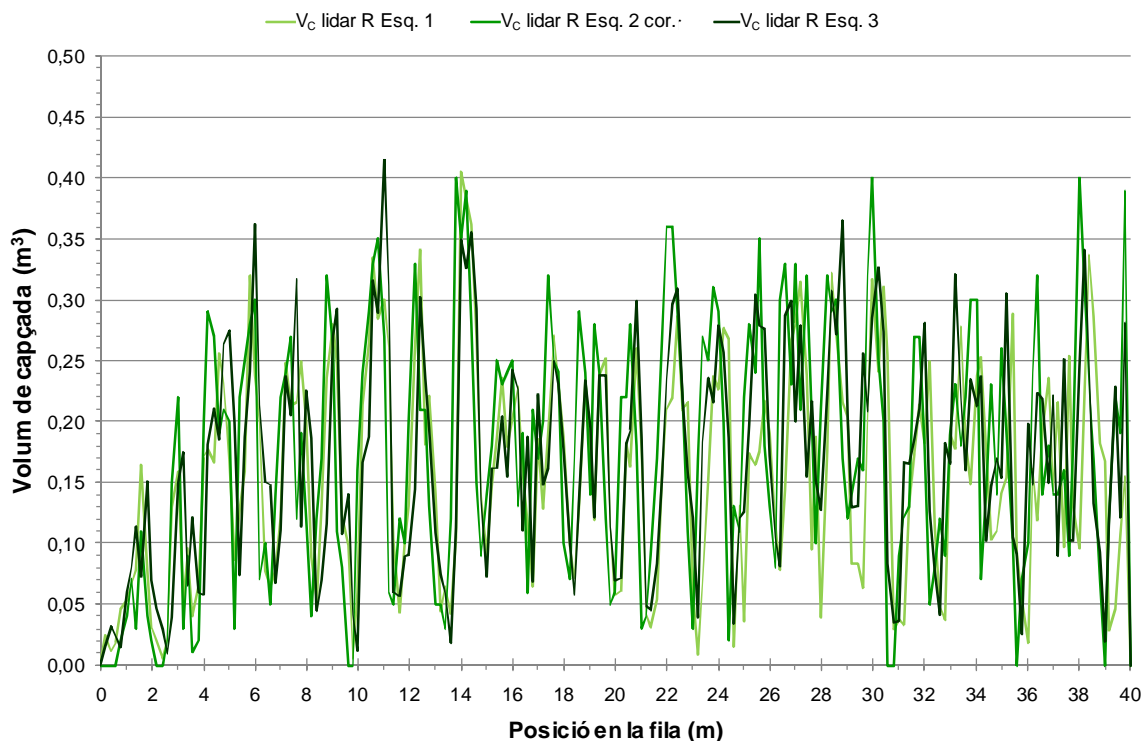
A la Taula 6.43 es mostren els resultats de la prova de Tukey-Kramer donat que l'anàlisi de la variància va concloure amb el rebuig de la hipòtesi nul·la que totes tres mitjanes pertanyien a la mateixa població. Abans de continuar l'anàlisi dels estadístics descriptius del tram de capçada escanejat, es va voler contrastar la hipòtesi que les diferències observades en les mitjanes eren conseqüència de desviacions respecte al traç central en la repetició 2 i, per tant, no atribuïbles al sensor.

**Taula 6.43.-** Estadístics descriptius de les diferents repeticions per a la determinació dels volums instantanis de capçada amb el sensor lidar des del costat esquerre en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference'.

REPETICIÓ	1	2	3
Observacions	201	201	201
Volum de capçada total (m <sup>3</sup> )	31,733	42,536	33,742
Mitjana (m <sup>3</sup> )	0,158 b	0,212 a	0,168 b
Desviació estàndard (m <sup>3</sup> )	0,091	0,107	0,091
Error estàndard de la mitjana (m <sup>3</sup> )	0,006	0,008	0,006
Variància	0,008	0,011	0,008
Asimetria	0,200	-0,001	0,177
Apuntament	-0,714	-0,785	-0,750
Coef. de variació (%)	57,371	50,449	54,426

\* Lletres diferents en mitjanes impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.

Per tal de validar la hipòtesi es van modificar les dades originals del sensor obtingudes en la repetició 2 per a simular que el traç seguit era 10 cm més proper a la capçada que el que en realitat fou. Les noves dades de la repetició 2 es mostren a la Figura 6.66 juntament amb les altres dades originals.



**Figura 6.66.-** Diagrama de dispersió de les repeticions per a la determinació dels volums instantanis de capçada amb el sensor lidar des del costat esquerre en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' amb la repetició 2 corregida.

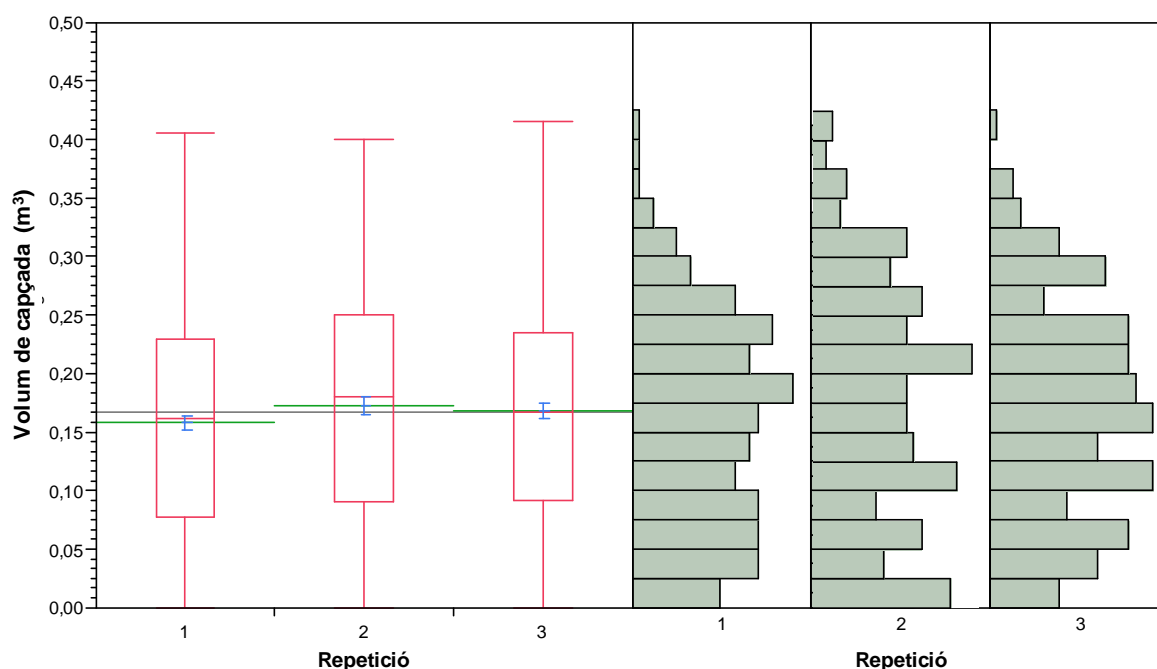
Al nou diagrama de dispersió s'observa que, després de la correcció de la repetició 2, el grau de coincidència és molt major. A la Taula 6.44 es mostren els resultats dels estadístics descriptius i el resultat de l'anàlisi de la variància, que indica que es pot acceptar la hipòtesi nul·la de la igualtat de les mitjanes. Els coeficients de variació són elevats degut a l'elevada variabilitat de les mostres. A la Figura 6.66 també s'aprecia clarament una alta variabilitat que, com s'ha comentat anteriorment, es pot desglossar en la microvariabilitat deguda a la concentració de vegetació a les zones dels troncs i en la macrovariabilitat fruit de les diferències de la capçada al llarg dels 40 m escanejats.

**Taula 6.44.-** Estadístics descriptius de les diferents repeticions per a la determinació dels volums instantanis de capçada amb el sensor lidar des del costat esquerre en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' amb la repetició 2 corregida.

REPETICIÓ	1	2 corregida	3
Observacions	201	201	201
Volum de capçada total (m³)	31,733	34,69	33,742
Mitjana (m³)	0,158 a	0,173 a	0,168 a
Desviació estàndard (m³)	0,091	0,105	0,091
Error estàndard de la mitjana (m³)	0,006	0,007	0,006
Variància	0,008	0,011	0,008
Asimetria	0,200	0,083	0,177
Apuntament	-0,714	-0,875	-0,750
Coef. de variació (%)	57,371	60,566	54,426

\* Lletres diferents en mitjanes impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons anàlisi de la variància.

A la Figura 6.67, es mostren els diagrames de caixa i els histogrames dels volums de capçada de les tres repeticions. Malgrat que estadísticament es pot considerar que les tres mostres representen la mateixa capçada, tant en els diagrames de caixa com en els histogrames es poden apreciar certes diferències que fan que les mostres no siguin exactament idèntiques. Tot i això, aquestes diferències són més atribuïbles a l'execució de les caracteritzacions que a deficiències dels sensors en referència a la seva repetibilitat.



**Figura 6.67.-** Diagrames de caixa i histogrames de les repeticions per a la determinació dels volums instantanis de capçada amb el sensor lidar des del costat esquerre en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' amb la repetició 2 corregida. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les línies horitzontals roges representen els diferents quartils de les mostres.

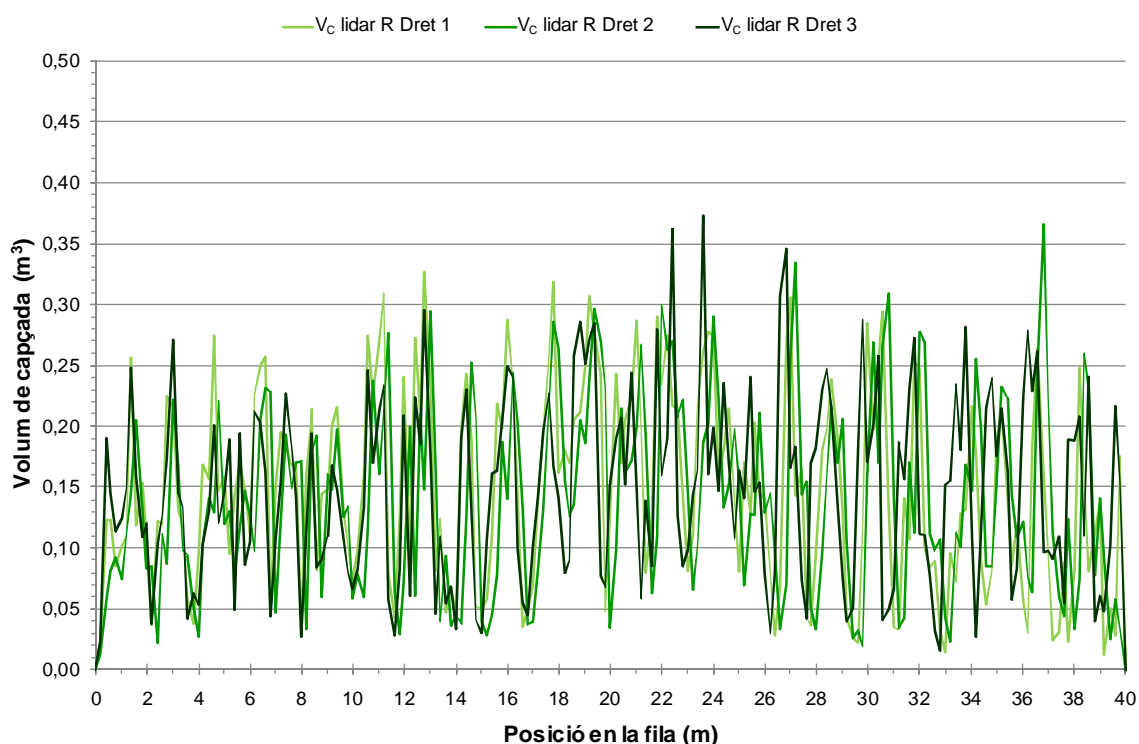
Pel que fa a l'estimació dels volums de la meitat longitudinal de la capçada estimada des del costat dret, a la Taula 6.45 es mostren els estadístics descriptius de les tres mostres corresponents a les repeticions realitzades. L'anàlisi de la variància realitzat va concloure que no es podia rebutjar la hipòtesi nul·la i, per tant, es va acceptar que les tres repeticions representaven la mateixa població de volums instantanis de capçada.

**Taula 6.45.-** Estadístics descriptius de les diferents repeticions per a la determinació dels volums instantanis de capçada amb el sensor lidar des del costat dret en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference'.

REPETICIÓ	1	2	3
<b>Observacions</b>	201	201	201
<b>Volum de capçada total (m³)</b>	29,817	28,098	29,497
<b>Mitjana (m³)</b>	0,148 a	0,140 a	0,147 a
<b>Desviació estàndard (m³)</b>	0,081	0,079	0,077
<b>Error estàndard de la mitjana (m³)</b>	0,006	0,006	0,005
<b>Variància</b>	0,007	0,006	0,006
<b>Asimetria</b>	0,170	0,358	0,328
<b>Apuntament</b>	-0,925	-0,635	-0,408
<b>Coef. de variació (%)</b>	54,351	56,435	52,467

\* Lletres diferents en mitjanes impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons anàlisi de la variància.

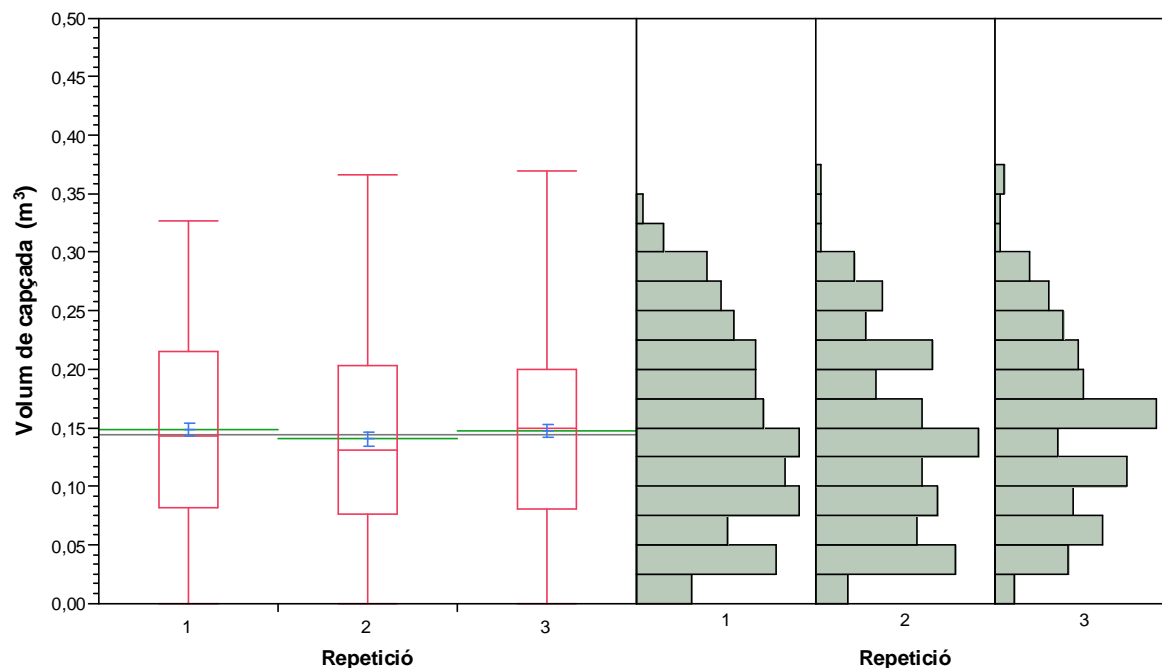
A la Figura 6.68 es pot visualitzar el diagrama de distribució de les tres repeticions per a l'estimació dels volums de capçada instantanis a partir de les semiseccions reals, no suavitzades, escanejades amb el sensor lidar. Tot i que els valors numèrics són bastant coincidents, cap a la part final del tram hi ha un cert desfasament espacial dels pics i les valls de les corbes degut, amb tota probabilitat, a variacions en la velocitat d'avanç del tractor. En el tram estudiat, aquest costat dret presenta menys vegetació que l'estimada respecte al costat esquerre i s'aprecia que, tal com corrobora la Taula 6.45, una mica menys de variabilitat. Al diagrama es fa palesa la microvariabilitat dels volums instantanis així com la macrovariabilitat marcada per l'envolupant de les corbes que, sense se molt exagerada, sí provoca que aquest envolupant imaginària no sigui completament constant al llarg dels 40 m.



**Figura 6.68.-** Diagrama de dispersió de les repeticions per a la determinació dels volums instantanis de capçada amb el sensor lidar des del costat dret en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference'.

A la Figura 6.69 es representen els diagrames de caixa i els histogrames de les mostres obtingudes. Cal dir que, durant l'anàlisi de la repetibilitat de les lectures del sensors des del costat dret, no ha calgut corregir cap de les mostres donat que, tant el solapament de les corbes individuals com l'anàlisi de les mitjanes, indicà que aquestes eren significativament semblants en un grau tal que no es podia rebutjar la hipòtesi nul·la plantejada. Els histogrames mostrats a la figura també presenten una certa similitud que acaba de corroborar que les tres mostres obtingudes representen dades de la mateixa població.

Tot i que les repeticions no són exactament idèntiques, el grau de similitud és tal que es pot afirmar que el sensor és capaç d'obtenir valors semblants quan escaneja repetidament una capçada en condicions similars de treball.



**Figura 6.69.-** Diagrammes de caixa i histogrames de les repeticions per a la determinació dels volums instantanis de capçada amb el sensor lidar des del costat dret en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference'. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les línies horitzontals roges representen els diferents quartils de les mostres.

#### 6.3.4.2.2 Comparació entre volums obtinguts de semiseccions reals i contornejades

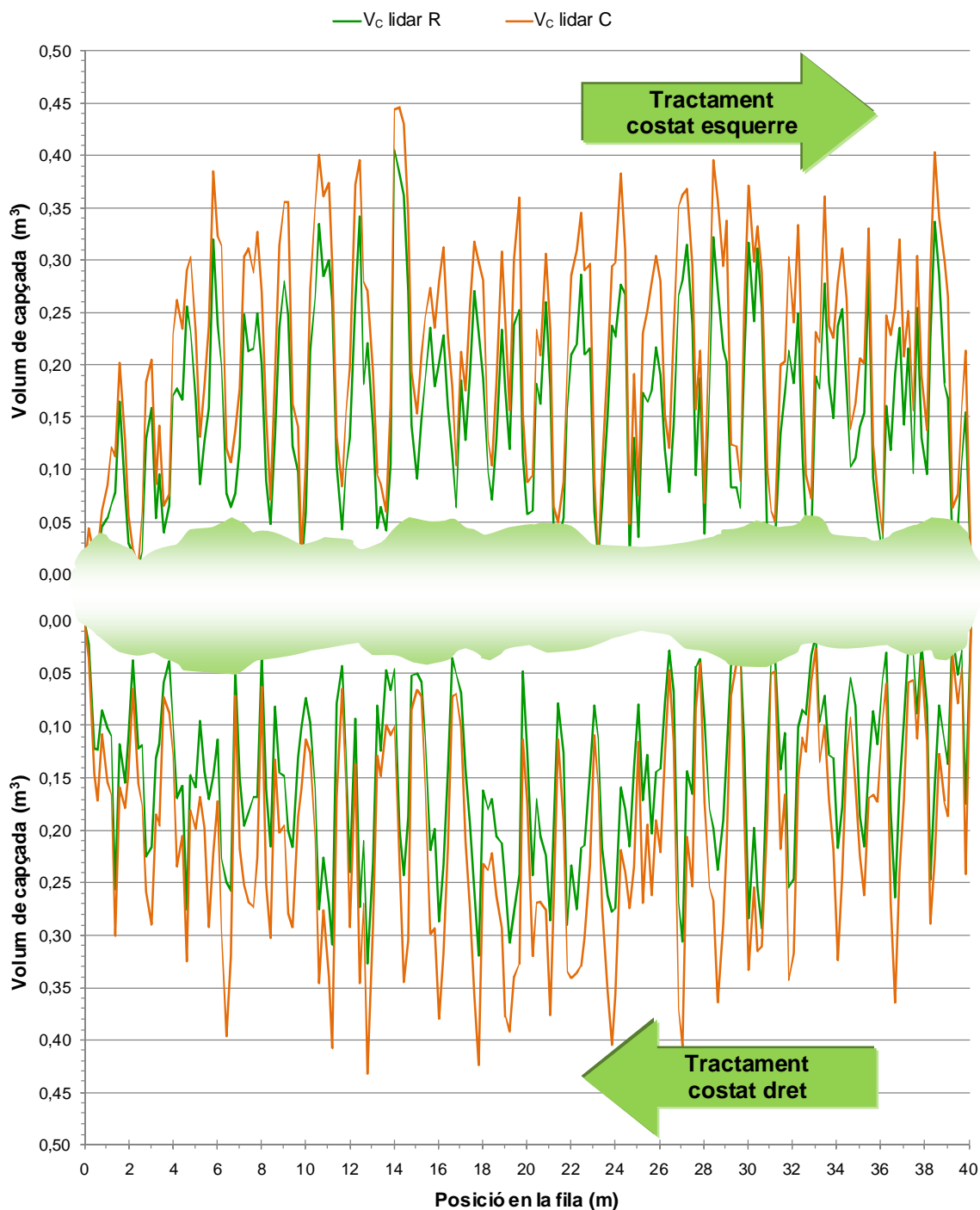
Abans de procedir a l'anàlisi, recordar allò descrit en l'aparat 6.2.6 Algorismes d'estimació del volum de capçada en referència a les semiseccions estimades amb el sensor lidar, on s'explicava la diferència entre el volum de capçada real (R) i el contornejat o suavitzat (C). El primer és el volum de capçada estimat a partir de les semiseccions transversals reals de la capçada mentre que el segon determina el volum de capçada a partir d'una semisecció alterada construïda a partir de la unió dels punts de semiampçada màxima de la semisecció real, a mode d'envolupant (Figura 6.27.c).

Donat que anteriorment s'ha verificat la repetibilitat del sensor, la comparació realitzada en aquest apartat es duu a terme a partir de les dades de la repetició 1. A la Taula 6.46 es relacionen els valors dels estadístics descriptius calculats sobre les mostres corresponents a les dues caracteritzacions realitzades des del costat esquerre i les realitzades des del costat dret.

**Taula 6.46.-** Estadístics descriptius dels volums instantanis de capçada estimats amb el sensor lidar a partir de les semiseccions reals (R) i de les semiseccions reals contornejades (C) des del costat esquerre i des del dret en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference'.

MESURA	Lidar R Esq. 1	Lidar C Esq. 1	Lidar R Dret 1	Lidar C Dret 1
Observacions	201	201	201	201
Volum de capçada total (m <sup>3</sup> )	31,733	42,748	29,817	41,515
Mitjana (m <sup>3</sup> )	0,158	0,213	0,148	0,207
Desviació estàndard (m <sup>3</sup> )	0,091	0,107	0,081	0,102
Error estàndard mitjana (m <sup>3</sup> )	0,006	0,008	0,006	0,007
Variància	0,008	0,011	0,007	0,010
Asimetria	0,200	-0,072	0,170	0,059
Apuntament	-0,714	-0,921	-0,925	-0,850
Coef. de variació (%)	57,371	50,146	54,351	49,176

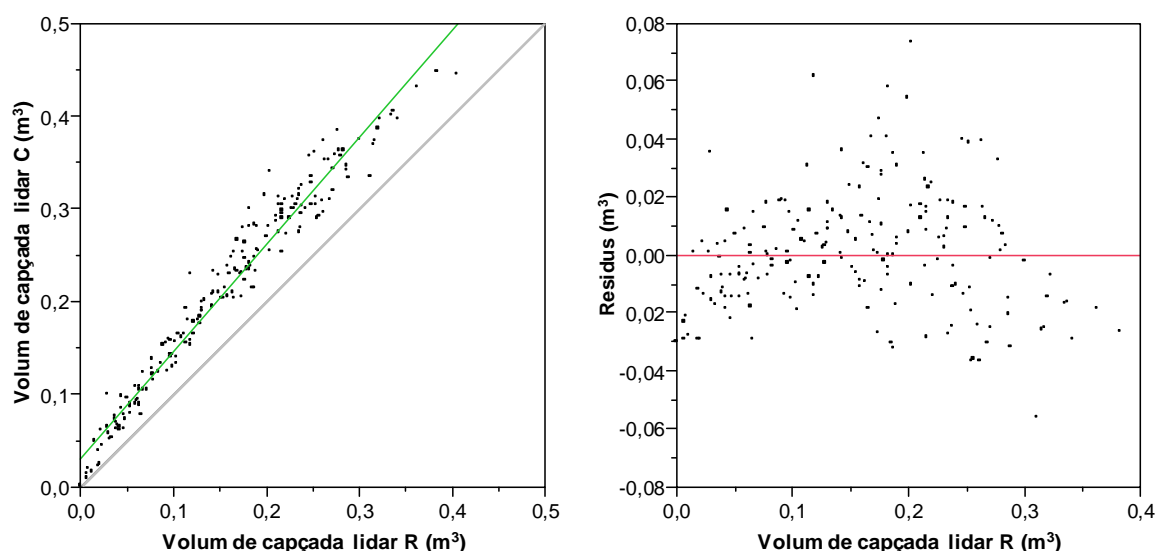
Els valors de volum contornejat són més elevats i presenten menys variabilitat que les mesures realitzades a partir de volums reals, com no podia ser d'altra manera. Els resultats de l'anàlisi de variància realitzat per a l'agrupació de les mitjanes es presenten més endavant, juntament amb els resultats de l'anàlisi comparativa amb els sensors d'ultrasons. A la Figura 6.70 es poden veure els diagrames de distribució de les quatre mesures realitzades, al costat esquerre i al dret.



**Figura 6.70.-** Diagrama de dispersió de les estimacions dels volums instantanis de capçada realitzades amb el sensor lidar a partir de semiseccions reals (R) i de semiseccions suavitzades o contornejades (C) des del costat esquerre i des del dret en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference'.

El fet que la resolució de mostratge fos de 20 cm/mostra fa que les corbes no presentin el detall d'assajos anteriors realitzats amb sensors d'ultrasons amb resolucions més altes però, tant en les corbes del costat esquerre com en les del costat dret, la microvariabilitat i la macrovariabilitat típiques d'aquest tipus de capçades s'aprecien clarament.

Per tal de detectar una possible relació lineal determinista entre les dues metodologies de quantificació dels volums instantanis, es va ajustar un model de regressió lineal simple entre les parelles de dades de volums reals i de volums contornejats estimats des del costat esquerre i des del dret. A la Figura 6.71 s'observen el diagrama de dispersió i el de residus per als volums des del costat esquerre. Resulta evident que hi ha una certa relació lineal i que els residus no presenten una estructuració definida. Per aquest motiu es va ajustar una recta de regressió amb els resultats que es mostren a la Taula 6.47. Els coeficients d'ajust donen valors relativament pròxims a la unitat, fet que certifica un alt grau d'associació entre les variables. Els paràmetres de la recta d'ajust indiquen un punt d'intersecció pràcticament en l'origen de coordenades i un pendent que determina els valors del volum de capçada contornejat amb una majoració del 15,5% respecte als volums reals.



**Figura 6.71.-** Diagrama de dispersió dels volums instantanis de capçada de capçada estimats amb el sensor lidar des del costat esquerre en la repetició 1 a partir de les semiseccions reals (R) i de les semiseccions reals contornejades (C) (esquerra) i diagrama de residus dels volums instantanis contornejats a partir reals (dreta) en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference'. La línia gris representa la bisectriu del quadrant.

**Taula 6.47.-** Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades de volums de capçada instantanis de capçada estimats des del costat esquerre en la repetició 1 amb el sensor lidar a partir de les semiseccions reals (R) i de les semiseccions reals contornejades (C) en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference'.

Paràmetre	Valor	Terme	Estimació	Error est.	Estadístic t	Prob >  t
Coef. determinació ( $R^2$ )	0,962	Intersecció	0,030	0,003	10,280	< 0,0001
Coef. correlació (r)	0,981	Pendent	1,155	0,016	71,190	< 0,0001
AEQM* ( $m^3$ )	0,021					
Observacions	201					

\* Arrel quadrada de l'error quadràtic mitjà.

Pel que fa a la determinació des del costat dret, els diagrames de dispersió i de residus són molt similars als mostrats a la Figura 6.71 i, per tant, no s'han representat. El diagrama de residus no

presentava cap distribució estructurada i, per aquest motiu, es va procedir a determinar els paràmetres del model. A la Taula 6.48 es mostra un resum del model de regressió ajustat, que també indica un alt grau de correlació entre les variables. El punt d'intersecció de la recta d'ajust també és proper a l'origen de coordenades i el pendent és una mica major, manifestant una majoració del volum contornejat respecte al volum real de prop del 23%.

**Taula 6.48.-** Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades de volums de capçada instantanis de capçada estimats des del costat dret en la repetició 1 amb el sensor lidar a partir de les semiseccions reals (R) i de les semiseccions reals contornejades (C) en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference'.

Paràmetre	Valor	Terme	Estimació	Error est.	Estadístic t	Prob >  t
Coef. determinació ( $R^2$ )	0,957	Intersecció	0,024	0,003	7,570	< 0,0001
Coef. correlació (r)	0,978	Pendent	1,232	0,019	66,230	< 0,0001
AEQM* (m <sup>3</sup> )	0,021					
Observacions	201					

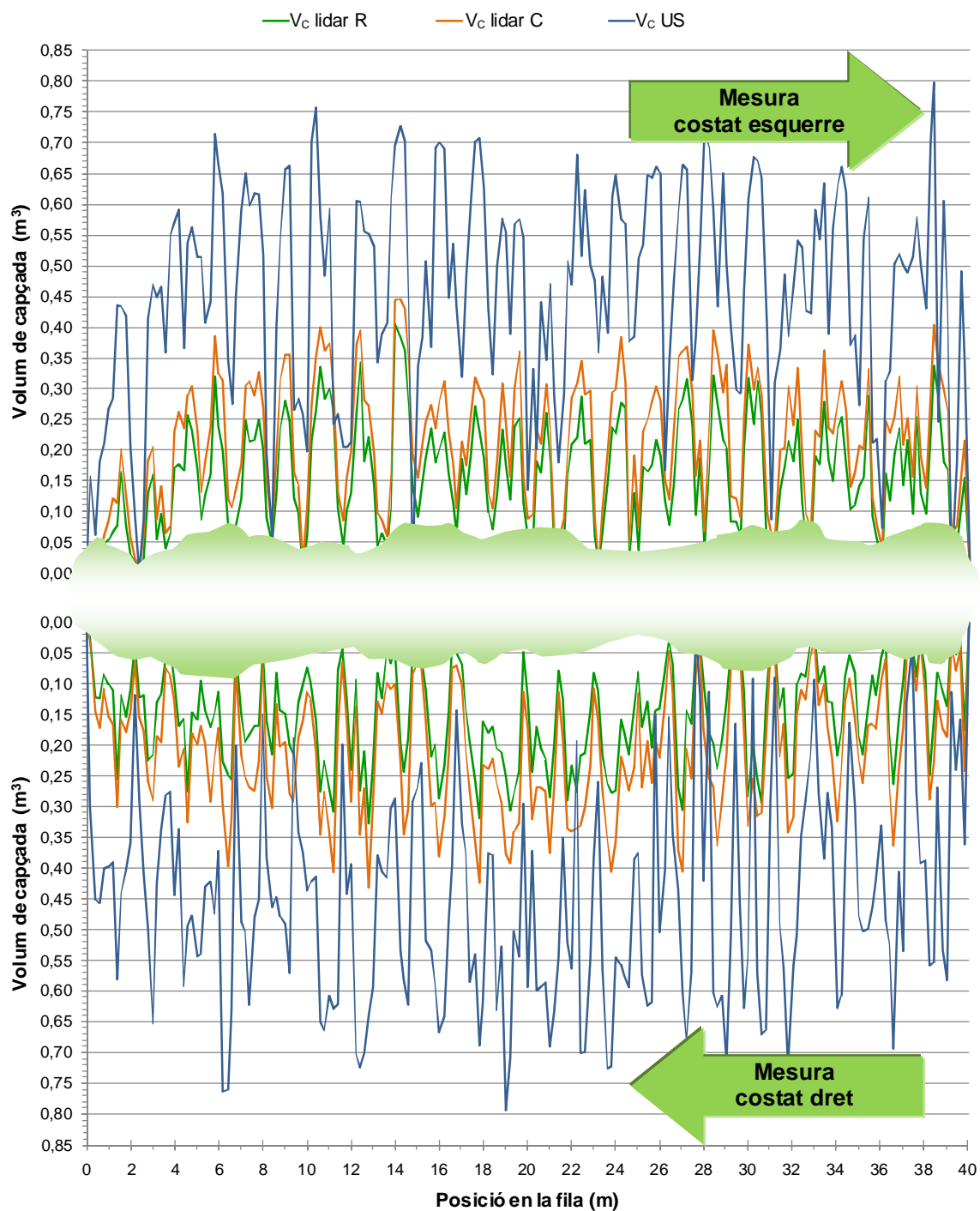
\* Arrel quadrada de l'error quadràtic mitjà.

Malgrat que la relació entre les mostres de dades sembla bastant sòlida, continua essent interessant determinar el volum contornejat a partir de les semiseccions contornejades que, al seu temps, es determinen a partir de les semiseccions reals. En el cas de la caracterització de capçades en temps real, és interessant saber el valor del volum instantani però també com es distribueix aquest volum en alçada. Aquesta informació només es pot extreure de la determinació de les semiseccions contornejades i no simplement aplicant un coeficient de majoració al volum real instantani.

### 6.3.4.3 Caracterització de capçades amb sensors d'ultrasons i lidar

El darrer assaig que es va realitzar fou la comparació entre els volums instantanis i totals obtinguts amb els sensors d'ultrasons i amb el sensor lidar a partir de les semiseccions reals o de les semiseccions contornejades. Les dades dels dos sensors es van prendre simultàniament en la plantació de perers 'Conference' durant la caracterització descrita a l'apartat anterior per a validar el sensor lidar. A la Figura 6.72 es mostren els diagrames de dispersió dels volums instantanis de capçada estimats des del costat esquerre (diagrama superior) i des del costat dret (diagrama inferior). Les dades del sensor lidar són exactament les mateixes que a la Figura 6.70, i sobre elles s'ha superposat la mostra corresponent a les dades obtingudes amb el sistema de caracterització format per tres sensors d'ultrasons. Com es pot apreciar en els diagrames, els volums instantanis estimats pels sensors d'ultrasons són molt més elevats que els obtinguts amb el sensor lidar a partir de semiseccions contornejades i a partir de semiseccions reals, respectivament. Deixant de banda la sobreestimació del volums, la tendència de les tres corbes és molt similar. Es continuen manifestant els fenòmens de microvariabilitat i macrovariabilitat comentats a les altres caracteritzacions i és interessant destacar que, al diagrama de dispersió corresponent al costat esquerre, el sistema basat en sensors d'ultrasons estima tres volums instantanis nuls i el basat en el lidar, no. Aquest fet és degut a l'estimació que fa el sistema d'ultrasons a partir de tres lectures puntuals. Si es dona el cas que cap dels tres sensors detecta vegetació a la seva zona, però sí que n'hi ha en altres punts de la semisecció transversal, el sistema retornarà un volum instantani nul quan, en realitat, no seria així. Cap de les dues metodologies basades en el sensor lidar va estimar un volum de capçada instantani nul en els tres punts esmentats.





**Figura 6.72.-** Diagrama de dispersió de les estimacions de volum de capçada realitzades amb el sensor lidar a partir de semiseccions reals (R) i de semiseccions suavitzades o contornejades (C) i amb els sensors d'ultrasons (US) des del costat esquerre i des del dret en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference'.

A la Taula 6.49 es mostren alguns estadístics descriptius de les mostres. Com es pot apreciar, la sobreestimació dels volums totals així com de les mitjanes dels volums instantanis que comporta la tecnologia basada en sensors d'ultrasons és considerable i les mitjanes són significativament diferents per cada tecnologia o metodologia emprada. Un fet destacable és la variabilitat estimada, expressada amb el coeficient de variació: com més ajustat és el volum detectat més alta és la variabilitat de la mostra i viceversa. En la fructicultura de precisió, és precisament la variabilitat de les variables el que més interessa ja que aquesta és conseqüència de diferències en la distribució

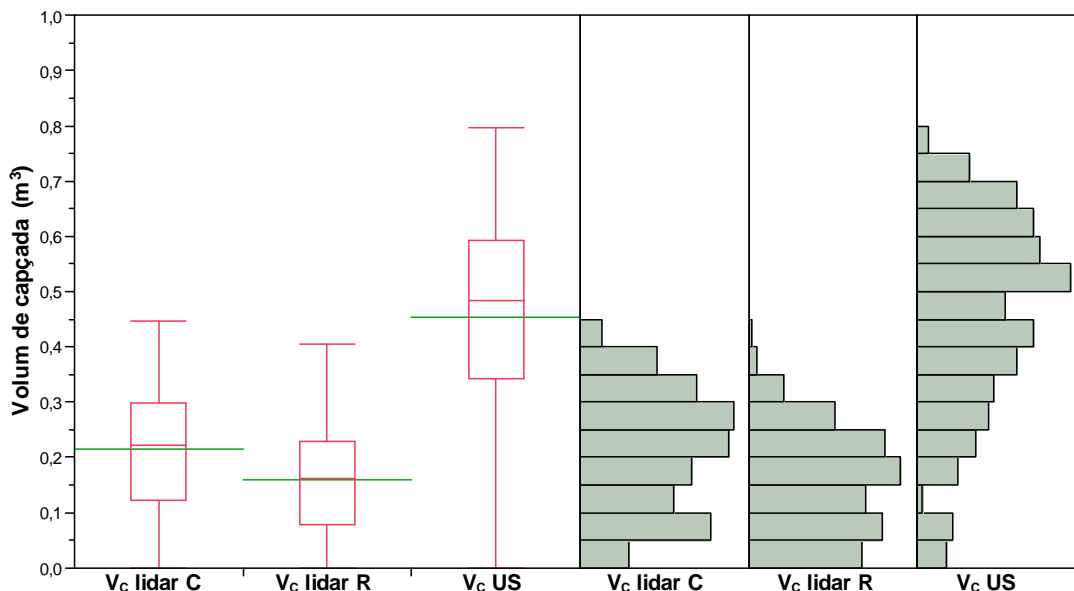
espacial dels paràmetres i aquest fet és el que permet la implantació d'estratègies de maneig diferenciades. Aquestes diferències en la variabilitat entre els sensors d'ultrasons i lidar pot ser atribuïble a diferències en la superfície d'impacte entre sensors. El con creat pel tren d'ones ultrasòniques té una obertura de 5° (Taula 6.1) mentre que el feix làser té una dispersió d'aproximadament 0,36° (Taula 6.2). Aquest fet provoca que l'impacte dels ultrasons sobre un objectiu situat a 2 m tingui un diàmetre de 17,5 cm, mentre que l'impacte del feix làser tingui un diàmetre de 2,5 cm. Això té com a conseqüència que el sensor lidar té molta més capacitat de penetració en la capçada i pot, per tant, detectar més variabilitat que no pas els sensors d'ultrasons.

**Taula 6.49.-** Comparació de les mitjanes dels volums instantanis de capçada estimats amb el sensor lidar, a partir de les semiseccions reals (R) i de les semiseccions reals contornejades (C), i dels sensors d'ultrasons des del costat esquerre en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference'.

Metodologia emprada	Observacions	Volum (m³)	Mitjana (m³)	CV (%)
Ultrasons costat esquerre	201	91,049	0,453 a	39,394
Lidar C costat esquerre	201	42,748	0,213 b	50,146
Lidar R costat esquerre	201	31,733	0,158 c	57,371
Ultrasons costat dret	201	90,989	0,453 a	38,497
Lidar C costat dret	201	41,515	0,207 b	49,176
Lidar R costat dret	201	29,817	0,148 c	54,351

\* Lletres diferents en mitjanes impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.

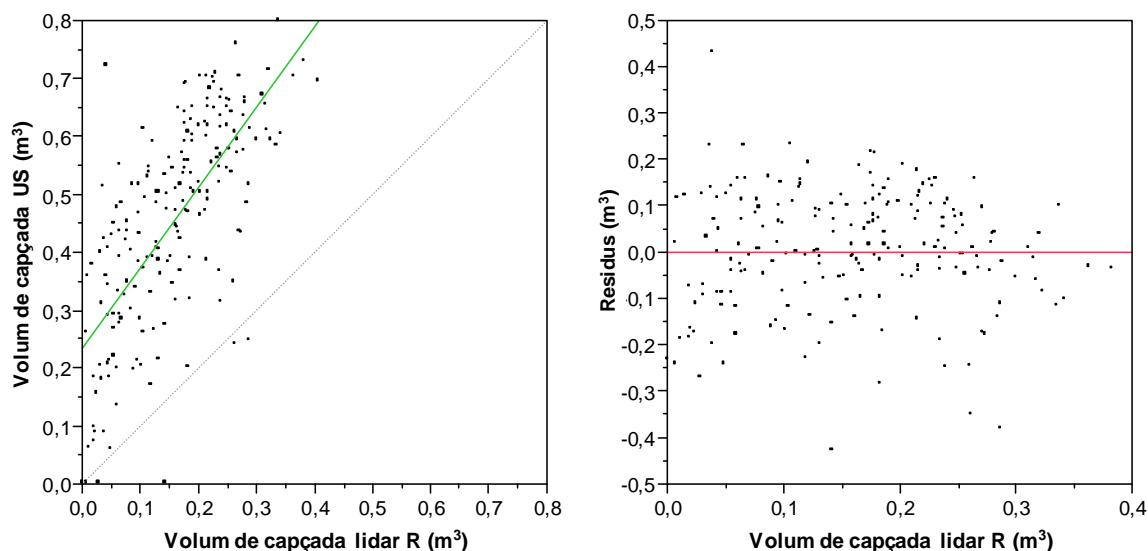
A la Figura 6.73 es mostren els diagrames de caixa i els histogrames de les tres mostres obtingudes amb tecnologies i metodologies diferents. En els primers, s'observa clarament el comportament de les mostres de volums instantanis de capçada mentre que els histogrames segueixen distribucions similars encara que desplaçades en funció dels valors obtinguts.



**Figura 6.73.-** Diagrames de caixa i histogrames dels volums instantanis de capçada estimats amb el sensor lidar, a partir de les semiseccions reals (R) i contornejades (C), i amb els sensors d'ultrasons des del costat esquerre en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference'.

Per tal de detectar una possible relació lineal determinista entre els volums estimats pel sensor lidar a partir de les semiamples reals i els volums estimats amb els sensors d'ultrasons, es va ajustar un model de regressió lineal simple a les mostres obtingudes des del costat esquerre i des

del costat dret. El resultat es pot apreciar a la Figura 6.74, on al diagrama de dispersió s'aprecia una certa relació entre les variables però amb una dispersió elevada. Com que l'ajust de la recta no va comportar una estructuració dels residus es va analitzar la bondat de l'ajust del model a partir dels paràmetres llistats a la Taula 6.50. En ella es pot observar com els coeficients de correlació i determinació no obtenen valors elevats, indicant una certa correlació entre les variables però no molt determinista.



**Figura 6.74.-** Diagrama de dispersió dels volums instantanis de capçada estimats amb el sensor lidar a partir de les semiseccions reals (R) i amb els sensors d'ultrasons des del costat esquerre en la repetició 1 (esquerra) i diagrama de residus dels volums instantanis estimats (dreta) en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference'. La línia gris representa la bisectriu del quadrant.

**Taula 6.50.-** Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades de volums de capçada instantanis de capçada estimats amb el sensor lidar a partir de les semiseccions reals (R) i amb els sensors d'ultrasons des del costat esquerre en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference'.

Paràmetre	Valor	Terme	Estimació	Error est.	Estadístic t	Prob >  t
Coef. determinació ( $R^2$ )	0,492	Intersecció	0,235	0,018	12,970	< 0,0001
Coef. correlació (r)	0,701	Pendent	1,382	0,100	13,880	< 0,0001
AEQM* ( $m^3$ )	0,128					
Observacions	201					

\* Arrel quadrada de l'error quadràtic mitjà.

El resultat obtingut pel model ajustat a les mostres obtingudes des del costat dret és similar al del costat esquerre, amb uns coeficients d'ajust indicant una certa relació entre les variables que no explica completament la variabilitat de les mostres (Taula 6.51). Aquest fet comporta que no es pugui predir satisfactòriament el volum que es podria obtenir amb el sensor lidar a partir de les mesures dels sensors d'ultrasons i viceversa.

**Taula 6.51.-** Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades de volums de capçada instantanis de capçada estimats amb el sensor lidar a partir de les semiseccions reals (R) i amb els sensors d'ultrasons des del costat dret en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference'.

Paràmetre	Valor	Terme	Estimació	Error est.	Estadístic t	Prob >  t
Coef. determinació ( $R^2$ )	0,480	Intersecció	0,230	0,019	12,360	< 0,0001
Coef. correlació (r)	0,693	Pendent	1,498	0,110	13,560	< 0,0001
AEQM* ( $m^3$ )	0,126					
Observacions	201					

\* Arrel quadrada de l'error quadràtic mitjà.

## 6.4 Conclusions particulars referents a la caracterització de la capçada

---

En condicions de laboratori, s'ha verificat que el fons d'escala útil dels sensors ha de ser inferior als 300 cm indicats pel fabricant degut a que en aquesta zona es produeix una alta variabilitat de les lectures que afegeix imprecisió al sistema. Per aquest motiu, en la funció de calibratge s'ha obviat aquesta zona del rang donat que en l'aplicació en camp les distàncies detectades seran sempre inferiors.

Les petites diferències obtingudes entre les funcions de calibratge dels diferents sensors (al voltant d'1 cm), permeten concloure que és possible utilitzar una funció de calibratge única (Equació 6.12).



En condicions de camp, s'ha demostrat que l'ajust ( $R^2=0,98$ ) de la funció de calibratge (Equació 6.15), tot i ser elevat, és lleugerament inferior a l'ajust aconseguït en laboratori ( $R^2=0,99$ ) degut a la variabilitat que introdueix la superfície de la capçada. La separació entre sensors ha de ser igual o superior a 60 cm per tal d'evitar interferències en les seves estimacions.



La caracterització de la capçada amb diferents resolucions horitzontals de mostratge no comporta diferències significatives en el valor mitjà dels semivolums de capçada instantanis estimats. Tanmateix, com menor és la resolució de mostratge més afectades es veuen les estimacions dels semivolums instantanis. En aquesta tesi s'opta per una resolució mínima de 20 cm/mostra.



El fet que el sistema de caracterització de la capçada no segueixi exactament la mateixa traça pot comportar diferències significatives en el volum de capçada estimat. Tanmateix, els sistemes d'ajuda al guiatge poden resoldre aquesta problemàtica.



L'increment de la resolució vertical de mostratge aconseguït augmentant el nombre de sensors d'ultrasons en el pla vertical ha comportat diferències significatives en l'estimació del volum de capçada en la majoria dels casos. Tanmateix, la conformació de la capçada afecta a la magnitud d'aquestes diferències arribant a ser possible que sigui indistint emprar un o dos sensors d'ultrasons.



La utilització d'un sol sensor amb tecnologia lidar millora significativament la resolució vertical de mostratge aconseguïda. Els resultats obtinguts mostren que els volums de capçada obtinguts amb un sensor lidar són molt menors que els obtinguts amb tres sensors d'ultrasons, amb diferències de fins el 67%.

La variabilitat estimada amb el sensor lidar és més elevada, indicant que els sensors lidar són més capaços de detectar petites diferències en les capçades que passen desapercebudes als sensors d'ultrasons.



En el cas de la caracterització manual de la capçada, els dos mètodes suïssos basats en el *Tree Row Volume* per a la caracterització de capçades grans i estàndard s'aproximen als valors de volum total estimats electrònicament amb ultrasons. Tanmateix, aquests mètodes manuals poden servir per a estimacions del volum de capçada mitjà d'una plantació o tram de capçada però mai per a realitzar estimacions de valors instantanis. El mètode que presenta diferències més elevades és el mètode americà, ja que no diferencia entre alçada de capçada i alçada d'arbre ni pondera l'amplada de la capçada, generant volums de capçada excessius.



Les mesures manuals i la utilització de sensors comporten diferències importants en les estimacions dels paràmetres de la capçada. En la publicació de valors de volum de capçada o de la seva variabilitat és imprescindible indicar quines han estat la tecnologia, la metodologia i la resolució utilitzades.



Independentment del tipus de sensor utilitzat, en totes les capçades caracteritzades s'ha detectat una alta variabilitat en paràmetres com la semiamplada o el semivolum instantanis, fet que valida la Hipòtesi 1 de partida.

La variabilitat detectada es pot descompondre en dos components. El primer s'ha anomenat microvariabilitat i correspon a una oscil·lació periòdica dels valors estimats amb una periodicitat similar a la separació entre soques. El segon component s'ha anomenat macrovariabilitat i representa la variació dels valors màxims al llarg del tram de fila analitzat.



En la majoria dels assajos s'han detectat diferències significatives entre els semivolums de capçada corresponents a cada costat de la fila escanejada. Aquestes diferències es deuen a la diferent insolació que reben els costats de la fila segons la seva orientació. El fet de detectar i quantificar aquestes diferències permetrà millorar l'adaptació de la dosificació a la capçada tractada.

## **6.5 Possibles millores del sistema de caracterització de la capçada**

---

Una millora en el sistema de caracterització basat en el sensor lidar seria la possibilitat que fos el mateix sensor el que estimés l'alçada de la capçada interpretant les dades de cada semisecció transversal escanejada mitjançant un algorisme dissenyat a tal efecte.



Tant en el sistema de caracterització basat en ultrasons com en el basat en lidar, seria interessant georeferenciar cadascuna de les lectures i corregir les estimacions de les semiamplades de capçada consegüentment per tal d'eludir els errors deguts a la manca de precisió en el seguiment del traç central del carrer i els deguts a variacions de la velocitat d'avanç descrits en Palacín *et al.* (2008).





# 7

**Disseny i implementació del  
prototipus de polvoritzador amb  
dosificació variable en temps real**





## 7.1 Introducció

---

Al Capítol 3 d'aquesta tesi s'ha formulat, entre altres, la Hipòtesi 3 de partida, que un mètode dinàmic de dosificació podria incrementar l'eficiència actual de les aplicacions de productes fitosanitaris. Al Capítol 5 es presenta el desenvolupament d'un mètode dinàmic de dosificació. Per tal de poder contrastar la Hipòtesi 3 i validar els mètodes de dosificació proposats es necessita la participació d'un polvoritzador capaç d'executar els algorismes de regulació correctament i de forma precisa. Actualment, al mercat no existeix cap polvoritzador que compleixi els requisits necessaris per a realitzar els assajos de validació d'aquest treball de recerca. Per aquest motiu ha estat necessari dissenyar i implementar un prototipus de polvoritzador hidropneumàtic, partint de la Hipòtesi 2, amb la capacitat de realitzar una dosificació variable contínua i en temps real. En aquest apartat es descriuen totes les tasques dutes a terme per al disseny, implementació i validació del prototipus que han de permetre la validació de les hipòtesis de partida 2 i 3 d'aquest treball. El prototipus s'ha implementat seguint una metodologia de desenvolupament en dues etapes. A la primera etapa es desenvolupa un prototipus que ha de permetre la validació del Mètode 1 de dosificació variable en temps real descrit a l'apartat 5.2.1. A la segona etapa es millorarà el disseny en els punts febles identificats per tal d'implementar un segon prototipus que permeti la validació del Mètode 2 de dosificació variable en temps real descrit a l'apartat 5.2.2. Els prototipus dissenyats s'han batejat amb el nom de Fluxpro 1 i Fluxpro 2, respectivament, essent Fluxpro l'acrònim de "Flux Proporcional", fent al·lusió a la variació del cabal aplicat de manera proporcional a paràmetres de la capçada. Totes les operacions de disseny, implementació i validació en laboratori es van dur a terme a les instal·lacions del Centre de Mecanització Agrària del Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural de la Generalitat de Catalunya i amb la col·laboració del seu personal.

## 7.2 Anàlisi i disseny del sistema

---

La dosificació variable en un polvoritzador hidropneumàtic per a plantacions fructíferes s'aconsegueix modificant el cabal polvoritzat pels broquets hidràulics situats en els arcs de polvorització. En la polvorització hidràulica, el trencament de la vena líquida de la preparació a aplicar s'aconsegueix fent passar el brou fitosanitari a pressió a través dels orificis dels broquets. La llei física que regeix aquest procés es mostra en l'Equació 7.1.

Equació 7.1

$$q_u = m \cdot S \cdot \sqrt{\frac{2p}{\rho}} = k \cdot P^{0,5}$$

On  $q_u$  és el cabal polvoritzat per un broquet hidràulic, expressat en  $m^3/s$ ;  $m$  és el coeficient de cabal, adimensional, específic per a cada broquet;  $S$  és la secció de l'orifici de sortida, expressada en  $m^2$ ;  $P$  és la pressió del líquid aigües amunt del broquet, expressada en Pa;  $\rho$  és la densitat del líquid polvoritzat, expressada en  $kg/m^3$ ;  $k$  és una constant específica que inclou tots els paràmetres anteriors que romanen constants per a un determinat broquet, expressada en les unitats corresponents.

La manera escollida en aquest treball per a modificar el cabal aplicat ha estat la modificació de la pressió a la que es feia circular el líquid a través de l'orifici dels broquets. Tanmateix, modificar la

pressió en un sistema de polvorització amb broquets hidràulics té certs efectes col·laterals tals com la modificació de les característiques de la població de gotes creada i la variació de l'angle d'obertura del raig o con de polvorització. En la validació del sistema es varen analitzar els efectes de la variació d'aquests dos paràmetres en el resultat final aconseguit. La dosificació instantània a aplicar depenia de les característiques de la capçada analitzada i del mètode utilitzat. Així, el Mètode 1 estimava el cabal a polvoritzar a partir de l'Equació 5.3. La variabilitat en la dosificació la determinava el paràmetre  $P$ , definit a l'Equació 5.4 com el quocient entre la semiamplada instantània de capçada estimada amb els sensors d'ultrasons i la semiamplada màxima de la plantació determinada prèviament a partir de mesures manuals o a partir del tractament estadístic de les semiamplades determinades electrònicament. El Mètode 2, en canvi, basava la dosificació en l'estimació del cabal a polvoritzar a partir de les semiseccions transversals o fraccions de semisecció transversal estimades amb els sensors d'ultrasons o lidar (Equació 5.8). Tanmateix, en tots dos mètodes l'actuació final únicament havia de consistir en modificar el cabal que havien de polvoritzar els broquets i, per tant, l'actuador hidràulic podia ser el mateix. Després d'una recerca intensa es va localitzar l'actuador adient: una vàlvula electromagnètica d'alta freqüència, també anomenada electrovàlvula proporcional, capaç de modificar el cabal emès de forma proporcional a un senyal de control elèctric entre 0 V i 10 V. En els apartats següents es procedirà a descriure amb més detall aquest actuador. Els elements utilitzats per a interpretar la informació provinent del sistema de caracterització, decidir la dosificació instantània requerida, elaborar una ordre consegüent en forma de senyal de control i enviar-la als actuadors foren els mateixos dispositius utilitzats inicialment en els sistemes de caracterització de la capçada. Per tal de gestionar correctament tot el procés, es van utilitzar diferents programes específicament dissenyats que van anar evolucionant amb el prototipus. Al present apartat s'entra en detall en la descripció d'aquests programes. Per tal de poder validar el sistema es van incorporar altres elements al prototipus tals com un sensor de pressió i un sensor de cabal que serviren per a proveir informació sobre la seva actuació. La informació subministrada per aquests dos elements únicament es va tenir en compte a efectes de validació del prototipus ja que el control del procés es va realitzar en llaç obert, sense realimentació, per tal de no complicar excessivament el sistema.

## 7.3 Implementació dels prototipus

---

En aquest apartat es relacionen els materials utilitzats en la implementació dels dos prototipus, Fluxpro 1 i Fluxpro 2, des del polvoritzador utilitzat com a base i les seves modificacions fins als elements afegits per al seu funcionament. També es descriu l'aplicació informàtica dissenyada per a regular el seu funcionament, monitorar el seu estat i enregistrar les dades generades per tal de, posteriorment, validar els mètodes de polvorització desenvolupats al Capítol 5.

### 7.3.1 Polvoritzadors utilitzats

Els prototipus dissenyats van evolucionar de manera paral·lela al sistema de caracterització de la capçada. El prototipus Fluxpro 1 coincideix en el temps amb el primer sistema de caracterització de la capçada equipat amb dos sensors d'ultrasons. El prototipus Fluxpro 2 s'utilitza simultàniament al segon sistema de caracterització de la capçada equipat amb tres sensors d'ultrasons o amb el sensor lidar. A continuació es detalla el disseny i la implementació dels dos prototipus utilitzats per a l'aplicació del Mètode 1 i del Mètode 2 de dosificació variable en temps real que es proposen en la Hipòtesi 2 de partida d'aquest treball de recerca.

### 7.3.1.1 Prototipus Fluxpro 1

El prototipus Fluxpro 1 es va muntar sobre un polvoritzador hidropneumàtic suspès model 710-200 SV (Ilema, Lleida, Catalunya) propietat del Centre de Mecanització Agrària del Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural de la Generalitat de Catalunya. El polvoritzador utilitzat tenia les característiques relacionades a la Taula 7.1. A aquest polvoritzador se li van incorporar diferents elements i se li van modificar el circuit hidràulic i l'arc de polvorització d'un dels costats per tal d'adaptar el seu funcionament al requerit per a l'aplicació del Mètode 1 de dosificació variable (Figura 7.1).

Taula 7.1.- Característiques del polvoritzador sobre el que es va muntar el prototipus Fluxpro 1.

Característica	Descripció
Marca i model	Ilema model 710-200 SV
Tipus	Polvoritzador hidropneumàtic suspès accionat pel tractor
Dipòsit	Capacitat de 200 L i construït amb polièster i fibra de vidre
Agitació	Hidràulica
Bomba	Ilema B-III-N de 3 cilindres i amb cabal nominal de 91,8 L/min
Regulació	Sistema de regulació a pressió constant
Distribució	2 arcs de polvorització amb 2 sectors de 3 broquets orientables
Ventilador	Axial de 8 àleps; diàmetre interior de 840 mm; deflector estàtic en l'aspiració; cabal màxim 38.122 m <sup>3</sup> /h a 540 r/min

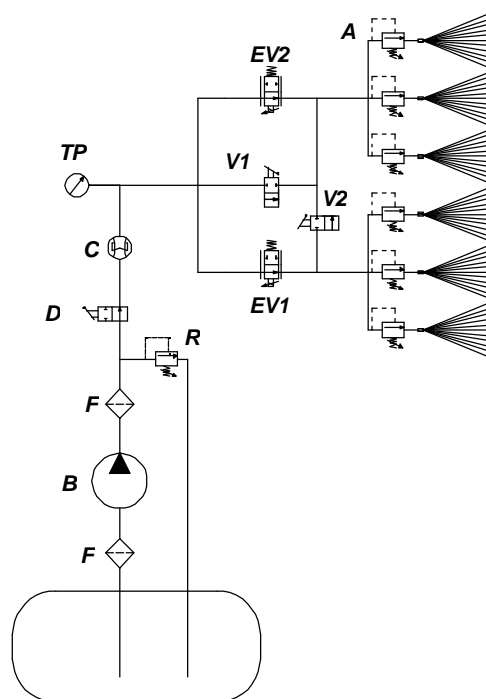
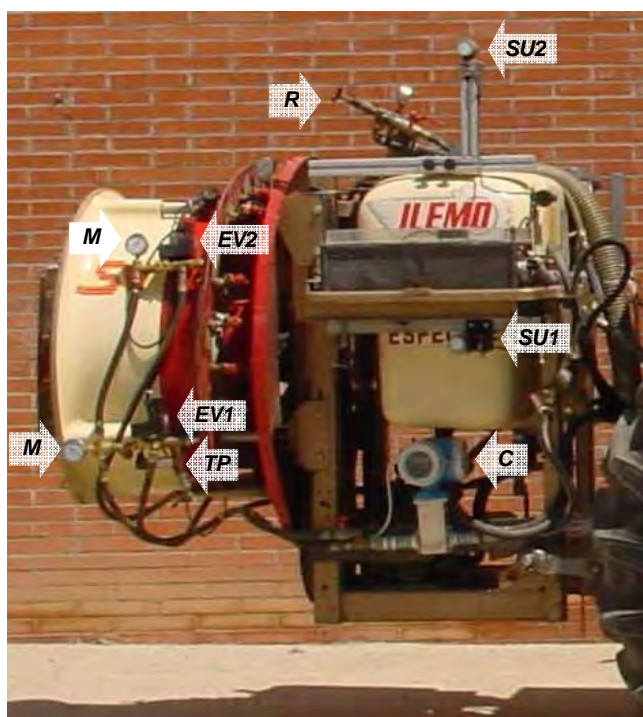


Figura 7.1.- Imatge del prototipus Fluxpro 1 muntat sobre un polvoritzador hidropneumàtic suspès (esquerra) i esquema del circuit hidràulic (dreta). A l'esquema s'hi indiquen els elements principals tals com els sensors d'ultrasons 1 i 2 (SU1 i SU2), filtres (F), bomba (B), regulador (R), distribuïdor principal (D), cabalímetre (C), manòmetres (M), transductor de pressió (TP), electrovàlvules proporcionals 1 i 2 per a la variació del cabal (EV1 i EV2), vàlvules manuals per a la selecció de mode de treball variable i convencional (V1 i V2) i antidegotejos (A).

Les principals modificacions foren la instal·lació dels dos sensors d'ultrasons i la modificació del circuit hidràulic del polvoritzador. Aquestes modificacions del circuit hidràulic tenien tres finalitats diferenciades. En primer lloc, es va dividir l'arc de polvorització en dues seccions independents de tres broquets cadascuna i es van incorporar les dues electrovàlvules proporcionals per aconseguir la dosificació variable a partir de la variació del cabal. Per altre costat, es van introduir elements de mesura per a monitorar el funcionament de l'equip tals com el cabalímetre i el transductor de pressió. I, finalment, es van realitzar modificacions per tal de poder realitzar els assajos de validació amb més garanties. Aquestes modificacions consistiren en la instal·lació de conduccions i vàlvules addicionals que permetien el funcionament del prototipus en mode convencional, emetent un cabal constant en tot l'arc de polvorització, i en mode variable, fent que el cabal fos regulat per les electrovàlvules. Aquesta modificació va permetre utilitzar el mateix costat del polvoritzador en els assajos comparatius reduint la variabilitat experimental dels assajos de validació. A més, en la configuració en mode variable, es va dissenyar el prototipus per a que pogués funcionar amb dos sistemes de control diferents. El sistema de control I consistia en anul·lar el sensor d'ultrasons superior, Sensor 2, per tal que el Sensor 1, l'inferior, fos el que comandés els sis broquets de l'arc del polvoritzador. El sistema de control II consistia en adquirir el senyal dels dos sensors d'ultrasons per a controlar una electrovàlvula proporcional i tres broquets cadascun de manera independent. Altres modificacions realitzades consistiren en incorporar uns compartiments per a allotjar els dispositius electrònics per a l'adquisició i registre de dades i una bateria elèctrica per a alimentar-los.

### 7.3.1.2 Prototipus Fluxpro 2

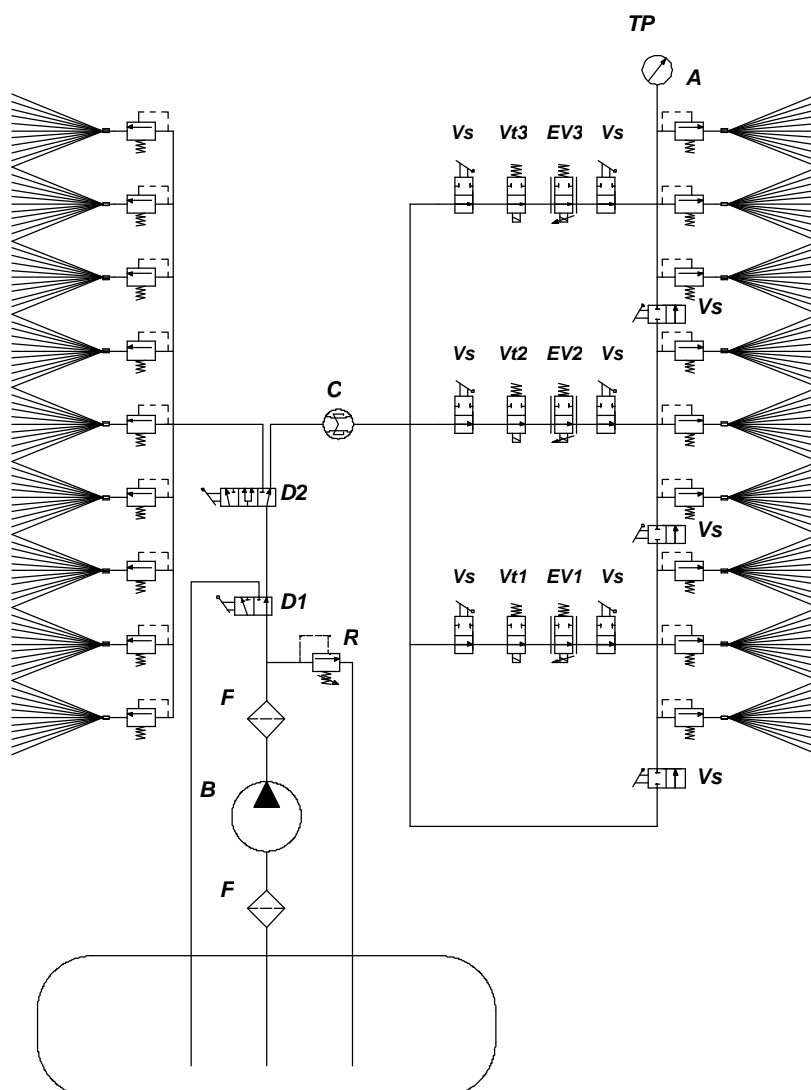
Després de l'anàlisi dels resultats de les proves del primer sistema de caracterització de la capçada i de la validació del prototipus Fluxpro 1 es va decidir millorar el prototipus donant pas al nou prototipus Fluxpro 2 (Figura 6.32). El prototipus es va muntar sobre un polvoritzador Arrow F 1000 (Ilemo/Hardi, Lleida, Catalunya) cedit en règim de comodat al Centre de Mecanització Agrària i posteriorment adquirit per aquest. A la Taula 7.2 es relacionen les característiques del polvoritzador utilitzat.

**Taula 7.2.-** Característiques del polvoritzador sobre el que es va muntar el prototipus Fluxpro 2.

Característica	Descripció
Marca i model	Ilemo / Hardi Arrow F 1000
Tipus	Polvoritzador hidropneumàtic arrossegat accionat pel tractor
Dipòsit	Capacitat de 1000 L i construït amb polietilè
Agitació	Hidràulica
Bomba	PS3N 102 de 3 cilindres i amb cabal nominal de 101,8 L/min
Regulació	Sistema de regulació a pressió constant
Distribució	2 arcs de polvorització amb 10 broquets orientables
Ventilador	Axial de 9 àleps; diàmetre interior de 820 mm; deflector estàtic en l'aspiració; cabal màxim 60.000 m <sup>3</sup> /h a 540 r/min.

A la Figura 7.2 es pot observar el circuit hidràulic del prototipus amb les modificacions realitzades en l'arc de polvorització dret per a poder treballar tant en mode variable com en mode convencional. La selecció del mode de treball es realitza mitjançant l'obertura i tancament de les vàlvules manuals de seccionament instal·lades. En el mode de polvorització convencional, les

electrovàlvules proporcionals i les electrovàlvules de tall queden anul·lades i es connecten les seccions de l'arc de polvorització per tal que treballin com un arc sencer. En el mode de polvorització variable, les tres seccions queden independitzades i el cabal que hi circula depèn del senyal de control enviat a les electrovàlvules.

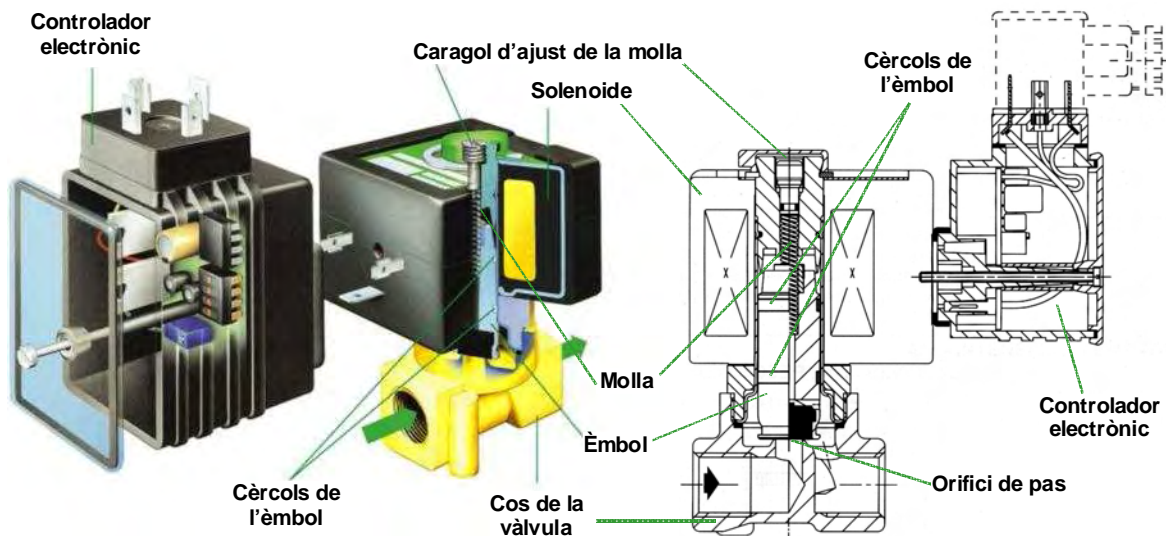


**Figura 7.2.-** Esquema hidràulic del prototipus Fluxpro 2 on es mostren les modificacions realitzades en l'arc de polvorització dret per a poder realitzar tractaments en mode variable o en mode convencional. A l'esquema s'hi indiquen els elements principals tals com filtres (F), bomba (B), regulador (R), distribuïdors 1 i 2 (D1 i D2), cabalímetre (C), transductor de pressió (TP), vàlvules de seccionament (Vs), electrovàlvules de tall (Vti), electrovàlvules proporcionals (EVi) i antidegotejos (A).

### 7.3.2 Electrovàlvula de cabal variable

L'element clau per al correcte funcionament del sistema de dosificació variable és l'electrovàlvula encarregada de modificar el cabal polvoritzat d'acord amb la capçada estimada pel sistema de caracterització de la capçada. La vàlvula seleccionada és una vàlvula electromagnètica d'alta freqüència, model Posiflow 1/4" 2/2 de la sèrie 202 (ASCO/JOUCOMATIC S.A., Rueil-Malmaison, França), formada per components hidràulics, electromagnètics i electrònics. La part hidràulica consisteix en un cos de llautó amb una via d'entrada, una via de sortida i un orifici de pas interior sobre el que s'assenta un èmbol obturador. La part electrònica de l'electrovàlvula és la que s'encarrega de transformar el senyal de control de 0 V<sub>CC</sub> a 10 V<sub>CC</sub> enviat per la unitat de control del sistema electrònic proporcional en senyal polsat entre 0 V<sub>CC</sub> i 24 V<sub>CC</sub>. El voltatge de 24 V<sub>CC</sub> és el

d'actuació del solenoide, component de la part electromagnètica de la vàlvula, juntament amb l'èmbol esmentat anteriorment (Figura 7.3).



**Figura 7.3.-** Esquema de l'electrovàlvula proporcional (esquerra) i diagrama de la seva secció transversal (dreta) amb la indicació dels diferents components que la integren (font: [www.ascojoucomatic.com](http://www.ascojoucomatic.com)).

L'electrovàlvula proporcional utilitzada és del tipus normalment tancada i, per tant, el cabal queda interromput quan no arriba voltatge a la bobina. Per tal d'obrir completament la vàlvula, cal alimentar la bobina amb un senyal de  $24 V_{CC}$ . En fer-ho, el que succeeix és que es crea un camp magnètic que atrau l'èmbol de la vàlvula desplaçant-lo cap amunt amb una força electromagnètica superior a la que exerceix la molla en sentit contrari. Quan l'èmbol es desplaça deixa lliure el pas de l'aigua a través de l'orifici interior de la vàlvula i existeix comunicació directa entre la via d'entrada i la de sortida. La proporcionalitat del cabal s'aconsegueix amb la intervenció del dispositiu electrònic de control. Aquest dispositiu emet un senyal digital polsat de valor  $0 V_{CC}$  o  $24 V_{CC}$  a la bobina amb una amplada de pols variable i amb una freqüència de commutació de 300 Hz. L'amplada de pols és proporcional al senyal de control que arriba al dispositiu, de manera que a  $0 V_{CC}$  el senyal polsat roman a  $0 V_{CC}$  sense ascendir a  $24 V_{CC}$  i, per tant, el solenoide no rep corrent, no es genera cap camp magnètic que desplaci l'èmbol en sentit ascendent i la vàlvula roman tancada. En cas que el senyal de control sigui de  $10 V_{CC}$ , el senyal polsat adquireix una amplada de pols igual al període del senyal digital i, per tant, el senyal injectat al solenoide roman a  $24 V_{CC}$ ; en aquest cas, la força que atrau l'èmbol és màxima i constant, de manera que l'èmbol es desplaça fins al final del seu recorregut. Qualsevol senyal de control entre aquests dos valors extrems de senyal de control és convertit pel controlador electrònic en una amplada de pols específica del senyal digital polsat que va a la bobina, fet que crea un camp magnètic variable que, al seu temps, genera una força electromagnètica que oscil·la 300 vegades per segon entre 0 i la corresponent a  $24 V_{CC}$ ; el resultat és una força electromagnètica resultant equivalent a la mitjana de les forces polsants instantànies que acaba atraient l'èmbol fins a una determinada posició entre la de repòs i la d'obertura màxima, en un determinat equilibri de forces amb la molla que empeny l'èmbol contra el seu assentament. Aquest fet provoca una pèrdua de càrrega singular que determina el cabal de pas de l'electrovàlvula, cabal que oscil·larà entre el 0% i el 100% del cabal màxim que circularia pel circuit hidràulic en cas que l'electrovàlvula estigués completament oberta. A la Taula 7.3 es relacionen les característiques de l'electrovàlvula i el controlador electrònic i a la Figura 7.4 es pot apreciar el muntatge de l'electrovàlvula al prototipus Fluxpro 1.

Taula 7.3.- Característiques dels components hidràulics, elèctrics i electrònics de l'electrovàlvula proporcional escollida.

Característica	Electrovàlvula/solenoide	Controlador electrònic
Alimentació ( $V_{CC}$ )	24	24
Intensitat (mA)	100 a 500	1.100
Consum (W)	11	0,8
Protecció	IP65	IP65
Temperatura de treball ( $^{\circ}C$ )	-10 a 75	-10 a 75
Diàmetre de la conducció (mm)	6,4	-
Diàmetre orifici de pas (mm)	2,4	-
Pressió màxima admissible (MPa)	3,5	-
Pressió diferencial (MPa)	0,8	-
Senyal de control (V)	-	0 a 10
Freqüència de commutació (Hz)	-	300

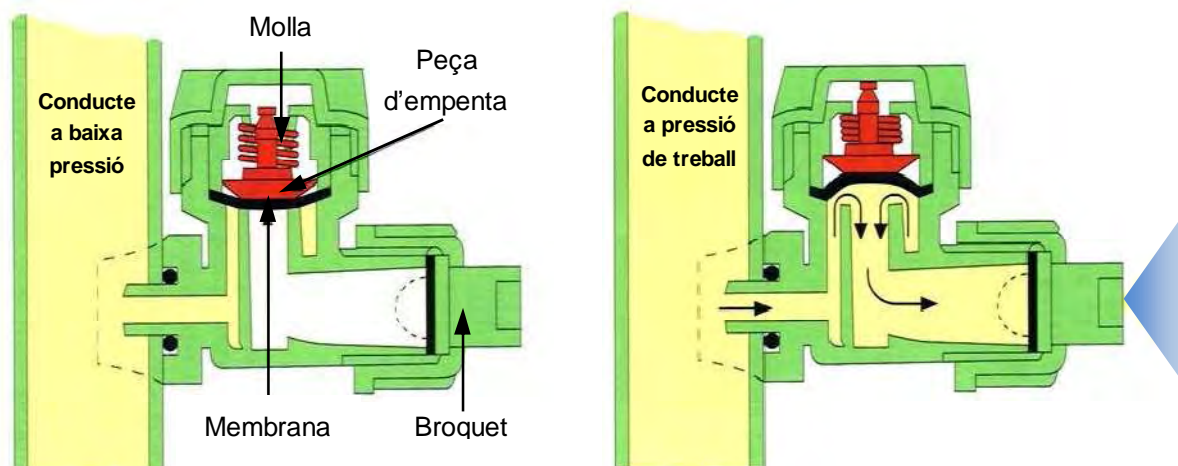


Figura 7.4.- Detall del seccionament de l'arc de polvorització i del muntatge de l'electrovàlvula al prototipus Fluxpro 1.

### 7.3.3 Antidegotejos i electrovàlvules de tall

Les pressions excessivament baixes que es poden donar quan el senyal de control adquireix un valor reduït afecten negativament el procés de formació de les gotes i l'obertura del raig de polvorització. Al prototipus Fluxpro 1 es van instal·lar uns portabroquets que incorporaven un sistema antidegoteig que es va manipular per tal de no polvoritzar a pressions de treball inferiors a 0,15 MPa. La introducció dels antidegotejos va aconseguir que, en cas que es detectés vegetació, la pressió de treball de partida fos l'establerta per aquests dispositius. Tanmateix, durant els assajos de validació que es descriuran més endavant, es va observar que sempre hi havia un o dos broquets que iniciaven la polvorització abans que la resta. Aquest comportament responia al principi de funcionament dels antidegotejos instal·lats, basat en unes membranes de seccionament accionades per unes molles (Figura 7.5). No totes les molles exercien exactament la mateixa força en cadascun dels antidegotejos donat que va ser impossible aconseguir fabricar molles absolutament idèntiques.





**Figura 7.5.-** Esquema del principi de funcionament d'un antidegoteig de membrana (font: www.teejet.com).

Davant dels inconvenients presentats pels antidegotejos de membrana, en la implementació del prototipus Fluxpro 2 es va considerar oportú substituir aquests elements per vàlvules electromagnètiques del tipus tot/res per a assegurar la interrupció de la polvorització en cas que es desitgés una dosificació nul·la. En cada secció de polvorització es va instal·lar una electrovàlvula de les seleccionades, també anomenades electrovàlvules de tall, essent emplaçades just abans de cadascuna de les electrovàlvules proporcionals (Figura 7.2). Les electrovàlvules de tall només tenen dues posicions de treball: totalment obertes o totalment tancades. El seu principi de funcionament és pràcticament igual al descrit per a les electrovàlvules proporcionals però sense el sistema electrònic de control, que és el que aporta la proporcionalitat a l'electrovàlvula. Les electrovàlvules seleccionades són del tipus normalment tancades, de manera que en alimentar el solenoide la força electromagnètica provoca un desplaçament ascendent de l'èmbol que deixa lliure el pas del fluid entre la via d'entrada i la de sortida i a l'inrevés. Amb la introducció d'aquests elements es va aconseguir iniciar i aturar la polvorització simultàniament en cadascun dels tres broquets de cada secció. A la Figura 7.6 es pot observar un detall del muntatge d'una electrovàlvula de tall (amb una protecció metàl·lica de color marró), situada just abans d'una electrovàlvula proporcional (de color negra).



**Figura 7.6.-** Detall del muntatge de l'electrovàlvula de tall (marró) just abans de l'electrovàlvula proporcional (negra) a l'entrada d'una de les seccions independents de l'arc de polvorització modificat.

### 7.3.4 Cabalímetres

En la implementació dels prototipus es varen utilitzar dos cabalímetres diferents. Al prototipus Fluxpro 1 es va utilitzar un cabalímetre electromagnètic Promag 30 A (Endress+Hauser, Reinach, Suïssa) per a mesurar el cabal polvoritzat pel costat del polvoritzar modificat. En canvi, al prototipus Fluxpro 2 es va utilitzar un cabalímetre de turbina Rapid check (Arag, Rubiera, Itàlia). A la Figura 7.7 es poden observar els detalls del muntatge dels dos cabalímetres en els respectius prototipus. Els dos cabalímetres es van muntar de manera que mesuressin el cabal total polvoritzat pel costat modificat del polvoritzador. A la Taula 7.4 es relacionen les característiques dels cabalímetres seleccionats.



**Figura 7.7.-** Detall del muntatge del cabalímetre electromagnètic al prototipus Fluxpro 1 (esquerra) i del cabalímetre de turbina muntat al prototipus Fluxpro 2.

Cal fer esment en aquest apartat, que en el procés de validació dels components del prototipus Fluxpro 2 al banc de proves es va utilitzar un tercer cabalímetre del tipus de turbina. El cabalímetre en qüestió era un sensor model Vision (Badger meter Europa, Beuren, Alemanya). La utilització d'aquest sensor va ser necessària per a la mesura del cabal emès per una sola electrovàlvula proporcional ja que, en el cas de senyals de control baixos, els cabals emesos no entraven dins el rang del cabalímetre de turbina que es muntaria al prototipus. El cabalímetre seleccionat per al banc de proves tampoc no es podria muntar al prototipus final degut a que el seu rang de mesura només permetia quantificar el cabal d'una o dues seccions. Aquest tipus de limitacions és habitual en la mesura de variables amb un alt grau de variabilitat. A la Figura 7.18 es pot veure el cabalímetre muntat al banc de proves.

**Taula 7.4.-** Característiques dels cabalímetres utilitzats en la implementació dels prototipus Fluxpro 1 i Fluxpro 2.

Característica	Cabalímetre electromagnètic	Cabalímetre de turbina al prototipus	Cabalímetre de turbina al banc de proves
Rang de mesura (L/min)	0 a 30	3 a 40	0,5 a 7,5
Senyal de sortida	4 a 20 mA	Polsos	Polsos
Alimentació ( $V_{CC}$ )	24	12	12
Precisió (%)	$\pm 0,5$	$\pm 3,0$	$\pm 3,0$
Pressió màxima (MPa)	4,0	5,0	2,5
Diàmetre de pas (cm)	0,80	2,54	0,80

### 7.3.5 Sistemes de control, regulació i monitoratge

Per a controlar i regular el funcionament dels prototipus es van utilitzar els mateixos sistemes que els descrits a l'apartat 6.2.3 del Capítol 6 Caracterització de la capçada en temps real. Els dos dispositius utilitzats per a la caracterització de les capçades són modulars i tenen la possibilitat de ser ampliat per tal de poder generar senyals de control a més d'adquirir i processar els senyals dels sensors i, per aquest motiu, es van poden adaptar a les necessitats dels dos prototipus.

#### 7.3.5.1 Sistema de control basat en ordinador

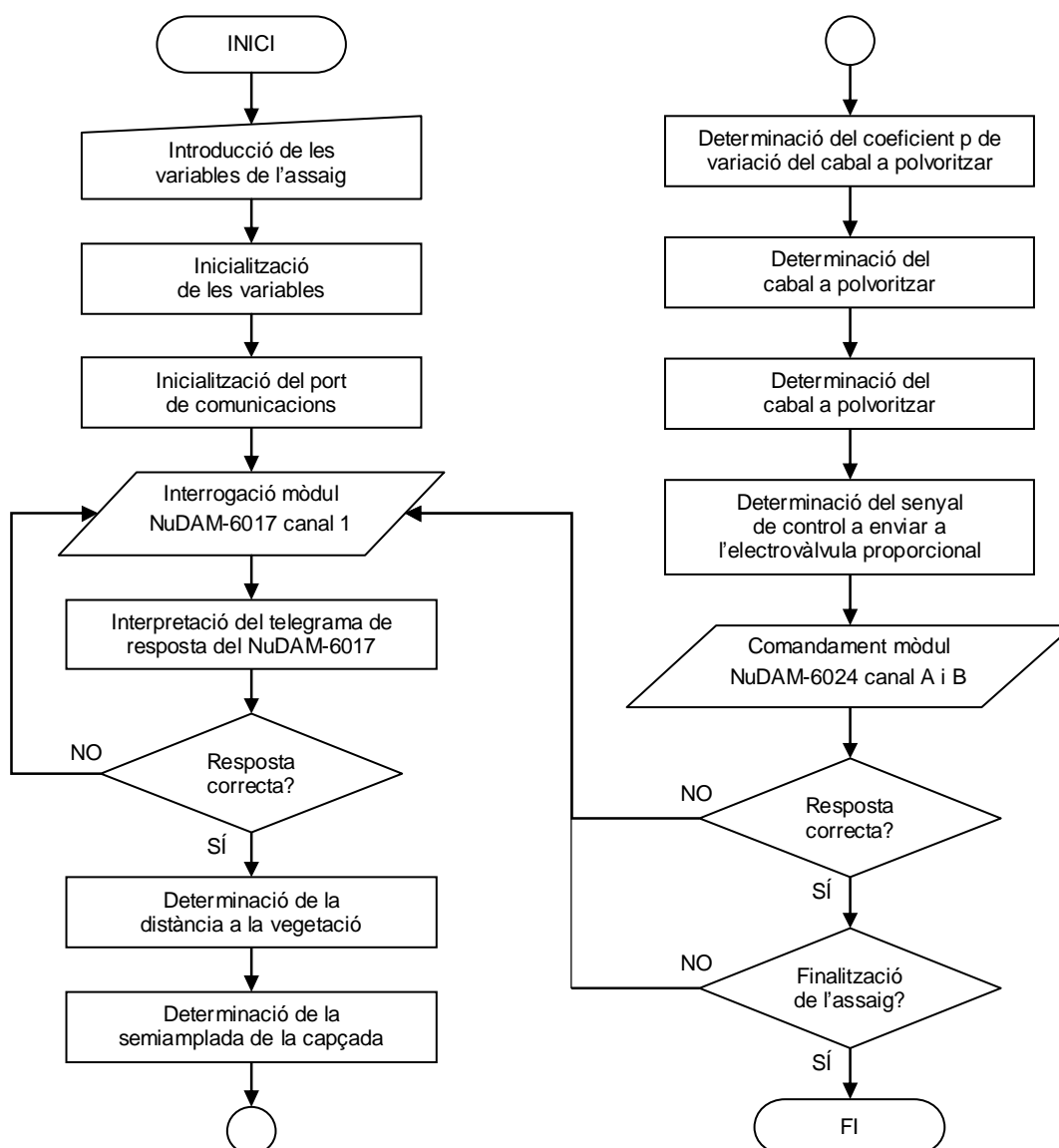
El sistema basat en ordinador que es va utilitzar en el prototipus Fluxpro 1 es va haver de complementar amb l'adquisició d'un tercer mòdul extern model NuDAM-6024 (Adlink Technology Inc., Chungo City, Taiwan) per a l'emissió de senyals analògics per al control de les electrovàlvules proporcionals. Com que el sistema desenvolupat pel fabricant és modular, la incorporació d'un nou mòdul per a l'execució d'una nova tasca no comporta més complicació que connectar físicament el dispositiu a la xarxa RS-485 ja existent i elaborar el programa de control necessari. El programa de control del dispositiu NuDAM-6024 és molt similar al del NuDAM-6017 utilitzat per a l'adquisició dels senyals de sortida dels sensors d'ultrasons (Figura 6.6). Les úniques diferències remarcables són que el telegrama enviat al mòdul ha d'incorporar el valor numèric del voltatge que es desitja generar en un canal de sortida determinat del dispositiu i que la resposta obtinguda és un caràcter de confirmació. Les característiques del mòdul NuDAM-6024 es mostren a la Taula 7.5.

**Taula 7.5.-** Característiques principals del mòdul NuDAM-6024 (Adlink Technology Inc., Chungo City, Taiwan).

Característica	NuDAM-6024
Comunicacions	RS-485
Velocitat (bits/s)	1.200 / 2.400 / 4.800 / 9.600 / 19.200 / 38.400
Canals analògics de sortida	4
Voltatge de sortida ( $V_{CC}$ )	$\pm 10$
Resolució (bits)	12
Precisió (V del bit menys significant)	$\pm 0,5$
Canals digitals entrada/sortida	7
Alimentació ( $V_{CC}$ )	10 a 30
Consum (W)	2,5

A més del programa de control per al nou dispositiu, també va ser necessari dissenyar un programa d'adquisició, monitoratge i regulació per tal d'integrar les dades de la capçada i determinar el cabal òptim a polvoritzar d'acord amb el Mètode 1 desenvolupat a l'apartat 5.2.1 (Equació 5.3). Aquest programa juga un paper molt important en el resultat de l'actuació dels prototipus i, per tant, es procedeix a descriure'l amb detall a continuació.

A la Figura 7.8 es mostra el diagrama de flux de l'aplicació dissenyada per al prototipus Fluxpro 1 per al cas de caracteritzar la capçada amb un sol sensor d'ultrasons i regular el cabal de tot l'arc de polvorització com una sola unitat (sistema de control I). En aquest cas, les dues electrovàlvules proporcionals rebien el mateix senyal de control simultàniament a partir de la informació obtinguda pel sensor per tal de polvoritzar el mateix cabal per la secció inferior i la superior de l'arc de polvorització.

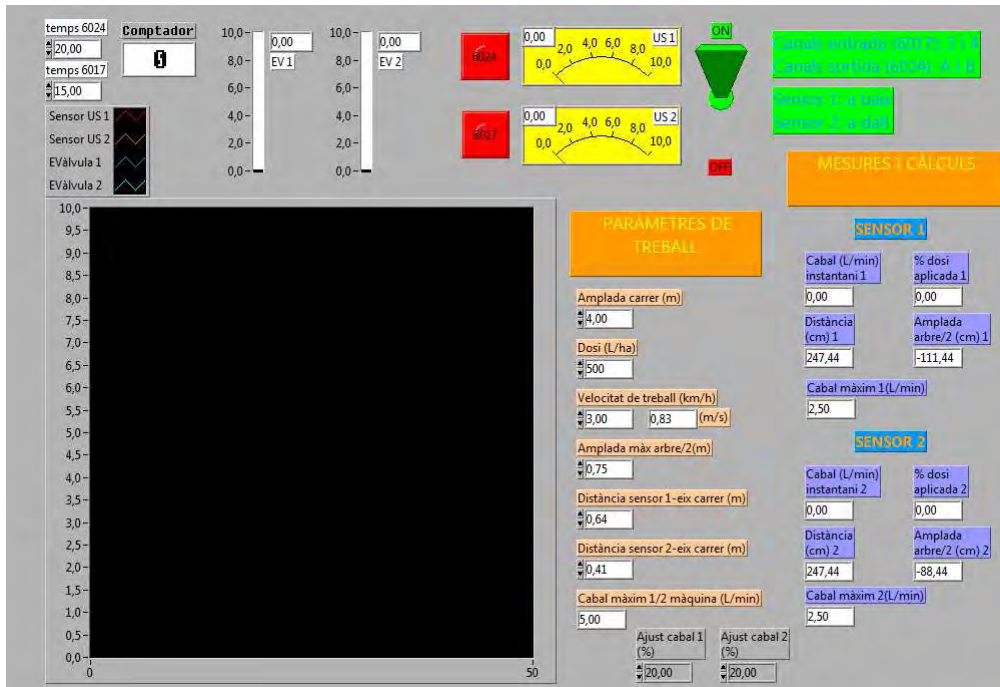


**Figura 7.8.-** Diagrama de flux de l'aplicació per a la regulació del prototipus Fluxpro 1 funcionant amb 1 sensor d'ultrasons comandant dues electrovàlvules proporcionals (sistema de control I).

En cas de realitzar una dosificació variable a partir de dos sensors i amb seccions de polvorització independents (sistema de control II), el diagrama és pràcticament el mateix que el mostrat a la Figura 7.8, amb la diferència que també es realitzava la lectura del canal 2 del mòdul d'adquisició NuDAM-6017 i que la determinació del voltatge a enviar a les dues electrovàlvules era independent.

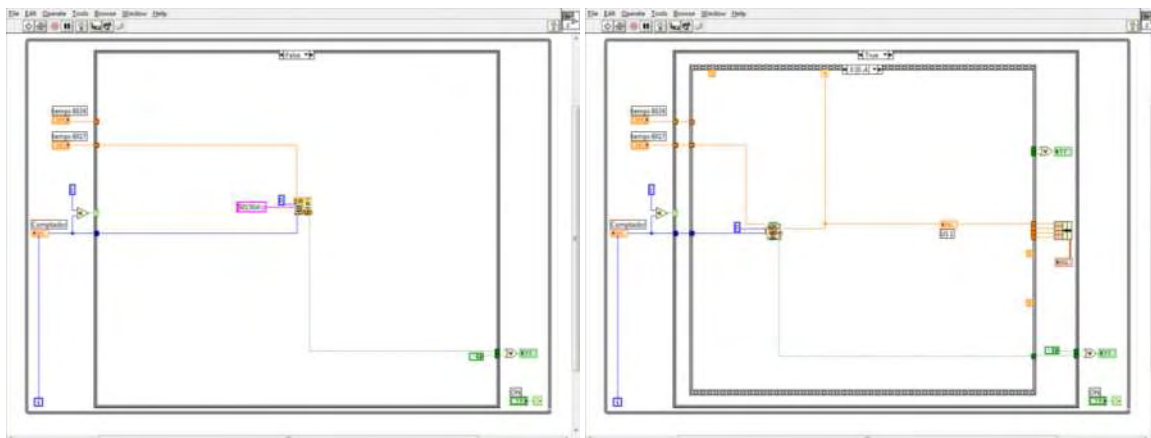
La implementació de l'algorisme dissenyat es va dur a terme en l'entorn de programació gràfica LabVIEW (National Instruments, Austin, Estats Units) ja descrit al Capítol 6. A la Figura 7.9 es pot observar el panell frontal de l'aplicació desenvolupada que s'executava en un ordinador portàtil embarcat al tractor. Al panell frontal es poden observar les variables de configuració introduïdes per l'usuari i les diferents indicacions i resultats parcials obtinguts durant el procés d'aplicació. Tal com s'indica a l'apartat 5.2.1 i en l'Equació 5.3, els paràmetres principals que ha d'introduir l'usuari són l'amplada del carrer, el volum d'aplicació unitari, la velocitat de treball. També cal indicar la

distància entre l'origen de coordenades dels sensors d'ultrasons i el traç central del carrer per tal de determinar la semiampada de la capçada (Equació 6.2). Per al correcte funcionament de les electrovàlvules proporcionals es va afegir un factor d'ajust per a corregir el cabal final polvoritzat en cas que fos necessari, d'acord amb els assajos de validació exposats més endavant.

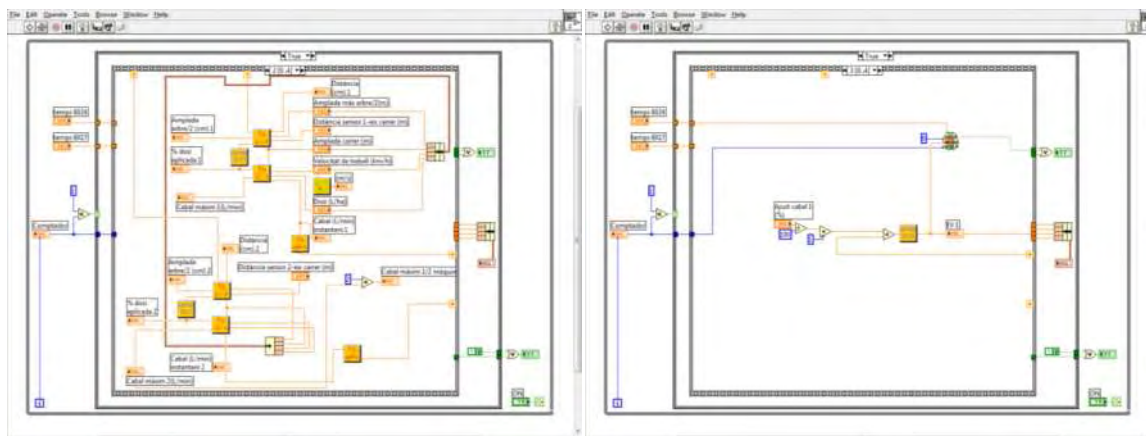


**Figura 7.9.-** Panell frontal de l'aplicació dissenyada en LabVIEW per a la regulació del prototipus Fluxpro 1 per a la modalitat de dosificació variable a partir de la informació de la capçada obtinguda amb dos sensors d'ultrasons.

Tal com s'ha comentat amb anterioritat, en LabVIEW el panell frontal és la interfície d'interacció amb l'usuari mentre que la programació pròpiament dita resideix al diagrama de blocs. A la Figura 7.10 i a la Figura 7.11 es mostren diversos diagrames de blocs amb la programació de diverses etapes de l'aplicació per a la dosificació variable de productes fitosanitaris a dos alçades diferents a partir de la caracterització de la capçada realitzada amb dos sensors d'ultrasons.



**Figura 7.10.-** Diagrames de blocs de diferents etapes de l'aplicació desenvolupada tals com la configuració del port de comunicacions (esquerra) i l'adquisició del senyal dels sensors d'ultrasons (dreta).



**Figura 7.11.-** Diagrames de blocs de diferents etapes de l'aplicació desenvolupada tals com la determinació dels càlculs necessaris per a establir el cabal a polvoritzar (esquerra) i la generació i enviament del senyal de control vers les electrovàlvules (dreta).

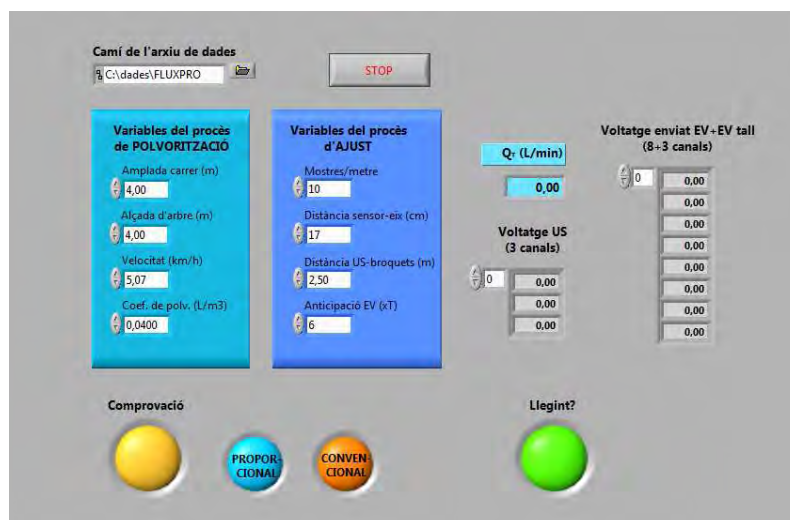
### 7.3.5.2 Sistema de control basat en PAC

La implementació del prototipus Fluxpro 2 va incorporar el PAC (*Programmable Automation Controller*) utilitzat en el segon sistema de caracterització de la capçada descrit a l'apartat 6.2.3.2 (Figura 6.9). El dispositiu, un Compact FieldPoint 2120 (National instruments, Austin, Estats Units), també referit amb les sigles cFP, està constituït per una unitat de processament i diverses ranures on s'hi poden acoblar diferents targetes electròniques per al desenvolupament de funcions diverses. En el sistema de caracterització de la capçada només s'utilitzava una targeta per a l'adquisició de senyals analògics i la unitat central per al processament i emmagatzematge de la informació. Per tal de poder regular el funcionament del prototipus va ser necessari afegir una targeta per a la sortida dels senyals analògics de control per a comandar les electrovàlvules proporcionals. També va caldre incorporar un mòdul d'entrades i sortides digitals que permetia l'adquisició del senyal digital polsat del cabalímetre i el comandament de les electrovàlvules de tall. Es va afegir una quarta targeta d'entrades digitals per a poder adquirir i emetre els senyals corresponents als interruptors i llum indicatius de la interfície d'interacció amb l'usuari que es va dissenyar per tal de poder interactuar amb el prototipus (Figura 7.12).



**Figura 7.12.-** Caixa estanca instal·lada al prototipus Fluxpro 2 per a allotjar el sistema electrònic de regulació. A la tapa frontal es pot veure la interfície d'interacció amb l'usuari constituïda per interruptors i llums indicatius (esquerra). Dins de la caixa hi ha el dispositiu PAC i les connexions elèctriques necessàries (dreta).

Els interruptors de la interfície permetien connectar i desconnectar el dispositiu però també altres operacions com la comprovació del correcte funcionament del sistema, la selecció del mode de treball del polvoritzador (dosificació convencional o variable) i l'inici i aturada de l'enregistrament de les dades generades. Els llums indicadors mostraven a l'usuari el correcte funcionament del prototipus en la configuració seleccionada. A la Figura 7.13 es pot observar el panell frontal de l'aplicació desenvolupada en LabVIEW per al control i regulació del prototipus Fluxpro 2.



**Figura 7.13.-** Panell frontal de l'aplicació dissenyada en LabVIEW per a la regulació del prototipus Fluxpro 2 per a la modalitat de dosificació variable a partir de la informació de la capçada obtinguda amb tres sensors d'ultrasons.

La interfície de la Figura 7.13 és menys vistosa que la dissenyada per al prototipus Fluxpro 1 pel fet que el dispositiu electrònic cFP no disposa de d'interfície gràfica pròpia; això permet aprofitar els recursos per a aconseguir una execució més ràpida i eficient del programa. Abans de començar el tractament fitosanitari, l'usuari ha d'introduir les variables del procés de polvorització i de regulació manualment o bé enregistrar-les en la memòria del dispositiu. La selecció del mode de treball es realitza amb els interruptors situats a la tapa de la caixa estanca que conté el PAC, tal com s'ha explicat anteriorment.

Amb el sistema de control basat en el controlador electrònic PAC, es va poder prescindir del sistema d'adquisició addicional necessari en el prototipus Fluxpro 1 i es va passar a realitzar totes les tasques amb un sol dispositiu, fet que va simplificar el prototipus en gran mesura. Aquest fet i altres novetats que es van creure interessants d'incorporar van fer necessària una modificació important del disseny inicial del programa de control. Una de les modificacions importants és que, una vegada descarregat el programa en el cFP i posat en marxa, l'usuari podia interaccionar amb el prototipus sense necessitat d'un ordinador portàtil mitjançant els interruptors de configuració. Una de les operacions que es podia dur a terme era la de comprovació del sistema. Per a executar aquesta part del programa calia situar l'interruptor de comprovació en posició ON i esperar que el llum indicador s'encengués. Amb l'interruptor de funcionament es podia seleccionar el mode de funcionament de dosificació convencional o variable. En el primer cas, el programa emetia un senyal de control de 10 V a totes tres electrovàlvules proporcionals i activava les electrovàlvules de tall de manera que es polvoritzava el cabal màxim com en condicions convencionals. Aquesta opció permetia comprovar el funcionament del sistema i regular la pressió de treball abans de realitzar una aplicació. Amb l'interruptor de funcionament en posició proporcional, s'activen les electrovàlvules de tall i s'envia un senyal de control a les tres electrovàlvules exactament del

mateix valor que la resposta del sensor d'ultrasons central. Aquesta opció permetia comprovar el comportament proporcional del prototipus abans de començar una aplicació situant un objecte davant del sensor central i modificant la seva distància al sensor per a simular amplades de capçada diferents. Si es desitjava conèixer el cabal polvoritzat durant la comprovació calia connectar un ordinador portàtil al dispositiu de control mitjançant el port de comunicacions Ethernet.

Una altra novetat en el programa és el procés seguit durant la seva execució. En el moment que s'activa l'interruptor d'iniciar l'enregistrament de les lectures s'activa el funcionament del prototipus en mode convencional o proporcional, segons l'interruptor de funcionament, i s'enregistren totes les dades generades. Les dades enregistrades són tots els valors dels paràmetres de l'assaig que prèviament havia introduït l'usuari, l'instant en que es produeix cada lectura, els senyals dels sensors d'ultrasons, l'estat de les electrovàlvules de tall i el senyal de control enviat a les electrovàlvules proporcionals així com el cabal mesurat pel cabalímetre. En el moment d'enregistrar la informació, el programa té en compte el desfasament existent entre l'instant en que es realitza la detecció de la vegetació per part dels sensors i l'instant en que les electrovàlvules proporcionals polvoritzen el cabal adient en aquell mateix punt de la capçada. Això implica un aparellament de les dades no en funció de l'instant d'adquisició sinó en funció del lloc d'adquisició. Tota aquesta informació enregistrada va servir per a validar el comportament del prototipus durant els assajos realitzats.

En cas de treballar en mode convencional, el sistema envia un senyal de control constant de 10 V a les electrovàlvules proporcionals. En cas de treballar en mode proporcional, el senyal de control enviat a les electrovàlvules proporcionals depèn del senyal emès per cadascun dels sensors d'ultrasons. Segons els Mètode 2 de dosificació variable en temps real desenvolupat, el cabal a polvoritzar en cada moment depèn de la semisecció transversal de la capçada, de la velocitat d'avanç i del coeficient d'aplicació seleccionat (Equació 5.8). A partir del senyal elèctric dels sensors d'ultrasons es determina la distància a la que es troba la capçada (Equació 6.15) i la semisecció transversal de la capçada (Equació 6.3). Una vegada multiplicada la semisecció transversal per la velocitat d'avanç i el coeficient d'aplicació, el cabal a aplicar per cadascuna de les electrovàlvules proporcionals queda determinat. Aquest cabal es transforma en un senyal de control a enviar a cadascuna les electrovàlvules a partir de les relacions matemàtiques obtingudes a l'apartat 7.5, on es mostren els resultats de la validació. En cas que el cabal determinat sigui diferent de zero, s'activen les electrovàlvules de tall permetent el flux de líquid i s'envia el voltatge determinat a les electrovàlvules proporcionals. En cas que no es detecti vegetació, el cabal establert serà nul i les electrovàlvules de tall i proporcionals romandran tancades.

Al prototipus Fluxpro 2 es va imposar una resolució horitzontal de mostratge de 10 cm/mostra. Per a aconseguir aquesta fita, calia temporitzar l'execució del programa en funció de la velocitat d'avanç. El temps d'execució del bucle de regulació del programa es determinava a partir de la inversa de la freqüència de mostratge, calculada a partir del producte de la resolució de mostratge i la velocitat d'avanç (Equació 7.2).

**Equació 7.2**

$$T = \frac{1000}{r \cdot v}$$

On  $T$  és el temps d'execució del bucle de regulació; expressat en ms;  $r$  és la resolució de mostratge, expressada en número de mostres/m;  $v$  és la velocitat d'avanç del polvoritzador.



Un altre aspecte important implementat va ser el retard de l'actuació de les electrovàlvules proporcionals en funció de la distància entre el sistema de caracterització i els broquets hidràulics i la velocitat d'avanç del polvoritzador. L'actuació de les electrovàlvules calia que es produís just en el punt de la capçada que s'havia caracteritzat i, per tant, no podia ser instantània. El temps de retard havia de ser equivalent al temps esmerçat en recórrer la distància de 2 m que separava el pla vertical definit pels sensors i el pla vertical que contenia els broquets. Tanmateix, en l'aplicació dissenyada es va definir una nova variable per tal de poder reduir aquest temps de retard i tenir en compte el temps de viatge de les gotes polvoritzades entre els broquets i la capçada. Si s'esperés el temps de retard teòric, les electrovàlvules actuarien just davant del punt de la capçada caracteritzat amb els sensors però les gotes no arribarien a la capçada en aquell punt sinó en alguna zona posterior. És per aquest motiu que es va introduir l'opció de reducció del temps de retard teòric i així poder executar l'actuació amb una certa antelació; antelació que hauria de comportar dipositar les gotes a la zona de la capçada caracteritzada. Aquesta antelació es va determinar experimentalment sobre el terreny amb les dificultats i imprecisions que això comporta. El mètode seguit per al seu ajust es va basar en un procediment de prova i error amb una avaluació visual de la sincronia entre la detecció de la capçada, la polvorització de les gotes i la seva deposició en la capçada a l'inici d'una fila d'arbres. En aquell punt, el polvoritzador passava de no polvoritzar a iniciar la polvorització i això permetia observar si les primeres gotes emeses es dipositaven o no en la capçada de l'inici de la fila.

El desfasament temporal entre la caracterització instantània de la capçada i l'actuació de les electrovàlvules proporcionals és un paràmetre clau per a l'èxit de les aplicacions basades en el Mètode 2 i en qualsevol procés de dosificació variable proporcional a la microvariabilitat de la capçada. Un mal ajust del retard de l'actuació de les electrovàlvules podria provocar una asincronia entre la caracterització de la capçada i la dosi de producte fitosanitari rebuda en aquell punt. Això podria conduir al fracàs del tractament a causa de la deslocalització de les dosis respecte a les necessitats de la capçada, incrementant la variabilitat de les deposicions en la capçada per l'aplicació de quantitats de matèria activa insuficients en zones amb alta vegetació i a l'inrevés.

L'execució del bucle de regulació perdurava a raó d'una execució cada 10 cm en el sentit d'avanç fins que es desactivava l'interruptor d'enregistrament de les lectures de la interfície del polvoritzador. A cada execució s'enregistraven totes les dades esmentades anteriorment. En sortir del bucle, es tancava l'arxiu generat, s'emmagatzemava en el disc dur del dispositiu i s'enviava un senyal de control de 0 V per tal de tancar totes les electrovàlvules i aturar la polvorització. Una vegada fora del bucle de regulació, el programa continuava la seva execució a l'espera que l'usuari seleccionés una nova opció de treball.

A partir del que s'ha explicat fins ara del control del procés de polvorització, es desprèn que la regulació es realitza de forma directa en llaç obert. Aquest mètode de regulació té l'inconvenient que el sistema no pot reaccionar davant de possibles perturbacions i que només funcionarà correctament en cas que es reproduïxin les condicions de treball amb les que es van realitzar els calibratges. Tanmateix, implementar una regulació en llaç tancat implicava complicar i encarir el prototipus en excés encara que no es descarta per a futurs desenvolupaments.

A la Figura 7.14 es pot apreciar el diagrama de flux de l'aplicació descrita per a la gestió del prototipus Fluxpro 2 amb el sistema de caracterització de la capçada equipat amb sensors d'ultrasons.

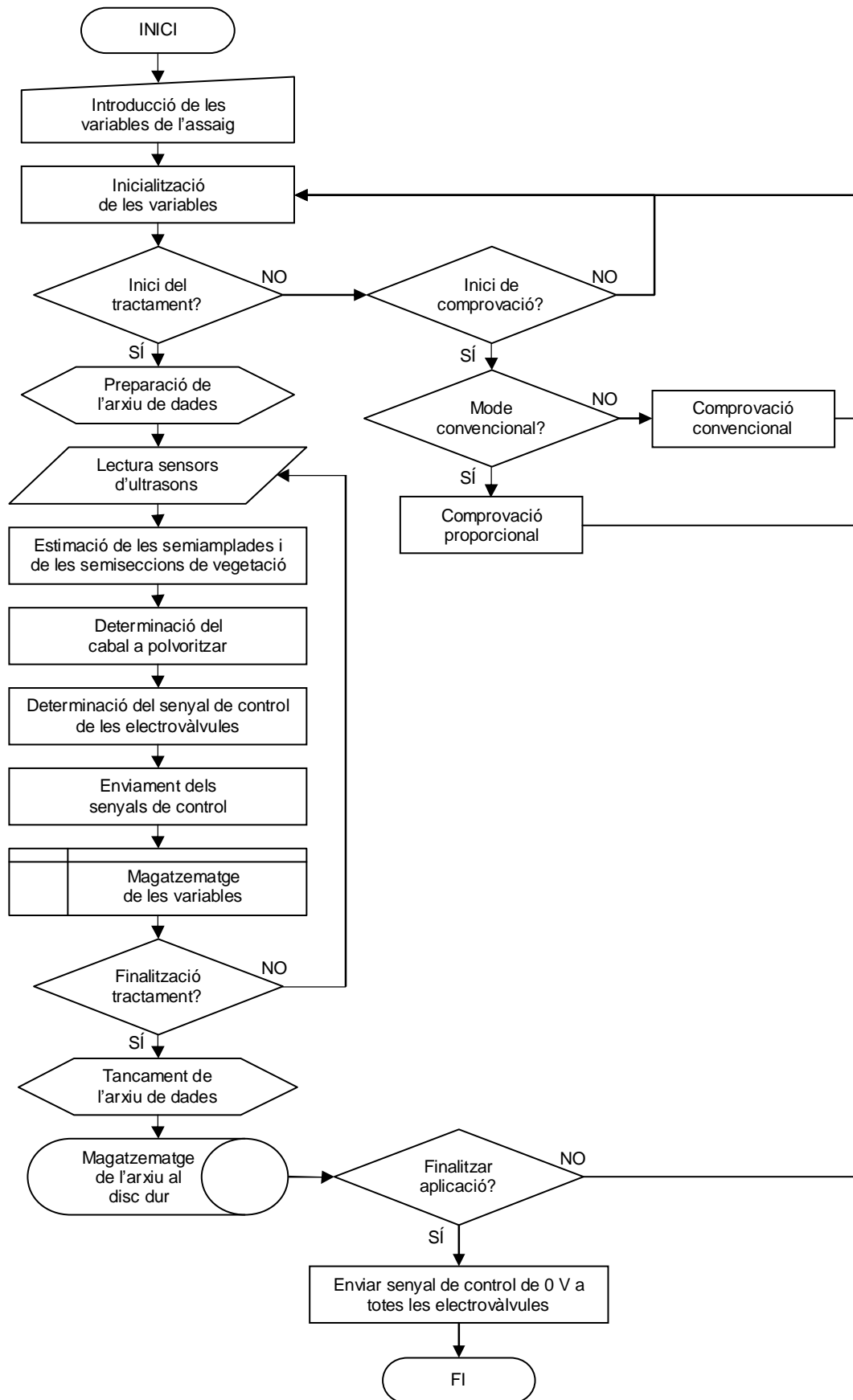
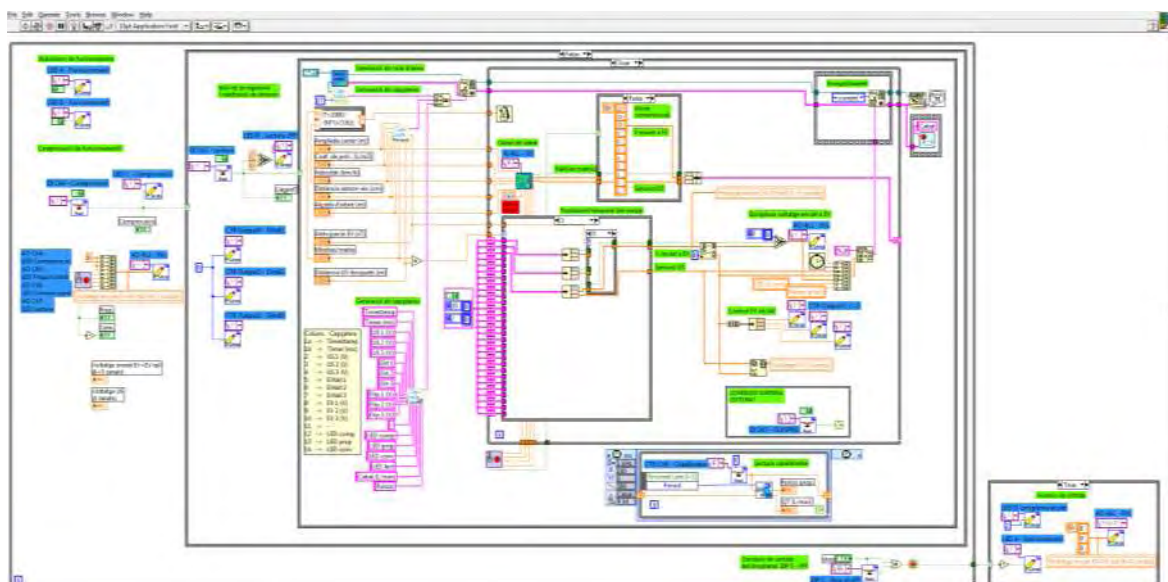


Figura 7.14.- Diagrama de flux de l'aplicació per al control i regulació del prototipus Fluxpro 2 amb sensors d'ultrasons.

A la Figura 7.15 s'observa el diagrama de blocs de l'aplicació amb la programació corresponent a la realització d'un tractament amb dosificació variable. L'estructura més externa és la que controla l'execució del programa, i es va repetint fins que no es prem l'interruptor d'aturada. La següent estructura cap endins és una estructura condicional que determina si s'executen les instruccions de comprovació o no en funció de la selecció de l'usuari (en el cas mostrat, l'usuari no havia activat l'interruptor de comprovació). La tercera estructura, també de tipus condicional, determina si s'executen les instruccions per a la realització d'un assaig (cas que es mostra a la Figura 7.15) o si s'està a l'espera de les instruccions de l'usuari. Dins de la tercera estructura s'observen dues estructures més d'execució paral·lela. La més petita és una estructura repetitiva dedicada a estimar el cabal polvoritzat a partir dels senyals digitals polsats del cabalímetre. L'estructura major també es de tipus repetitiu i conté les instruccions per al monitoratge, regulació i enregistrament del procés de polvorització. Dins d'aquesta estructura es poden apreciar altres estructures menors que permeten la selecció del mode de funcionament (convencional o variable), la determinació del temps de retard entre caracterització i actuació, l'enregistrament de les dades obtingudes i l'anàlisi de la variable de condició de sortida determinada per la posició de l'interruptor de selecció.



**Figura 7.15.-** Diagrama de blocs de l'aplicació per al control i regulació del prototipus Fluxpro 2 amb sensors d'ultrasons.

L'estructura condicional situada a baix a la dreta, fora de tota altra estructura, és l'encarregada d'enviar un senyal de control de 0 V a les electrovàlvules del prototipus per a aturar la polvorització una vegada l'usuari accioni l'interruptor de finalització del tractament.

## 7.4 Validació del prototipus

La validació dels prototipus es realitzà en diverses etapes. En primer lloc es va analitzar el comportament de tots els components utilitzats en els dos prototipus per tal de realitzar-ne el calibratge i validar el seu funcionament. La implementació dels components del prototipus va donar pas a l'anàlisi del comportament dels prototipus en laboratori. Finalment, una vegada validat en laboratori, es va procedir a validar el funcionament dels prototipus en condicions de treball real de camp, a les plantacions que l'Estació Experimental de Lleida de l'Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries té a Gimènells, terme municipal de Gimènells i Pla de la Font.

### 7.4.1 Validació del prototipus Fluxpro 1 en laboratori

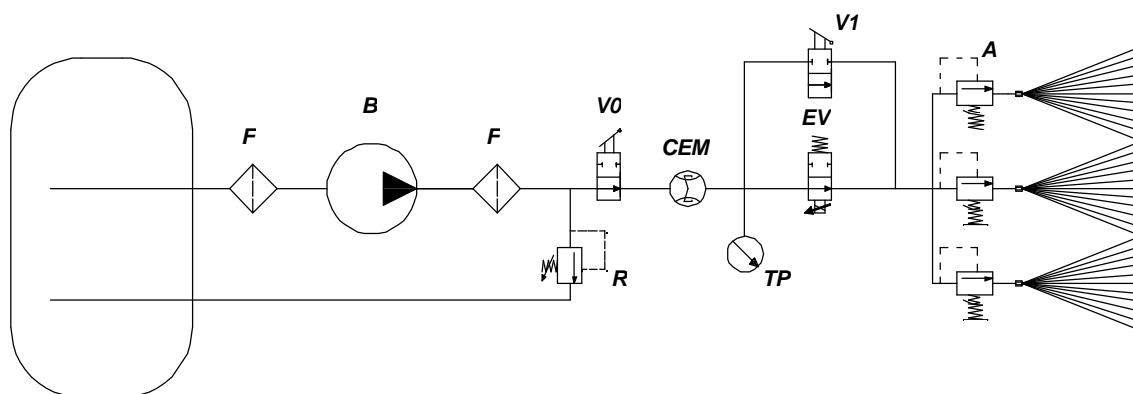
El cabalímetre electromagnètic utilitzat es va adquirir per a la seva implementació al prototipus Fluxpro 1 i anava acompanyat d'un certificat de calibratge del fabricant. Per aquest motiu no es va realitzar un calibratge específic i es va adoptar el calibratge proporcionat pel fabricant. El senyal de resposta del sensor era un senyal d'intensitat entre 4 mA i 20 mA i el rang de cabals mesurat anava de 0 L/min a 30 L/min. A partir d'aquesta informació es va determinar la recta de calibratge que es mostra en Equació 7.3.

Equació 7.3

$$Q_{EM} = 1.875 \cdot I_{Sem} - 7,5$$

On  $Q_{EM}$  és el cabal estimat pel cabalímetre electromagnètic, expressat en L/min;  $I_{Sem}$  és el senyal de resposta del cabalímetre electromagnètic, expressat en A.

La caracterització de l'electrovàlvula proporcional es va realitzar directament sobre el polvoritzador que serviria per a implementar el prototipus Fluxpro 1. Al polvoritzador es va muntar el circuit elemental de la Figura 7.16 en el que es va comptar amb els elements propis del polvoritzador així com amb elements afegits per al monitoratge i actuació del prototipus.



**Figura 7.16.-** Esquema hidràulic del circuit elemental implementat sobre el prototipus Fluxpro 1 per a validar l'electrovàlvula en laboratori. A l'esquema s'hi indiquen els elements principals tals com filtres (F), bomba (B), regulador (R), distribuïdor principal (V0), cabalímetre electromagnètic (CEM), transductor de pressió (TP), electrovàlvula proporcional (EV1), vàlvula manual per a la selecció de mode de treball variable i convencional (V1) i antidegotejos (A).

Per tal de realitzar l'assaig de validació de l'electrovàlvula proporcional, es va procedir a enviar un senyal de control conegut i a enregistrar la resposta del cabal emès per tal d'analitzar-la posteriorment. El voltatge enviat era una funció lineal que abastava tot el rang de senyals de control admesos per l'electrovàlvula que es repetia deu vegades amb pendent positiu, per a analitzar la resposta davant de voltatges ascendents, i deu vegades amb pendent negatiu, per a analitzar la resposta davant de voltatges descendents. Aquest procediment es va repetir per a diferents combinacions de broquets hidràulics de turbulència i diferents pressions de treball aigües amunt de l'electrovàlvula per tal d'analitzar la seva resposta en diferents condicions de treball. La relació més satisfactòria entre el senyal de control enviat i el cabal emès es va determinar en termes de màxima amplitud del rang de cabals dins d'un rang de pressions adient a l'operació de polvorització. Una vegada establerta la combinació de broquets i pressió de treball més adient, es va procedir a ajustar una funció matemàtica de tipus polinòmic per tal d'incorporar-la al programa de regulació del prototipus.

Una vegada caracteritzada l'electrovàlvula, es va procedir a realitzar una comprovació dinàmica del comportament del circuit. A tal efecte s'enviava un senyal elèctric simulant la resposta dels sensors d'ultrasons i s'enregistrava la resposta en cabal del circuit. Amb aquestes proves es va estudiar la resposta del sistema en termes de cabal polvoritzat enfront de variacions ràpides de la capçada. Per a analitzar els resultats obtinguts es va procedir a representar les variables per a la seva anàlisi quantitativa i a estudiar la correlació entre el cabal teòric que calia aplicar a la capçada simulada i el cabal real polvoritzat mitjançant l'ajust d'un model de regressió lineal prèvia elaboració dels diagrames de dispersió i de residus.

Un aspecte important que es va estudiar en aquest punt de la implementació va ser la influència que podia arribar a tenir el principi de funcionament de les electrovàlvules per a aconseguir la variació del cabal en la població de gotes polvoritzades. Per tal d'avaluar aquesta influència, es va dissenyar un assaig per a la determinació de la mida de gota del tipus de broquet hidràulic de turbulència seleccionat funcionant a pressió constant i a pressió variable. L'equipament utilitzat va ser un analitzador de partícules de fase Doppler (amb sigla anglosaxona PDPA) de la marca Dantec Dynamics A/S (Skovlunde, Dinamarca). Aquest tipus de dispositius analitzen el flux de gotes produïdes per un broquet per tal d'adquirir informació sobre la velocitat i el diàmetre d'una mostra de gotes individuals. L'analitzador consisteix en un emissor làser, un receptor, un processador de senyals i un ordinador. El dispositiu emet un llum làser de baixa potència que es divideix en dos feixos que convergeixen en un punt. El punt d'intersecció determina la zona o volum de mostratge. Quan una gota travessa aquest volum de mostratge dispersa els feixos de llum amb un patró d'interferència característic. La diferència entre la freqüència original del làser i la llum dispersada és proporcional a la velocitat de la gota i la freqüència espacial del patró de les interferències produïdes és inversament proporcional al diàmetre de les gotes.

Els assajos es van realitzar seguint una metodologia equivalent a la descrita en Nuyttens *et al.* (2005) per a la caracterització de la població de gotes de broquets agrícoles. Per a l'assaig a pressió constant es va seleccionar un broquet hidràulic de turbulència ATR Taronja (Albuz Saint-Gobain Solcera, Evreux, França) per a treballar a una pressió de 0,8 MPa. L'assaig a pressió variable es va realitzar amb el mateix broquet però inserint l'electrovàlvula proporcional en la conducció, just abans d'arribar al broquet. Per tal de fer l'assaig el més similar possible a les condicions de treball del prototipus Fluxpro 1, es va crear un programa de regulació basat en LabVIEW per a simular un senyal de control a l'electrovàlvula que fos proporcional a unes mesures reals de capçada obtingudes en camp. Amb la repetició contínua d'aquest senyal de control que modificava l'obertura de l'electrovàlvula i, per tant, la pressió i el cabal que emetia el broquet, es van anar realitzant les mesures de les gotes polvoritzades.

Tant en el cas de l'assaig a pressió constant com en el cas de l'assaig a pressió variable es van realitzar tres repeticions. Es va realitzar una prova d'anàlisi de la variància per tal de determinar si les mitjanes de les mostres analitzades en cadascuna de les tres repeticions dels dos assajos representaven correctament la població de gotes produïdes pel broquet estudiat. A continuació es van determinar els valors del diàmetre de la mediana numèrica (DMN o NMD si s'empra la sigla anglosaxona) i del diàmetre de la mediana volumètrica (DMV o VMD si s'empra la sigla anglosaxona), a més dels diàmetres volumètrics dels percentils 10 i 90 de cadascuna de les sis mesures realitzades. A partir dels sis valors obtinguts es van calcular els valors mitjans d'aquests paràmetres per als dos assajos realitzats. Amb els valors mitjans es va calcular els paràmetres descriptius de la dispersió de les poblacions de gotes corresponents al Span (Equació 7.4), Span relatiu (Equació 7.5) i coeficient d'homogeneïtat, CH (Equació 7.6).

**Equació 7.4** 
$$\text{Span} = DV_{90} - DV_{10}$$

On Span és la diferència expressada en  $\mu\text{m}$  entre el  $DV_{90}$ , el diàmetre del percentil 90% del volum acumulat expressat en  $\mu\text{m}$ , i el  $DV_{10}$ , el diàmetre del percentil 10% del volum acumulat expressat en  $\mu\text{m}$ .

**Equació 7.5** 
$$\text{Span relatiu} = \frac{\text{Span}}{\text{DMV}}$$

On Span relatiu és un coeficient adimensional i DMV és el diàmetre de la mediana volumètrica, expressat en  $\mu\text{m}$ .

**Equació 7.6** 
$$\text{CH} = \frac{\text{DMV}}{\text{DMN}}$$

On CH és el coeficient d'homogeneïtat, adimensional; DMV és el diàmetre de la mediana volumètrica, expressat en  $\mu\text{m}$ ; DMN és el diàmetre de la mediana numèrica, expressat en  $\mu\text{m}$ .

Per tal de comparar les mostres de gotes entre sí es va seleccionar la repetició dels dos assajos que tingués els valors de DMV i DMN més propers als valors mitjans. A més de representar els histogrames relatius i les seves corbes acumulades, es va dur a terme una anàlisi de la variància per tal de determinar si les mitjanes de les mostres obtingudes amb les dues metodologies d'assaig es podien considerar pertanyents a la mateixa població o, per contra, es podien establir diferències estadísticament significatives.



Per a l'avaluació del funcionament global del prototipus Fluxpro 1 es va implementar el circuit hidràulic mostrat a la Figura 7.1 que havia de servir de base i es van realitzar dues operacions de validació. La primera va consistir en ajustar la posició dels sensors d'ultrasons en relació al pla vertical definit pels broquets per tal de sincronitzar la resposta de les electrovàlvules amb la velocitat d'avanç de l'equip. La segona operació consistí en validar el funcionament del prototipus en els dos modes de treball possibles basats en el Mètode 1 de polvorització: caracteritzant la capçada amb un o bé amb dos sensors d'ultrasons.

En referència a la primera operació, cal aclarir que en aquesta primera versió el programa de regulació del prototipus no disposava de control de la freqüència de mostratge. Això va comportar que s'hagués d'adaptar la posició dels sensors en el prototipus en funció de la resposta temporal del sistema per tal de sincronitzar el funcionament de les electrovàlvules amb la caracterització de la capçada. Aquesta operació es va realitzar amb l'ajuda d'un banc mòbil consistent en un perfil d'acer suspès del sostre amb una guia dentada per on hi circula un motor elèctric. El comandament d'aquest motor es realitza mitjançant un variador de freqüència que permet modificar la velocitat d'avanç del motor per la biga. Amb el prototipus en funcionament, però de forma estàtica, es feia passar un blanc artificial simulant el moviment relatiu entre el polvoritzador i la capçada durant un tractament real. El blanc artificial va ser desplaçat a diferents velocitats per davant dels sensors d'ultrasons fins que es va observar una bona sincronització entre la seva detecció, l'activació de les electrovàlvules, l'inici de la polvorització i l'impacte de les gotes en el propi blanc.

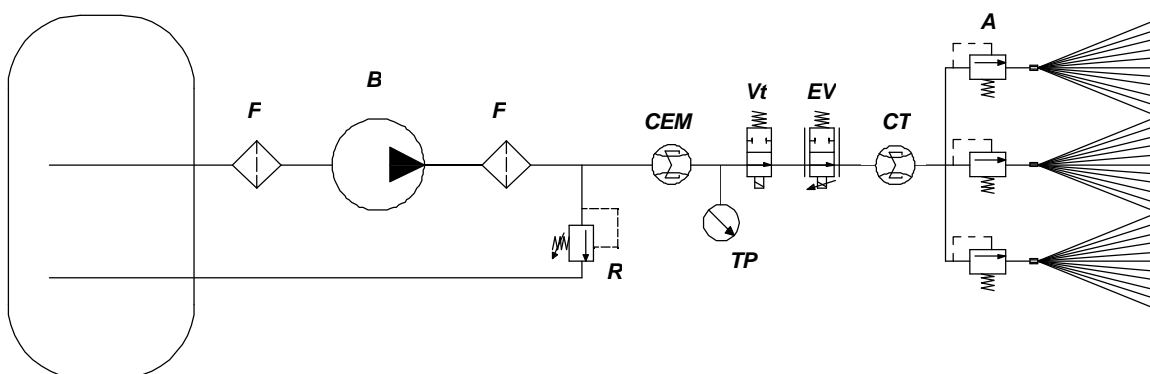
La segona operació que es va realitzar en els assajos de validació amb la màquina estàtica va consistir en una comprovació qualitativa del funcionament dels dos sistemes de regulació, basat en un o dos sensors d'ultrasons. El sistema de control I consistia en anul·lar el sensor d'ultrasons superior, Sensor 2, per tal que el Sensor 1, l'inferior, fos el que generés la resposta que serviria per a comandar els sis broquets de l'arc del polvoritzador. Amb aquest sistema s'hauria de ser capaç de polvoritzar el doble del cabal polvoritzat amb el circuit elemental descrit anteriorment. El sistema de control II consistia en adquirir el senyal dels dos sensors d'ultrasons per a generar dos senyals de control diferents per a controlar les dues electrovàlvules proporcionals de manera independent. Per tal d'estudiar la resposta del prototipus, es van fer servir blancs artificials que s'anaven situant davant dels sensors d'ultrasons a diferents distàncies simulant la variació de les capçades en una aplicació real. La validació va consistir en comprovar qualitativament que les evolucions de les corbes de cabal al llarg del temps seguien una tendència similar a les corbes corresponents a simulacions dels senyals de resposta dels sensors d'ultrasons.



Una vegada realitzades totes aquestes operacions de calibratge i validació en laboratori, el prototipus Fluxpro 1 ja estaria en disposició de realitzar la validació final en camp, en condicions de treball similars a els reals.

## 7.4.2 Validació del prototipus Fluxpro 2 en laboratori

Per a la validació del prototipus Fluxpro 2 en laboratori es va muntar el circuit elemental de la Figura 7.17 en un banc de proves on es van avaluar amb més precisió els elements ja emprats en el prototipus Fluxpro 1 i la seva interacció amb els nous dispositius.



**Figura 7.17.-** Esquema hidràulic del circuit elemental muntat al banc de proves per a l'anàlisi i millora del seu funcionament. A l'esquema s'hi indiquen els elements principals tals com filtres (F), bomba (B), regulador (R), cabalímetre electromagnètic (CEM), cabalímetre de turbina (CT), transductor de pressió (TP), electrovàlvula de tall (Vt), electrovàlvula proporcional (EV) i antidegotejos (A).

Les principals diferències amb el circuit elemental del prototipus Fluxpro 1 (Figura 7.16) van ser la incorporació d'una electrovàlvula de tall per a ajudar a interrompre el pas d'aigua en cas que l'electrovàlvula proporcional rebés un senyal de control nul, i la implementació d'un cabalímetre de turbina per a comparar la seva resposta amb la del cabalímetre electromagnètic. A la Figura 7.18 es pot observar el circuit elemental muntat al banc de proves per a la seva validació.

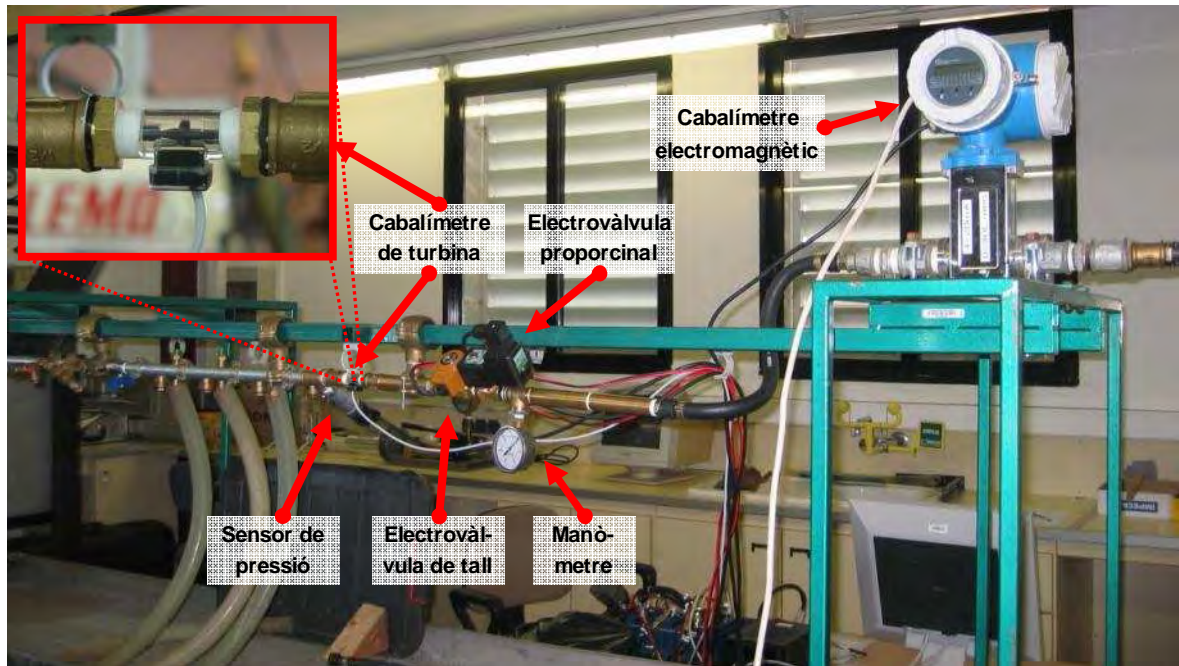


Figura 7.18.- Circuit elemental del prototipus Fluxpro 2 muntat al banc de proves per a la seva validació.

La primera operació a realitzar en el banc de proves va ser el calibratge del cabalímetre de turbina. El procediment va consistir en mesurar el número de polsos emesos pel cabalímetre a intervals de 100 ms amb els PAC descrit a l'apartat 7.3.5.2 per a diferents cabals de pas. L'interval de temps es va establir en 100 ms per tal de poder assolir una freqüència de lectura de 10 Hz i poder detectar variacions ràpides en el cabal emès així com quantificar el temps de reacció del circuit des del moment en que l'electrovàlvula rebia el senyal de control fins que s'estabilitzava la lectura dels cabalímetres. El cabal real es va mesurar amb el cabalímetre electromagnètic ja que els diferents punts de calibratge es van prendre amb el valor de cabal estabilitzat.

L'anàlisi de les dades va consistir en una avaluació qualitativa del diagrama de dispersió dels cabals reals entesos com a variable explicada en funció dels polsos generats pel cabalímetre, com a variable explicativa, i del diagrama de residus. Si el diagrama de residus no presentava estructuració de les dades es passaria a ajustar un model de regressió lineal simple al núvol de dades del diagrama de dispersió per a la seva avaluació quantitativa. La funció lineal d'ajust obtinguda serviria com a funció de calibratge del cabalímetre.

La següent operació a realitzar, una vegada calibrat el cabalímetre de turbina, va ser l'estudi del temps de resposta del circuit hidràulic elemental i del cabalímetre electromagnètic. La metodologia emprada consistí en enviar un senyal de control en forma d'ona quadrada amb la màxima amplitud possible (de 0 V a 10 V) a l'electrovàlvula proporcional amb l'electrovàlvula de tall oberta per tal d'analitzar la resposta del sensor de pressió i dels cabalímetres. El temps de resposta del circuit es va determinar a partir del menor temps de resposta dels sensors utilitzats. Cal tenir en compte que en aquest temps també hi ha inclòs el temps de resposta del sensor però aquest no es tindria en compte en cas de ser suficientment petit.



Una millora important que es desitjava introduir en el prototipus Fluxpro 2 era la de poder incrementar el cabal emès per cada electrovàlvula. Per tal de poder incrementar aquest cabal calia incrementar la pressió de treball aigües amunt de l'electrovàlvula proporcional. Aquest fet provocava que, en cas de superar els 0,8 MPa aigües amunt i tenir un senyal de control de 0 V, l'electrovàlvula no tingués prou força per a tancar el pas de l'aigua. Per aquest motiu es va introduir l'electrovàlvula de tall, encarregada de tallar el flux de líquid quan el senyal de control de l'electrovàlvula proporcional fos nul. La incorporació de l'electrovàlvula de tall va permetre incrementar la pressió del regulador del polvoritzador més enllà dels 0,8 MPa. Una altra funció que es va assignar a l'electrovàlvula de tall va ser la de no permetre la polvorització a pressions excessivament baixes tals que no generessin un raig de polvorització correcte. Aquest fet es produïa quan el senyal de control enviat a les electrovàlvules proporcionals prenia valors molt reduïts. Es van realitzar diversos assajos per tal d'avaluar el comportament del circuit quan l'inici de la polvorització es produïa als 0 V del senyal de control de les electrovàlvules, a 1 V o bé a 2 V. Iniciar la polvorització amb un senyal de control diferent de 0 V implicaria una lleugera sobredosificació de les zones amb poca vegetació però aquest efecte es podia menystenir davant de possibles problemes de deposició causats per una qualitat deficient de polvorització.

La bateria d'assajos que es va dissenyar consistí en analitzar el comportament de diferents configuracions del circuit hidràulic elemental davant d'un senyal de control triangular amb tres repeticions enviat a l'electrovàlvula proporcional. Les configuracions van ser diferents combinacions de broquets de turbulència de diferent diàmetre de pas (broquets verds, vermells i taronja) combinats amb diferents pressions de treball aigües amunt de les electrovàlvules i amb diferents valors del senyal de control com a llindar d'inici de la polvorització.

La combinació escollida per a implementar al prototipus Fluxpro 2 seria aquella que permetés un ampli rang de regulació del cabal a unes pressions de treball adequades per a les operacions d'aplicació de productes fitosanitaris mitjançant polvorització hidràulica amb broquets de turbulència. Una vegada seleccionada la combinació de broquets i pressió de treball es procediria a analitzar els diagrames de dispersió i de residus per tal d'ajustar un model polinòmic amb grau tal que obtingués un coeficient de determinació suficientment elevat. La funció d'ajust es va utilitzar com a funció de calibratge en el programa de regulació.



Una vegada definits els paràmetres del circuit elemental, es va procedir a muntar sobre el polvoritzador base del prototipus Fluxpro 2 el circuit hidràulic complet mostrat a la Figura 7.2. El circuit, instal·lat en un lateral del polvoritzador, consta de tres circuits elementals i la seva corresponent interrelació. Per tal de poder continuar enregistrant el cabal total polvoritzat va ser necessari canviar el cabalímetre de turbina utilitzat en el calibratge del circuit elemental per un que tingués un camp de mesura més ampli. El cabalímetre escollit va ser el cabalímetre de turbina de la marca Arag descrit a l'apartat 7.3.4. Abans de continuar amb la validació del prototipus es va haver de realitzar el calibratge del cabalímetre que es va dur a terme seguint el mateix procediment que l'utilitzat en el calibratge del cabalímetre de turbina del banc de proves. La freqüència de mesura es va fixar en 10 Hz per tal de permetre el monitoratge de variacions ràpides del cabal emès amb una precisió suficient. Freqüències més altes afectaven negativament la precisió de les mesures per manca de resolució del sensor ja que els polsos obtinguts en intervals de temps molt reduïts eren molt pocs.



La darrera comprovació en laboratori fou la mesura del cabal emès pel prototipus en un banc de provetes de la casa AAMS (Maldegem, Bèlgica). Tal com s'aprecia a la Figura 7.19, el banc consisteix en un suport amb 20 provetes que recullen el volum emès per cadascun dels broquets mitjançant una sèrie de connexions hidràuliques. El banc es complementa amb un sistema electrònic gestionat per un ordinador amb un software que permet determinar el cabal emès per cadascun dels broquets connectats. L'assaig va consistir en enviar senyals de control directament a les electrovàlvules proporcionals per tal de mesurar el cabal que generaven en cadascuna de les tres seccions del prototipus Fluxpro 2. Per tal de poder realitzar aquest assaig es va dissenyar un programa que permetia enviar diferents senyals de controls iguals a cada electrovàlvula o bé generar combinacions de senyals de control per tal d'analitzar el comportament de l'equip.

El fet que les electrovàlvules proporcionals estiguessin muntades al prototipus podria alterar el model de funcionament determinat en el banc de proves. Per aquest motiu, en cas que les respostes de les electrovàlvules de les diferents seccions no fossin coherents entre elles, es procediria a modificar els senyals de control específics amb els coeficients de majoració o minoració corresponents. A més, es van tornar a determinar les relacions entre electrovàlvules proporcionals i senyal de control en relació al cabal emès per a comparar-les amb les obtingudes prèviament al banc de proves. En cas que el comportament diferís excessivament, es procediria a determinar les funcions polinòmiques d'ajust per tal d'incorporar-les al programa de regulació de l'equip en temps real.



Figura 7.19.- Assaig de comprovació del cabal emès per cadascun dels broquets de les tres seccions independents del prototipus Fluxpro 2 realitzat amb un banc d'assaig de provetes automatitzat.



Una vegada realitzades totes aquestes operacions de calibratge i validació en laboratori, el prototipus Fluxpro 2 ja està en disposició de realitzar la validació final en camp, en condicions de treball similars a els reals.

### 7.4.3 Validació del prototipus Fluxpro 1 en camp

La validació en camp del prototipus Fluxpro 1 va consistir en realitzar diverses aplicacions d'aigua en la plantació de perers *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' descrita a l'apartat 6.2.8.1

Caracterització amb sensors d'ultrasons, Figura 6.29. La primera aplicació es va realitzar amb el prototipus funcionant en mode convencional de dosificació constant, és a dir, aplicant un cabal constant corresponent al que haurien d'aplicar les electrovàlvules proporcionals amb obertura màxima. La següent aplicació es va realitzar amb el prototipus Fluxpro 1 a partir del Mètode 1 de dosificació variable en temps real i el sistema de control I, consistent en gestionar les dues electrovàlvules proporcionals conjuntament a partir de la informació sobre la capçada adquirida pels Sensor 1, el sensor inferior. La darrera aplicació es va dur a terme a partir del Mètode 1 de dosificació variable i amb el sistema de control II. En aquest darrer cas, l'obertura de cada electrovàlvula proporcional es regulava de manera independent a partir de la informació obtinguda pel sensors d'ultrasons corresponents.

En totes les aplicacions es van enregistrar les dades instantànies dels sensors d'ultrasons i del cabalímetre electromagnètic. A partir de la informació dels sensors d'ultrasons es va poder caracteritzar la capçada *a posteriori*, determinant la superfície de les semiseccions transversals instantànies i el volum de capçada instantània. A partir de la informació del cabalímetre electromagnètic es va poder estimar el cabal instantani emès corresponent a cada lectura dels sensors d'ultrasons, el volum de líquid corresponent a cada volum instantani de capçada i el volum total aplicat en al tram polvoritzat.

Amb la informació enregistrada, es van avaluar els diferents graus de correlació entre les variables. La primera relació estudiada fou entre els cabals instantanis polvoritzats i les superfícies de les semiseccions transversals als que anaven dirigits tant en el sistema de control I com en el sistema II. També es va determinar el cabal teòric instantani que havia d'emetre el prototipus Fluxpro 1 en funció de la informació aportada pels sensors d'ultrasons i es va relacionar amb el cabal instantani real aplicat en cada punt. Per a l'estudi d'aquestes relacions entre les variables proposades, es van representar els corresponents diagrames de dispersió i de residus i es va procedir a ajustar els corresponents models de regressió lineal simple. L'anàlisi dels coeficients de correlació i de determinació indicaria la bondat de l'ajust del model i, per tant, el grau de relació entre les variables.

Finalment, la darrera comprovació es va basar en determinar el coeficient d'aplicació,  $i$ , a partir de la informació del volum de brou fitosanitari instantani polvoritzat en cada volum instantani de capçada estimat (Equació 5.6) i en analitzar el seu comportament en les diferents aplicacions realitzades. Aquest paràmetre es va fer servir com a estimador del comportament del sistema d'aplicació. Com a coeficient d'aplicació de referència es va establir el valor del coeficient obtingut en l'aplicació convencional amb dosificació constant en el seu cas més desfavorable, és a dir, en presència del volum instantani de capçada més elevat. Aquest valor de referència es va comparar amb la resta de valors del coeficient obtinguts en la mateixa aplicació convencional i amb els valors obtinguts en les aplicacions realitzades amb el prototipus a partir del Mètode 1 de dosificació tant amb el sistema de control I com amb el II. Les comparacions es van realitzar a partir d'estadístics descriptius, histogrames i diagrames de caixa. Mitjançant una anàlisi de la variància es va comprovar si les mitjanes de les mostres de coeficients d'aplicació obtingudes es podien considerar o no iguals.

Per a la interpretació dels resultats, cal tenir en compte que el Mètode 1 de dosificació variable pretén modificar el volum de brou aplicat en funció de l'amplada de capçada estimada pels sensors. Per tant, *a priori* caldria pensar que el comportament ideal del coeficient d'aplicació hauria de ser un valor constant fos quin, fos el volum de capçada polvoritzat.

#### 7.4.4 Validació del prototipus Fluxpro 2 en camp

La validació en camp del prototipus Fluxpro 2 va consistir en realitzar dues aplicacions d'aigua en la plantació de perers *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' descrita a l'apartat 6.2.8.1 Caracterització amb sensors d'ultrasons, Figura 6.33. La primera aplicació es va realitzar amb el prototipus funcionant en mode convencional amb dosificació constant, és a dir, aplicant un cabal constant corresponent a l'aplicat per les electrovàlvules proporcionals amb màxima obertura. La segona aplicació es va realitzar amb el prototipus Fluxpro 2 a partir del Mètode 2 de dosificació variable en temps real a partir de la informació de la capçada obtinguda amb el sensor lidar.

De manera prèvia a les aplicacions es va ajustar la sincronització entre l'activació de les electrovàlvules proporcionals de les diferents seccions i l'arribada de les gotes a la capçada. Tal com s'ha explicat a l'apartat 7.3.5.2, el prototipus Fluxpro 2 es capaç d'establir el temps de retard entre la detecció de la vegetació i l'enviament del senyal de control. Aquest càlcul es realitza a partir de la distància entre els sensors i els broquets, en funció de la resolució de mostratge i de la velocitat. El que calia sincronitzar era l'obertura de les electrovàlvules proporcionals amb la deposició del líquid emès sobre la capçada tenint en compte el temps esmerçat per les gotes en realitzar el trajecte entre els broquets i la capçada. Aquest ajust temporal es va realitzar de manera qualitativa mitjançant un procés de prova i error en la mateixa parcel·la.

En les dues aplicacions realitzades per a la validació del prototipus Fluxpro 2 es van enregistrar les dades instantànies del sensor lidar i del cabalímetre de turbina. A partir de la informació del sensor lidar es va poder caracteritzar la capçada *a posteriori*, determinant la superfície de les semiseccions transversals instantànies i el volum de capçada instantània. A partir de la informació del cabalímetre de turbina es va poder estimar el cabal instantani emès corresponent a cada lectura del sensors d'ultrasons, el volum de líquid corresponent a cada volum instantani de capçada i el volum total aplicat en el tram polvoritzat.

Amb la informació enregistrada es va avaluar el grau de correlació entre les variables. La primera relació estudiada fou entre els cabals instantanis polvoritzats i les superfícies de les semiseccions transversals als que anaven dirigits tant en el sistema convencional com en el sistema amb dosificació variable. També es va determinar el cabal teòric instantani que havia d'emetre el prototipus Fluxpro 2 en funció de la informació aportada pel sensor lidar i es va relacionar amb el cabal instantani real aplicat en cada punt. Per a l'estudi d'aquestes relacions entre les variables proposades, es van representar els corresponents diagrames de dispersió i de residus i es va procedir a ajustar els corresponents models de regressió lineal simple. L'anàlisi dels coeficients de correlació i de determinació indicaria la bondat de l'ajust del model i, per tant, el grau de relació entre les variables.

Finalment, la darrera comprovació es va basar en determinar el coeficient d'aplicació,  $i_a$  a partir de la informació del volum de brou fitosanitari instantani polvoritzat en cada volum instantani de capçada estimat (Equació 5.6) i en analitzar el seu comportament en les diferents aplicacions realitzades. Aquest paràmetre es va fer servir com a estimador del comportament del sistema d'aplicació. Donat que el Mètode 2 de dosificació variable estima el cabal a polvoritzar a partir d'un coeficient d'aplicació consigna, el valor de referència utilitzat en les comparacions va ser el mateix valor utilitzat en el programa de dosificació. En el cas de l'assaig de validació, el coeficient d'aplicació utilitzat va ser de  $0,125 \text{ L/m}^3$ , establert a partir d'experiències i coneixements previs. Aquest valor de referència es va comparar amb els valors del coeficient d'aplicació obtinguts en

l'aplicació convencional i amb els valors obtinguts en l'aplicació variable. Les comparacions es van realitzar a partir d'estadístics descriptius, histogrames i diagrames de caixa. Mitjançant una anàlisi de la variància es va comprovar si les mitjanes de les mostres de coeficients d'aplicació obtingudes es podien considerar o no iguals.

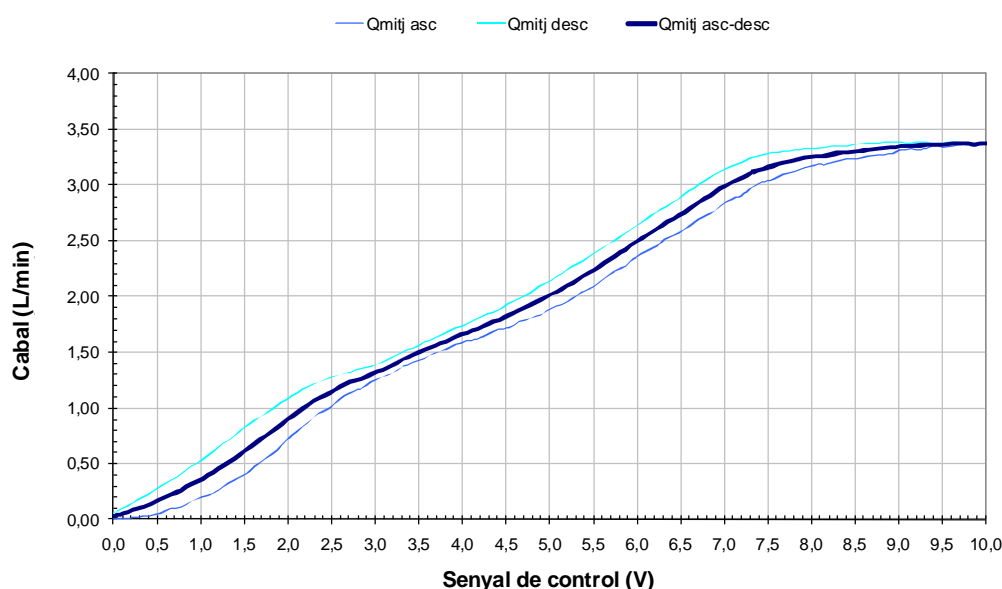
Per a la interpretació dels resultats, cal tenir en compte que el Mètode 2 de dosificació variable modifica el volum de brou fitosanitari aplicat en funció de l'amplada de capçada estimada pels sensors i del coeficient d'aplicació consigna. Per tant, *a priori* caldria pensar que el comportament ideal del coeficient d'aplicació hauria de ser un valor constant proper al valor de consigna fos quin fos el volum de capçada polvoritzat.

## 7.5 Resultats i discussió

### 7.5.1 Validació del prototipus Fluxpro 1 en laboratori

Per a realitzar una primera validació en laboratori, es va implementar el circuit elemental descrit a la Figura 7.16 sobre el mateix prototipus. Després d'analitzar el seu comportament a diverses pressions de treball i amb diferents broquets, es va optar per treballar amb tres broquets ATR Taronja (Albuz Saint-Gobain Solcera, Evreux, França) per permetre un rang de cabals acceptable amb unes pressions de treball adients.

La pèrdua de càrrega entre el regulador de pressió del distribuïdor i la sortida de l'electrovàlvula era de 0,2 MPa i la pressió diferencial màxima que suporta l'electrovàlvula és de 0,8 MPa (Taula 7.3). Aquest fet va determinar que la pressió màxima del regulador del prototipus Fluxpro 1 fos, com a màxim, d'1 MPa per tal que, en cas d'interrompre la polvorització, la diferència de pressió aigües avall (0 MPa) i aigües amunt (0,8 MPa) no superés el límit de pressió diferencial suportat per l'electrovàlvula. Si no es respectava aquest límit, la força descendent de la molla de l'èmbol de l'electrovàlvula proporcional no era suficient per a mantenir-lo en la posició de tancament. Aquesta és una limitació important de l'electrovàlvula. El fet de no haver-hi demanda d'aquest tipus d'electrovàlvules en el camp de l'agricultura va obligar a cercar-la en el camp de la hidràulica de processos químics i industrials en que les condicions de treball són diferents. Sabent que aquest és un inconvenient important de l'electrovàlvula i que en un futur caldria solucionar-lo o seguir la recerca per a trobar un producte més adient, es va continuar amb els assajos de validació. La resposta de l'electrovàlvula manifestava una certa histèresi, fet que es va resoldre obtenint la corba mitjana entre la resposta ascendent i descendent (Figura 7.20).



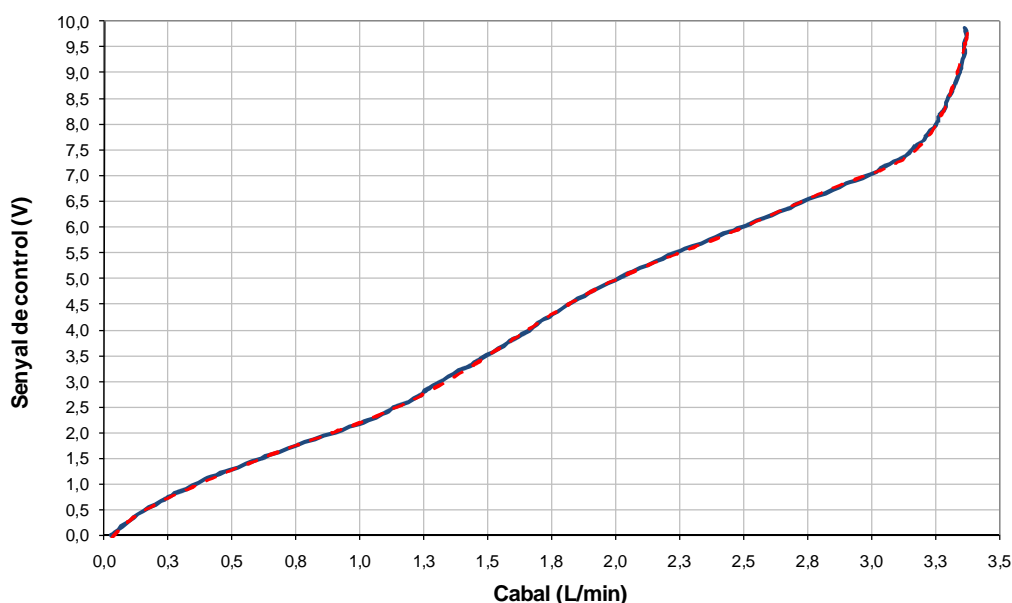
**Figura 7.20.-** Diagrama de dispersió de la resposta en cabal ascendent mitjà ( $Q_{mitj\ asc}$ ), descendent ( $Q_{mitj\ desc}$ ) i mitjana ( $Q_{mitj\ asc-desc}$ ) de l'electrovàlvula proporcional en un circuit amb 3 broquets Albuz ATR taronja enfront de variacions del senyal de control en el rang admès.

Una vegada coneguda i tipificada la resposta de cabal de l'electrovàlvula enfront de variacions del voltatge del senyal de control, es va invertir la funció per a considerar el valor del senyal de control com a variable dependent del cabal. Amb el Mètode 1 de dosificació variable es determina el cabal

que correspon a cada zona de la capçada i calia, per tant, determinar el senyal de control necessari per a emetre'l. La funció matemàtica ajustada per a la determinació del senyal de control en funció del cabal es recull en l'Equació 7.7. El fet que el control del procés el realitzés el microprocessador de l'ordinador portàtil, va permetre la utilització d'un ajust polinòmic de grau 9 sense sobrecarregar el sistema, assolint un coeficient de determinació de 0,998 (Figura 7.21). Aquesta funció de calibratge va permetre adaptar la funció de control de forma precisa a la resposta de l'electrovàlvula que, en contra del que indicava el fabricant, no era lineal en tot el rang de voltatges.

$$\text{Equació 7.7 } V = 0,18q_j^9 - 2,52q_j^8 + 14,87q_j^7 - 47,14q_j^6 + 86,87q_j^5 - 95,03q_j^4 + 61,59q_j^3 - 23,40q_j^2 + 6,99q_j - 0,21$$

On  $V$  és el senyal de control a enviar a les electrovàlvules proporcionals, expressat en V, per a emetre un cabal  $q_j$ , expressat en L/min.



**Figura 7.21.-** Diagrama de dispersió del senyal de control en funció del cabal desitjat (corba blava) en un circuit amb 3 broquets Albus ATR taronja. La corba discontinua roja és la funció polinòmica d'ajust de grau 9 descrita en l'Equació 7.7.

Una vegada establerta la funció de calibratge per a l'electrovàlvula proporcional, es va estudiar el seu comportament dinàmic enfront de variacions ràpides del senyal de control. El resultat de la comprovació dinàmica es mostra a la Figura 7.22 on es pot apreciar una alta proporcionalitat entre la simulació de les distàncies estimades pel sensors d'ultrasons i el cabal emès per l'electrovàlvula al llarg de temps. Tanmateix, entre la recepció del senyal de control per part de l'electrovàlvula i l'emissió del cabal es detecta un retard d'entre aproximadament 0,6 s i 1,0 s. Aquest retard podria ser degut a les inèrcies del circuit hidràulic i dels seus components, encara que no es descarten altres causes. El retard del sistema era variable segons les oscil·lacions del senyal de control. L'anàlisi d'aquest fenomen es deixà per més endavant i s'abordà com a millora a introduir al prototipus Fluxpro 2. A les gràfiques mostrades d'ara endavant s'ha corregit el retard de la resposta en cada cas per tal de fer-la correspondre amb el senyal de control corresponent.

A la Figura 7.23 es mostren els diagrames de dispersió i de residus realitzats per a l'ajust del model de regressió lineal simple aplicat per a determinar el grau de correlació entre els cabals realment polvoritzats i els teòrics. A la Taula 7.6 es mostren els resultats quantitatius del model.

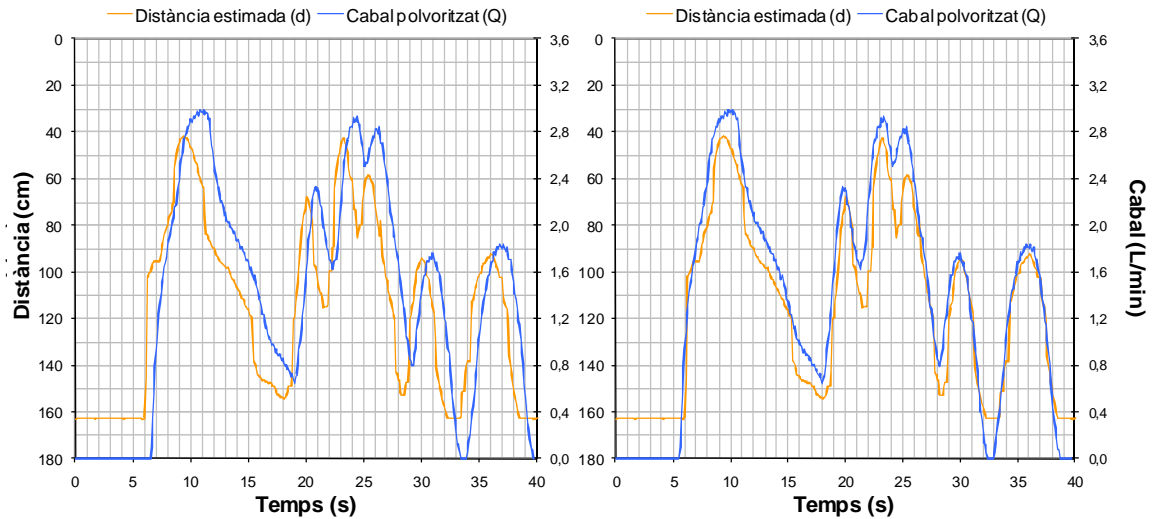


Figura 7.22.- Diagrama de dispersió de la resposta en cabal del circuit elemental enfront d'un senyal que simula la distància detectada pels sensors d'ultrasons sense correcció del retard (esquerra) i amb correcció del retard de 0,6 s (dreta).

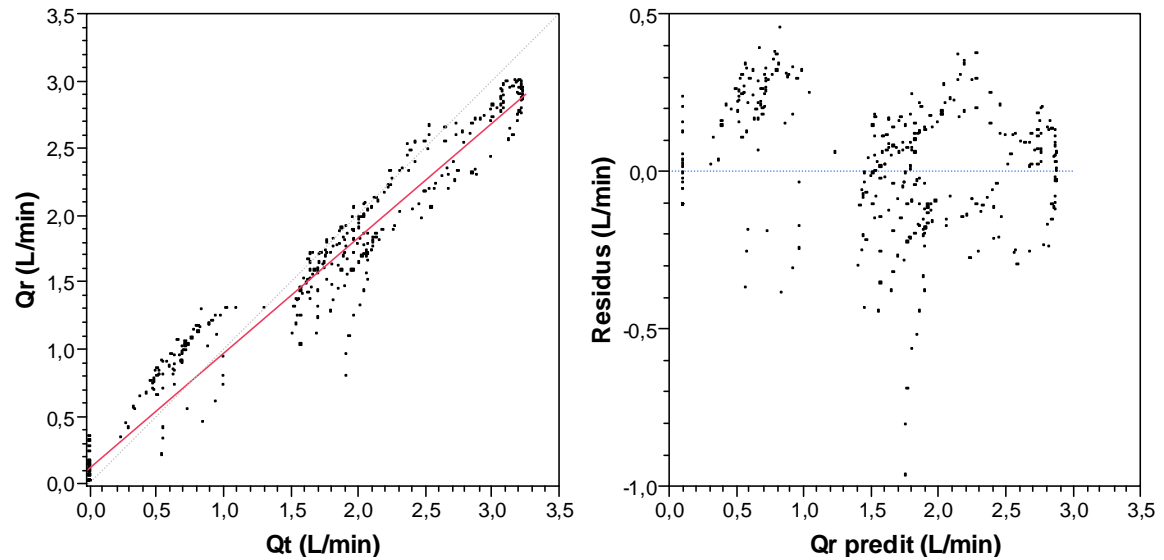


Figura 7.23.- Diagrama de dispersió dels cabals reals polvoritzats ( $Q_r$ ) i dels cabals teòrics ( $Q_t$ ) (esquerra) i diagrama de residus dels cabals reals predits (dreta) en la comprovació dinàmica de l'electrovàlvula proporcional. La recta discontinua gris indica la relació ideal entre cabals.

Taula 7.6.- Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades de cabals reals polvoritzats i de cabals teòrics.

Paràmetre	Valor	Terme	Estimació	Error est.	Estadístic t	Prob >  t
Coef. determinació ( $R^2$ )	0,959	Intersecció	0,110	0,016	6,730	< 0,0001
Coef. correlació (r)	0,979	Pendent	0,859	0,009	96,580	< 0,0001
AEQM* (L/min)	0,194					
Observacions	401					

\* Arrel quadrada de l'error quadràtic mitjà.

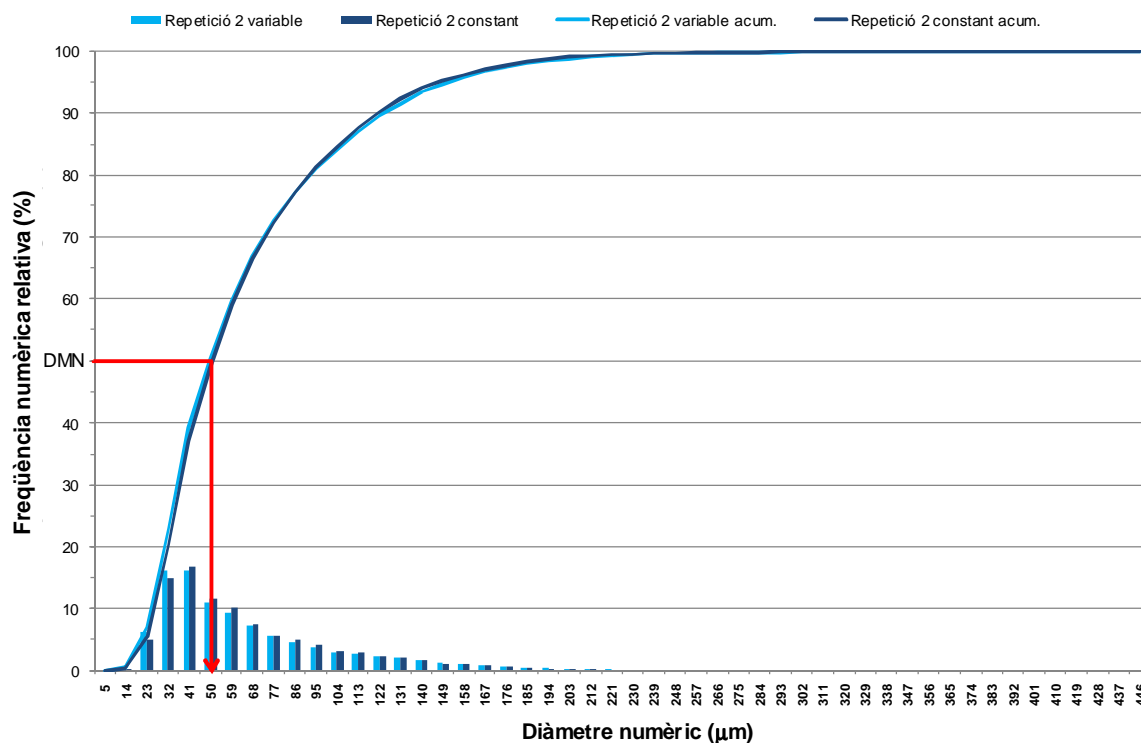
Tal com es pot apreciar a les figures anteriors i a la Taula 7.6, els cabals reals polvoritzats i el cabal teòric necessari presenten un alt grau de correlació amb un coeficient de correlació de pràcticament 0,98. El model ajustat explica gairebé el 96% de la variabilitat de les dades i el diagrama de residus no presenta una estructuració clara dels seus valors. Per tot això, es considera que l'electrovàlvula proporcional és apta per a la realització de dosificacions variables segons els mètodes proposats.



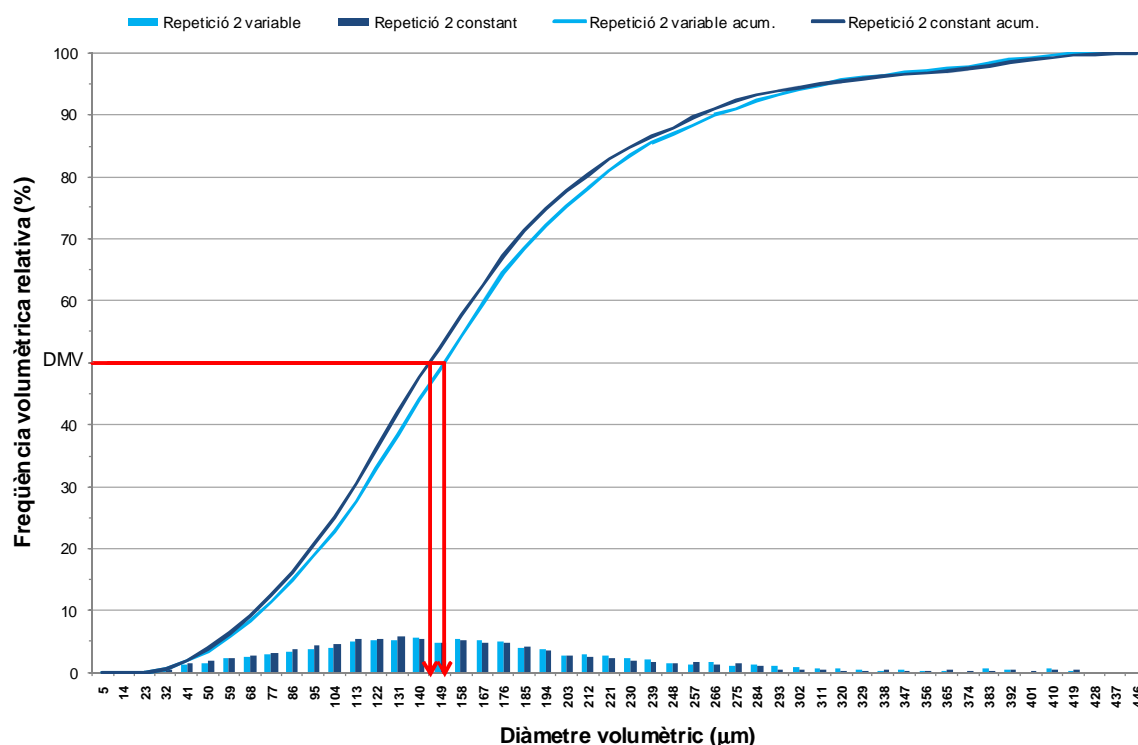
Tanmateix, després de diverses comprovacions s'observà que, a més del retard esmentat anteriorment, l'inici i la finalització de la polvorització patien un cert retard respecte a l'actuació de les electrovàlvules a partir dels senyals de control. Aquest retard s'atribuí inicialment al sistema hidràulic i, concretament, a la longitud del tram de conducció entre l'electrovàlvula i els broquets. Analitzant la seqüència d'inici de la polvorització, es va arribar a la conclusió que el retard era degut al temps necessari per a omplir d'aigua el tram de conducció i per a assolir la pressió mínima marcada pels antidegotejos dels portabroquets per a iniciar el procés de creació de les gotes. Per contra, en la seqüència de tancament el retard entre l'actuació de l'electrovàlvula i la interrupció de la polvorització era degut a que, una vegada tancada la electrovàlvula, els broquets continuaven polvoritzant fins que es buidava el tram de conducció i la pressió era menor a la pressió de tancament dels antidegotejos convencionals que incorporaven els portabroquets. Aquest pressió era, aproximadament, de 0,05 MPa. Per tal de pal·liar aquests efectes es va decidir modificar els antidegotejos originals per a que interrompessin el flux de fluid en pressions inferiors o iguals a aproximadament 0,15 MPa. Per a aconseguir-ho es van substituir les molles originals per unes de fabricades expressament per a assolir aquesta pressió d'obertura i tancament.



En referència a la mida de les gotes generades amb el sistema de dosificació variable, es van analitzar les gotes produïdes per un broquet taronja treballant a una pressió constant de 0,8 MPa i pel mateix broquet a una pressió variable entre 0 MPa i 0,8 MPa. A la Figura 7.24 i a la Figura 7.25 es mostren els histogrames de volum i de nombre de gotes obtinguts en funció del diàmetre de les gotes en els assajos de mida de gota.



**Figura 7.24.-** Histograma de freqüències relatives i freqüències relatives acumulades del nombre de gotes generat durant els assajos de mida de gota d'un broquet Albuz ATR taronja amb polvorització a pressió constant i a pressió variable (tècnica PDPA). Els diàmetres mostrats corresponen als diàmetres centrals de cada classe.



**Figura 7.25.-** Histograma de freqüències relatives i freqüències relatives acumulades del volum de gotes generat durant els assajos de mida de gota d'un broquet Albus ATR taronja amb polvorització a pressió constant i a pressió variable (tècnica PDPA). Els diàmetres mostrats corresponen als diàmetres centrals de cada classe.

Les tres repeticions realitzades de cada assaig no presentaren diferències estadísticament significatives i, per tant, es va considerar que les tres representaven la mateixa població de gotes. Per tal de realitzar la comparació entre les mostres de gotes obtingudes a pressió constant i les obtingudes a pressió variable, es van seleccionar les repeticions amb els valors de diàmetre de la mediana numèrica (DMN) i de diàmetre de la mediana volumètrica (DMV) més semblants als valors mitjans. En els dos casos, la repetició seleccionada va ser la repetició 2. A la Taula 7.7 es mostren els valors mitjans de les mostres de gotes obtingudes durant els assajos de mida de gota.

**Taula 7.7.-** Característiques de les mostres de gotes obtingudes d'un broquet Albus ATR taronja a partir de la mitjana dels valors de les tres repeticions realitzades a pressió constant i a pressió variable mitjançant la tècnica PDPA.

Característica	Assaig a pressió constant de 0,8 MPa	Assaig a pressió variable entre 0 MPa i 0,8 MPa
DMN mitjà (µm)	54,16	53,97
DMV mitjà (µm)	148,45	156,20
DV <sub>10</sub> mitjà (µm)	73,78	76,40
DV <sub>90</sub> mitjà (µm)	262,14	275,24
Coefficient d'homogeneïtat	2,74	2,89
Span (µm)	188,36	198,85
Span relatiu	1,27	1,27

A nivell de comptatge numèric de les gotes, tant a la Figura 7.24 com a la Taula 7.7 s'aprecia que les diferències entre les mostres de gotes produïdes són mínimes. Els diàmetres mitjans de les medianes numèriques només difereixen en 190 nm. En referència als volums d'aquestes gotes, l'histograma de la Figura 7.25 mostra un lleuger desplaçament de la distribució de gotes produïdes amb pressió variable cap a diàmetres majors. Aquest fet va provocar una diferència en les corbes acumulades que es tradueix en un increment del diàmetre de la mediana volumètrica en la mostra de

gotes generada amb tecnologia variable (Taula 7.7). Els paràmetres de caracterització de la dispersió Coeficient d'Homogeneïtat i Span indiquen que la distribució a pressió variable és lleugerament més dispersa que l'aconseguida a pressió constant amb el mètode convencional. Tanmateix, malgrat les diferències existents, l'anàlisi de la variància realitzat indica que aquestes diferències no són significatives i, per tant es pot considerar que les tres repeticions obtingudes a pressió constant i les tres obtingudes a pressió variable representen poblacions de gotes equivalents.

Un altre efecte esperat en la polvorització a pressió variable que sí que es va observar durant els assajos de mida de gota és la variació de l'obertura del con de polvorització de forma directament proporcional a la pressió de treball. Es considera que aquest fenomen podria tenir una incidència important en la utilització de barres de polvorització per a conreus herbacis per la necessitat de solapar correctament els vanos de gotes per a dosificar correctament. En conreus arboris, però, la població de gotes polvoritzades no requereix un solapament perfecte entre broquets adjacents ja que el corrent d'aire induït ja s'encarrega de repartir les gotes per la capçada. Tot i això, sí que hi podria haver alguna afectació en el cas que la vegetació fos molt escassa i el senyal de control fos petit, cosa que podria comportar treballar amb els rajos de polvorització amb poca obertura. Aquest efecte s'estudiarà, si s'escau, a l'apartat d'assajos de camp.



A continuació, s'implementà el circuit hidràulic mostrat a la Figura 7.1 al prototipus amb els antidegotejos modificats per tal posicionar els sensors d'ultrasons a la distància correcta respecte als broquets i validar el comportament de tot el sistema. En referència a la primera operació, després de diverses observacions qualitatives realitzades al banc mòbil es considerarà que la resposta dels sistemes hidràulic i electrònic, amb els elements de control dels que es disposava en aquell moment, era satisfactòria per a velocitats d'avanç de l'equip de 1,11 m/s (4 km/h). Cal dir que aquesta primera versió de prototipus no disposava de control de la freqüència de mostratge i, per tant, es va haver d'adaptar la implementació del prototipus a la resposta temporal del sistema.

La segona operació que calia realitzar en els assajos amb la màquina estàtica era comprovar el funcionament dels dos sistemes de control. El sistema de control I era capaç de polvoritzar entre 0 L/min i 6,5 L/min per costat en cas d'enviar el senyal de control per a la màxima obertura de les electrovàlvules. A la Figura 7.26 s'observen les variacions simulades de distància detectada pel sensor d'ultrasons inferior i la resposta de cabal i pressió de tot l'arc de polvorització del costat modificat treballant de manera unitària. La línia discontinua roja marca la pressió mínima que restava en el circuit a conseqüència de la utilització dels antidegotejos que evitaven un buidat complet de la canonada quan es tancava l'electrovàlvula proporcional. També es pot observar que el comportament del cabal i de la pressió són proporcionals entre ells i respecte a les distàncies detectades pels sensors d'ultrasons. La pressió no descendeix per sota del valor llindar mínim de 0,15 MPa, pressió determinada per les molles noves construïdes expressament per als dispositius antidegoteig.

Finalment, restava comprovar el funcionament del sistema de control II. En aquest mode de funcionament els dos sensors d'ultrasons estaven actius i la seva resposta servia per a controlar les respectives electrovàlvules. El resultat global era la variació del cabal total polvoritzat en funció de dues corbes d'amplada de capçada, tal com es representa a la Figura 7.27. En aquesta figura es poden apreciar les dues semiamples estimades per cadascun dels sensors. La semiamplesa 1 es determina a partir del sensor inferior i la semiamplesa 2 a partir del superior. Cadascuna de

les semiamplades determina el cabal a emetre per la corresponent electrovàlvula proporcional a partir de l'aplicació del Mètode 1 (Equació 5.3). A la Figura 7.27 també s'hi representa la corba de semiseccions transversals però únicament a efectes de valorar qualitativament la proporcionalitat respecte al cabal polvoritzat. En línies generals, la corba blava de cabal polvoritzat segueix la tendència de la corba de semiseccions transversals però quan les variacions de la capçada són molt brusques, el cabal polvoritzat no varia a la mateixa velocitat ni en la mateixa magnitud. Aquest fet també podria ser degut a possibles inèrcies hidràuliques del circuit de polvorització però també a la velocitat de resposta del sensor de cabal. L'anàlisi d'aquest fenomen es deixa per més endavant com a millora a introduir al prototipus Fluxpro 2.

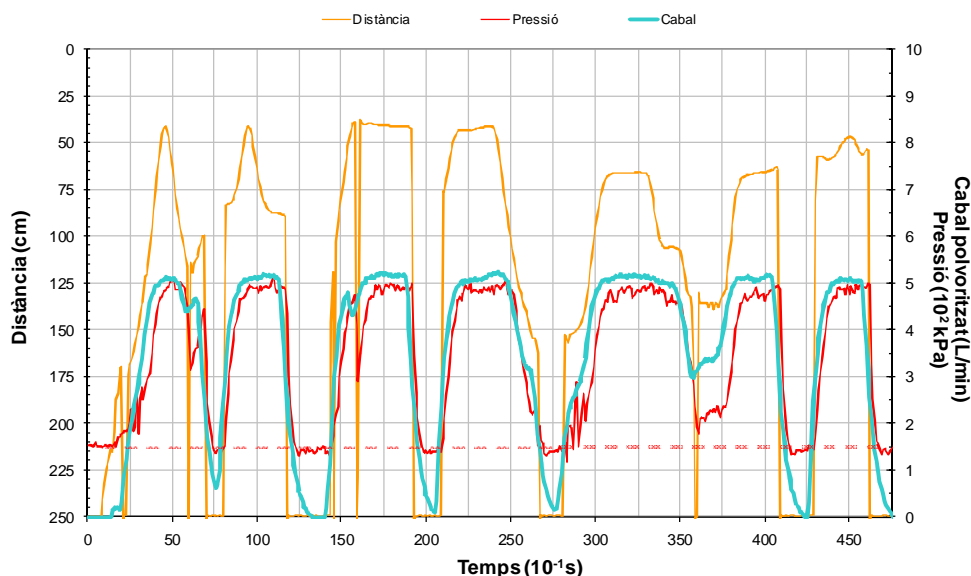


Figura 7.26.- Diagrama de dispersió de la resposta en cabal i pressió del sistema de control I enfront de variacions de la distància a un blanc artificial detectada pel sensor.

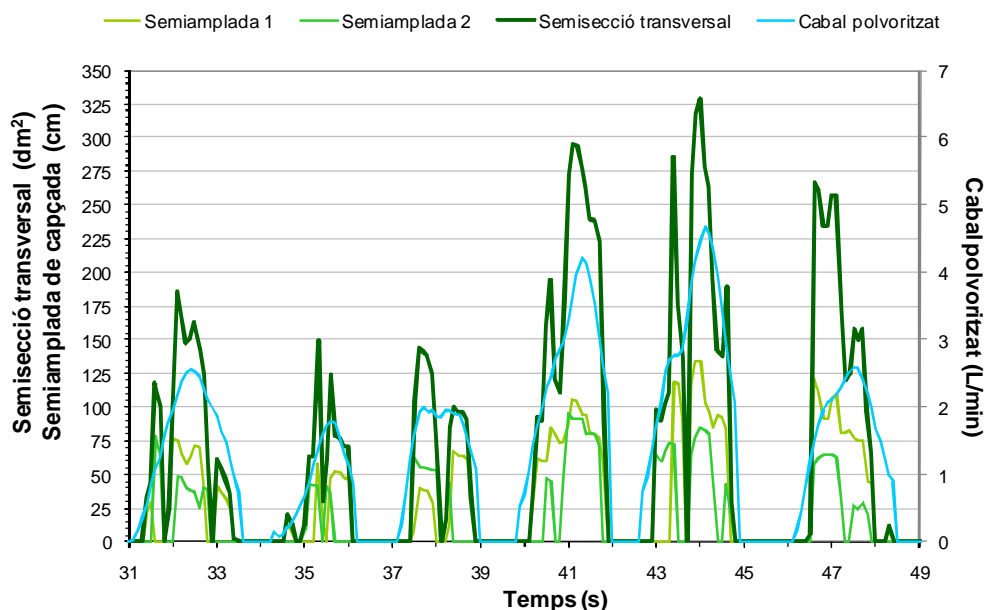
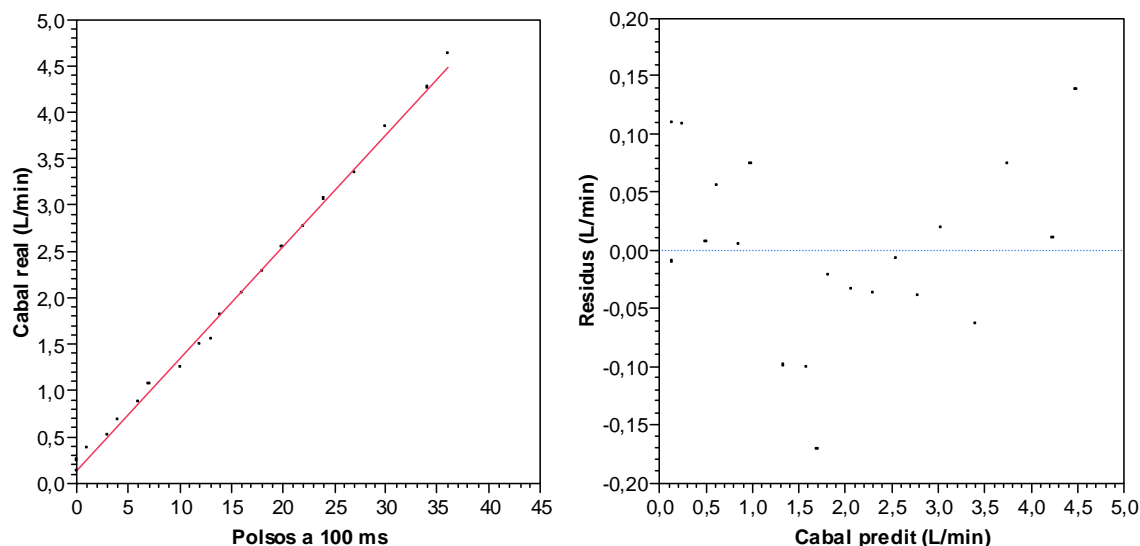


Figura 7.27.- Diagrama de dispersió de la resposta en cabal del sistema de control II enfront de variacions simulades de les semiamplades d'arbre i de la semisecció transversal.

## 7.5.2 Validació del prototipus Fluxpro 2 en laboratori

Les millores del prototipus Fluxpro 2 van iniciar-se al banc de proves on es va muntar el circuit elemental de la Figura 7.17. El primer aspecte estudiat fou el temps de resposta del circuit hidràulic en front de variacions del senyal de control a partir de l'anàlisi de la resposta dels dos cabalímetres. Prèviament a l'estudi es va realitzar el calibratge del cabalímetre de turbina Badger amb els resultats mostrats a la Figura 7.28 i la Taula 7.8.



**Figura 7.28.-** Diagrama de dispersió dels polsos generats pel cabalímetre de turbina Badger en funció del cabal que hi circulava (esquerra) i diagrama de residus del cabal predit a partir dels polsos del cabalímetre (dreta) per a una freqüència de lectura del cabalímetre de 10 Hz.

**Taula 7.8.-** Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades generades pel cabalímetre de turbina.

Paràmetre	Valor	Terme	Estimació	Error est.	Estadístic t	Prob >  t
Coef. determinació ( $R^2$ )	0,997	Intersecció	0,131	0,030	4,360	0,0004
Coef. correlació (r)	0,998	Pendent	0,121	0,002	74,320	< 0,0001
AEQM* (L/min)	0,080					
Observacions	20					

\* Arrel quadrada de l'error quadràtic mitjà.

Com es pot apreciar, el calibratge realitzat permet aconseguir una bona estimació del cabal polvoritzat amb una freqüència de mostreig de 10 Hz, cosa que va permetre detectar canvis ràpids en el cabal emès per les electrovàlvules i estimar els possibles retards en la resposta del circuit hidràulic.

Una vegada calibrat el cabalímetre Badger es va procedir a realitzar l'estudi del temps de resposta del circuit hidràulic elemental. A la Figura 7.29 es pot apreciar el senyal de control de tipus esglaió entre 0 V i 10 V, el voltatge mínim i el màxim, enviat a l'electrovàlvula proporcional i les respostes obtingudes del sensor de pressió i dels dos cabalímetres, l'electromagnètic i el de turbina Badger. En aquesta figura es fa palès el retard en el senyal de resposta que pateix el cabalímetre electromagnètic. Inicialment, en el desenvolupament del prototipus Fluxpro 1, aquest retard s'havia atribuït a inèrcies del circuit hidràulic i a l'actuació dels seus components. Comparant la resposta obtinguda amb el senyal del cabalímetre de turbina, és evident que la resposta del circuit elemental és molt més ràpida del que s'havia considerat. Malgrat això, el volum d'aigua polvoritzat durant el temps de durada de l'assaig estimat amb el cabalímetre electromagnètic (1,51 L) i

l'estimat amb el cabalímetre de turbina (1,49 L) només difereixen en menys d'un 1%, fet que no resta validesa als assajos realitzats amb el prototipus Fluxpro 1. Per tal d'analitzar el temps de resposta del sistema amb més precisió, a la Figura 7.30 i a la Figura 7.31 es mostren els detalls de l'esglaó ascendent i del descendent, respectivament, així com les respostes dels sensors.

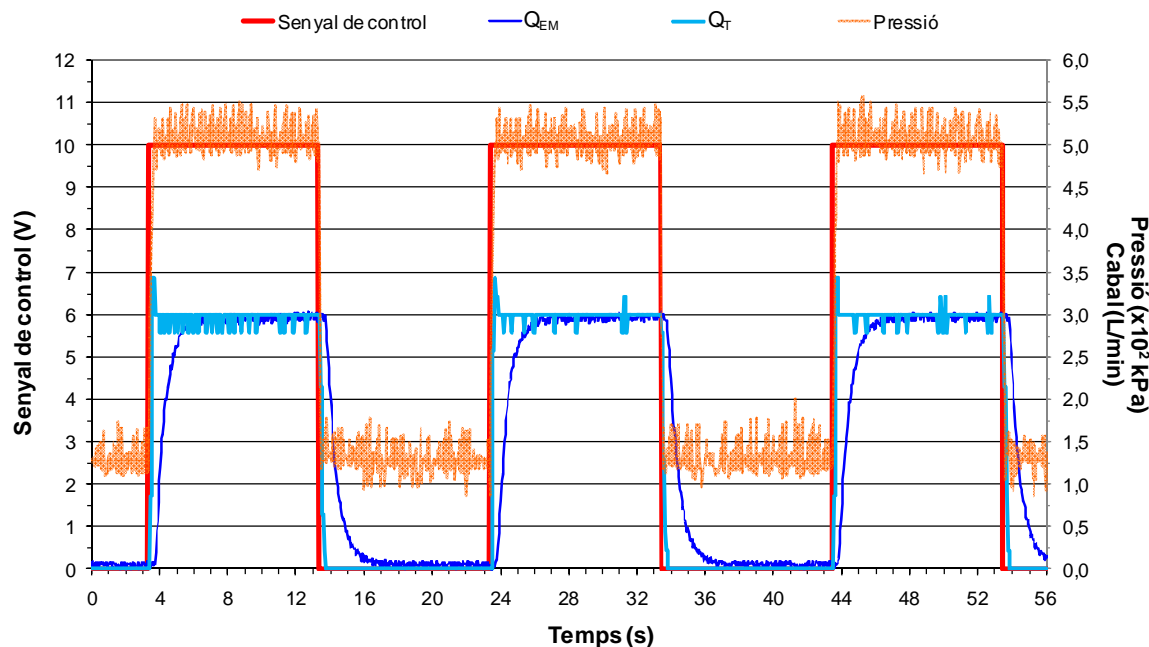


Figura 7.29.- Diagrama de dispersió de l'assaig de resposta temporal del circuit elemental de polvorització del prototipus Fluxpro 2. Cabal polvoritzat mesurat simultàniament amb cabalímetre electromagnètic ( $Q_{EM}$ ) i de turbina ( $Q_T$ ).

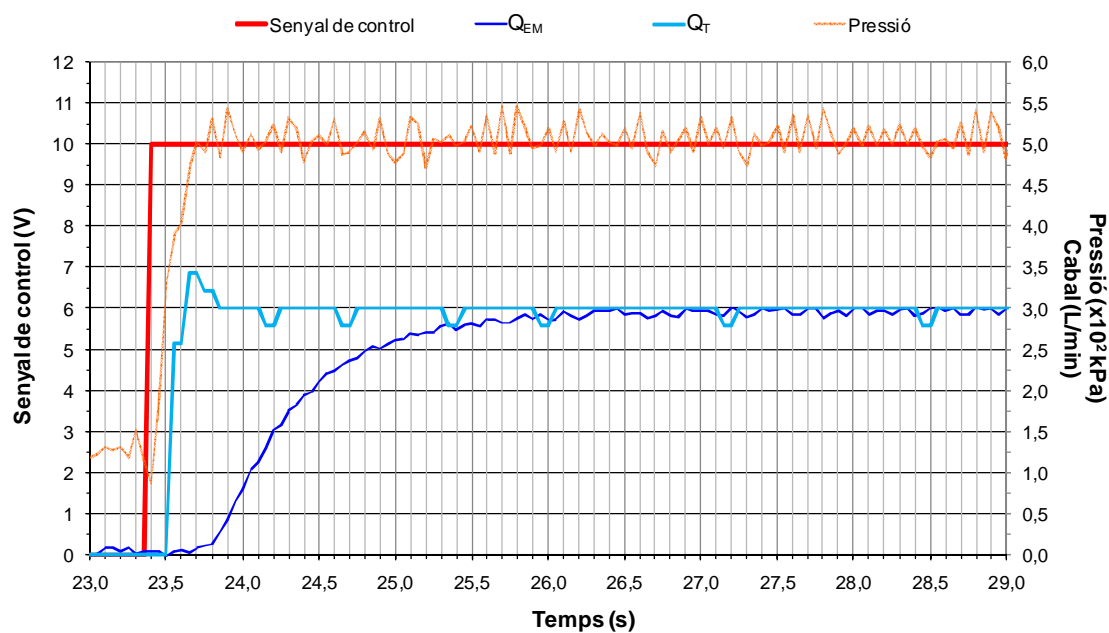
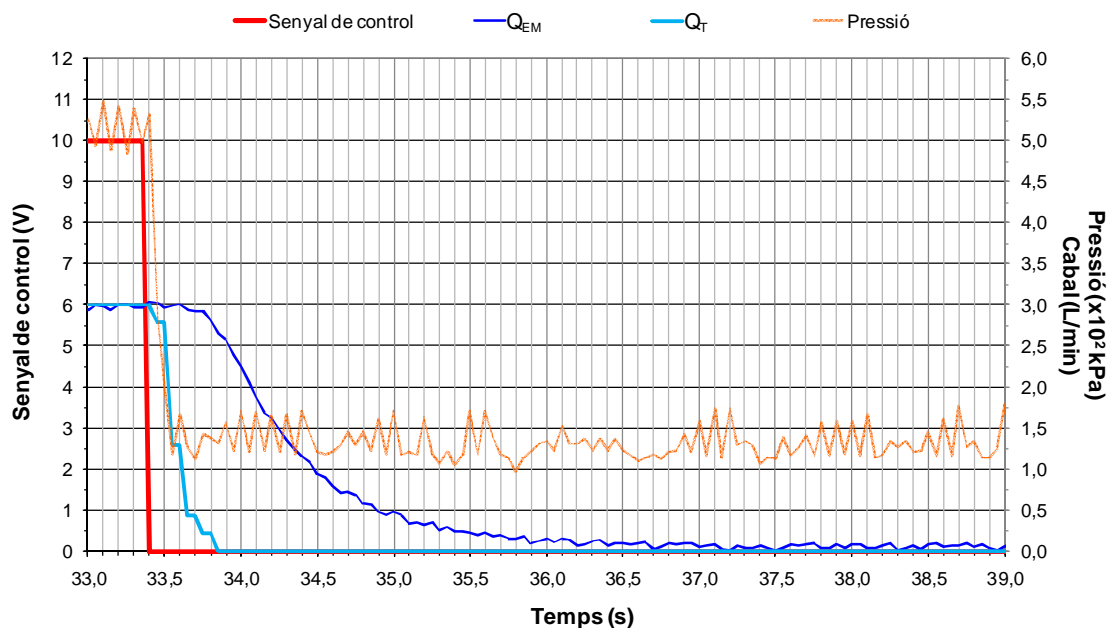


Figura 7.30.- Detall del diagrama de dispersió de l'assaig de resposta temporal del circuit elemental de polvorització del prototipus Fluxpro 2 corresponent a l'esglaó ascendent del senyal de control enviat a l'electrovàlvula proporcional. El cabal polvoritzat es mesura simultàniament amb un cabalímetre electromagnètic ( $Q_{EM}$ ) i amb un de turbina ( $Q_T$ ).



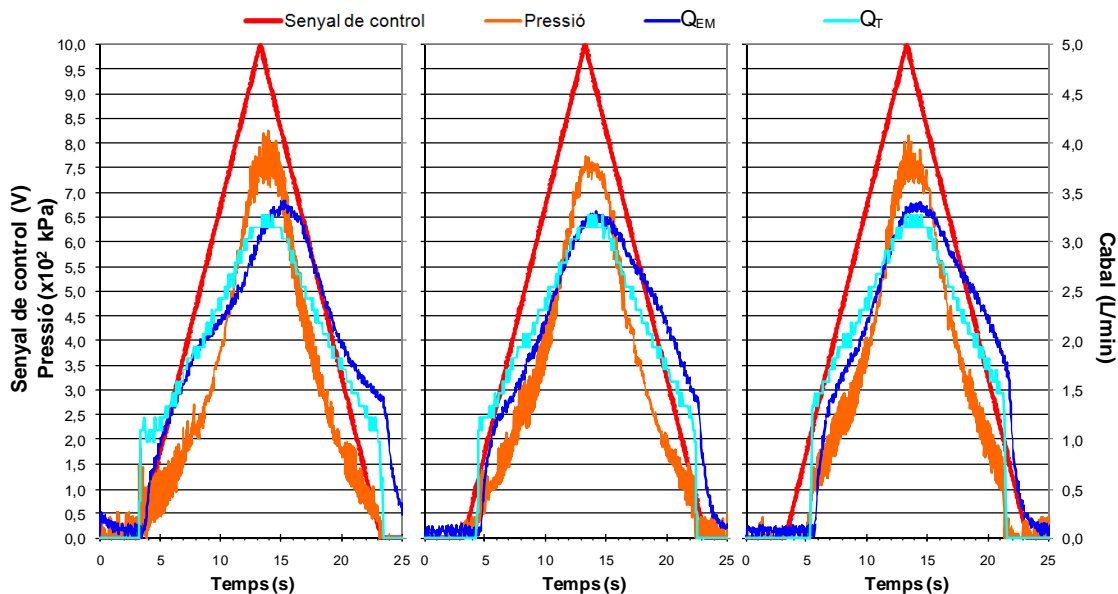
**Figura 7.31.-** Detall del diagrama de dispersió de l'assaig de resposta temporal del circuit elemental de polvorització del prototipus Fluxpro 2 corresponent a l'esglaió descendent del senyal de control enviat a l'electrovàlvula proporcional. El cabal polvoritzat es mesura simultàniament amb un cabalímetre electromagnètic ( $Q_{EM}$ ) i amb un de turбина ( $Q_T$ ).

Tal com es pot apreciar a la Figura 7.30, el temps transcorregut entre el canvi ascendent màxim en el senyal de control i l'assoliment del valor estabilitzat del cabal per part del cabalímetre de turбина Badger és d'aproximadament uns 500 ms (si es té en compte l'ultrapassament) mentre que en el cas del cabalímetre electromagnètic, el senyal de sortida no s'estabilitza fins passats uns 3 s. Cal tenir en compte que aquest esglaió màxim rarament es donarà en l'aplicació per a la qual es desenvolupa aquest sistema que no és altra que la dosificació variable de productes fitosanitaris en plantacions fructícoles. El sensor de pressió requereix 400 ms per a assolir el valor estabilitzat de la seva resposta. Analitzant l'esglaió descendent (Figura 7.31), les respostes d'ambdós cabalímetres són similars al cas ascendent mentre que la del sensor de pressió només requereix 200 ms per a estabilitzar-se.

Es pot afirmar, per tant, que la resposta del circuit elemental és més ràpida que 400 ms ja que aquest temps és el màxim necessari per a que l'electrovàlvula modifiqui el cabal emès, més el necessari per a que els sensors elaborin la seva resposta, més el necessari per a que el controlador adquireixi i enregistri la resposta dels sensors. Per a esglaons més petits, com els que es produeixen en condicions real d'aplicació, es pot afirmar que el temps de resposta serà menor.

Una altra millora introduïda al prototipus Fluxpro 2 va ser incrementar el cabal màxim polvoritzat per cadascun dels circuits elementals. Per a aconseguir-ho, calia incrementar la pressió de treball aigües amunt de les electrovàlvules proporcionals. Una pressió superior a 0,80 MPa, implicava que la molla que actua sobre l'èmbol intern de l'electrovàlvula proporcional no fos suficient per a mantenir-lo sobre el seu assentament i mantenir el pas d'aigua tancat. La introducció de les electrovàlvules de tall va permetre assegurar la interrupció del cabal polvoritzat en cas d'un senyal de control nul per a pressions de treball més elevades que els 0,80 MPa. A més d'aquesta funció, l'electrovàlvula de tall va permetre començar la polvorització amb una pressió inicial que assegurés una creació de gotes acceptable sense reduir excessivament el rang de regulació de cabals. A la Figura 7.32 es poden observar tres assajos diferents realitzats al banc de proves en el que hi havia muntats tres broquets Albuz ATR taronja. L'anàlisi es basava en estudiar la resposta

de l'electrovàlvula proporcional davant de variacions dinàmiques del valor del senyal de control introduint diferències en el valor a partir del qual s'iniciava la polvorització. Si l'electrovàlvula de tall actuava només en cas de senyal de control nul (0 V), en enviar un senyal de control diferent de zero l'electrovàlvula de tall s'obria i l'electrovàlvula proporcional iniciava la polvorització amb un cabal d'aproximadament 1 L/min i a una pressió inferior a 0,10 MPa (Figura 7.32 esquerra). En cas de no obrir l'electrovàlvula de tall fins a que el senyal de control de l'electrovàlvula proporcional fos d'1 V, la pressió inicial era pròxima a 0,10 MPa, pressió que, malgrat no ser una pressió de treball recomanable, sí que és suficient per a la correcta creació de gotes amb un cabal proper als 1,25 L/min (Figura 7.32 centre). Quan l'electrovàlvula de tall no obria fins a un senyal de control de 2 V, la pressió inicial era d'aproximadament 0,125 MPa i el cabal d'aproximadament 1,4 L/min (Figura 7.32 dreta). Donat que un inici de la polvorització sense restriccions afectava negativament la formació de les gotes i que una restricció d'inici de la polvorització a 2 V reduïa sensiblement el rang de cabals per a la dosificació, es va escollir l'opció d'iniciar la polvorització amb senyals de control a partir d'1 V. Amb aquesta opció s'aconseguia un segon efecte interessant que era el fet de polvoritzar un cabal mínim de seguretat encara que la vegetació detectada sigui petita, assegurant una deposició mínima de producte fitosanitari que podria veure's compromesa amb la polvorització de cabals més reduïts.

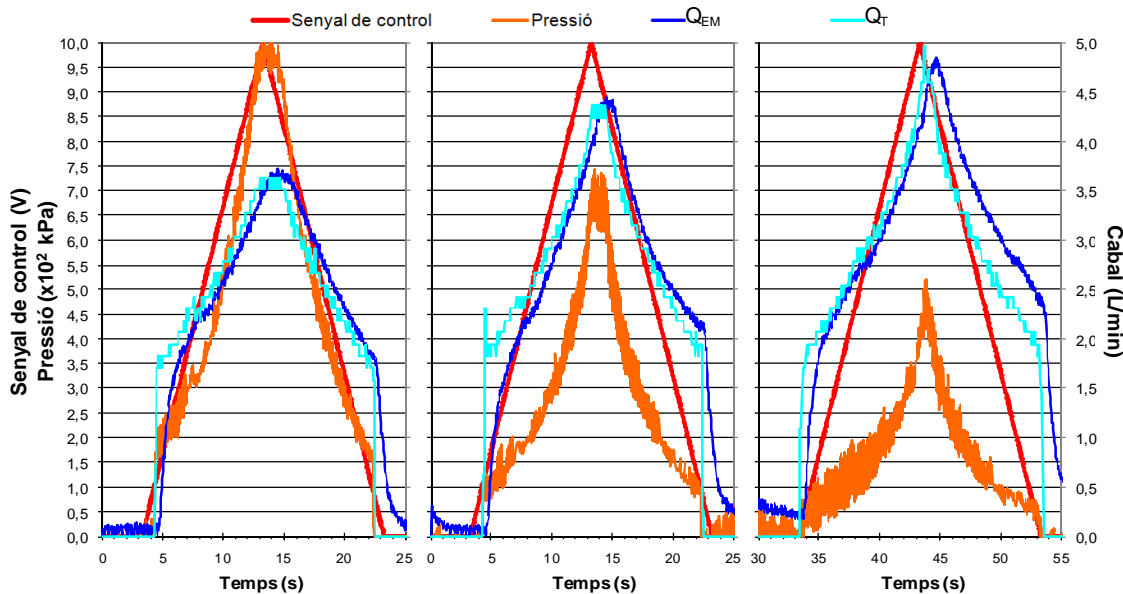


**Figura 7.32.-** Diagrames de dispersió de l'evolució temporal del cabal (mesurat amb cabalímetre electromagnètic  $-Q_{EM}$  i de turbina  $-Q_T$ ) i de la pressió enfront d'una variació dinàmica triangular del senyal de control (V) enviat a l'electrovàlvula proporcional per a una pressió aigües amunt de 1,20 MPa i un inici de la polvorització a 0 V del senyal de control (esquerra), a 1 V (centre) i a 2 V (dreta) per a tres broquets de turbulència Albuz ATR taronja.

A la Figura 7.33 es mostra la resposta del circuit elemental davant la utilització de diferents tipus de broquets hidràulics de turbulència o cònics amb un inici de la polvorització a partir d'1 V del senyal de control de l'electrovàlvula proporcional i amb una pressió aigües amunt de 1,5 MPa. A la Figura 7.33 esquerra es mostra el comportament del circuit quan es van muntar tres broquets taronja. En aquest cas, la pressió inicial era d'entre 0,15 MPa i 0,20 MPa i la pressió màxima de prop d'1 MPa mentre que el cabal oscil·lava entre 1,75 L/min i més de 3,5 L/min. Quan es van muntar broquets rojos, el cabal passà a oscil·lar entre 1,85 L/min i 4,3 L/min però la pressió només variava entre 0,10 MPa i 0,675 MPa (Figura 7.33 centre). En cas de muntar broquets verds, la pressió inicial descendia fins a 0,05 MPa i la màxima només assolía els 0,50 MPa mentre que el cabal prenia un valor inicial similar als broquets rojos però pràcticament assolía els 5 L/min de màxim (Figura 7.33 dreta). Davant d'aquests resultats, es va optar per a seguir treballant amb els

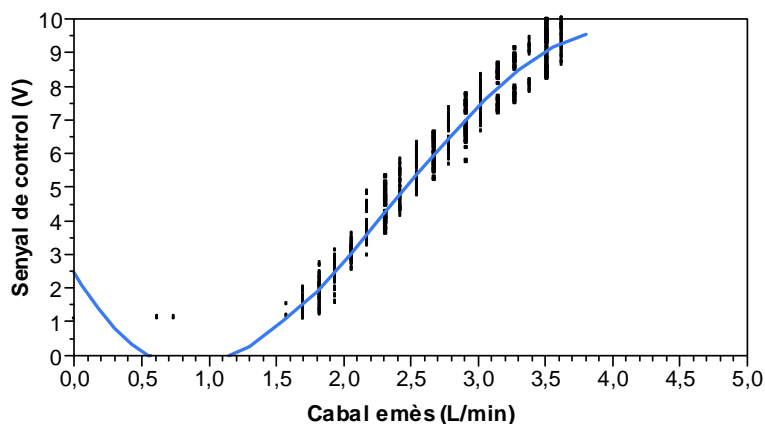


broquets taronja del prototipus Fluxpro 1 però incrementant la pressió aigües amunt de l'electrovàlvula proporcional fins a 1,5 MPa i tancant amb l'ajuda de l'electrovàlvula de tall que, a més, no permetia la polvorització per sota de 0,10 MPa. La utilització de broquets de més diàmetre de pas permetia assolir cabals més elevats però provocava un descens de la pressió de treball considerable, situant pràcticament tot el rang de regulació del cabal en zones de pressió de treball fora del rang recomanat pel fabricant (de 0,50 MPa a 2,5 MPa).



**Figura 7.33.-** Diagrames de dispersió de l'evolució temporal del cabal (mesurat amb cabalímetre electromagnètic  $Q_{EM}$  i de turbina  $Q_T$ ) i de la pressió enfront d'una variació dinàmica triangular del senyal de control enviat a l'electrovàlvula proporcional per a una pressió aigües amunt de 1,5 MPa i un inici de la polvorització a 1 V del senyal de control per a tres broquets de turbulència Albuz ATR taronja (esquerra), rojos (centre) i verds (dreta).

A la Figura 7.34 es mostra l'ajust d'una funció polinòmica cúbica sobre les dades de cabal i senyal de control generades a l'assaig realitzat amb el circuit elemental equipat amb tres broquets Albuz ATR taronja a una pressió prèvia a l'electrovàlvula proporcional de 1,5 MPa. A la figura es pot apreciar una certa histèresi que podria diferenciar una corba superior i una altra inferior. Tanmateix, per tal de facilitar els càlculs amb la finalitat de consumir el mínim temps de processament possible, s'ajusta una sola corba que seria la mitjana de les dues esmentades.



**Figura 7.34.-** Diagrama de dispersió del senyal de control necessari per a emetre un determinat cabal per al cas d'un circuit elemental amb tres broquets Albuz ATR taronja, una pressió aigües amunt de l'electrovàlvula de 1,5 MPa i una obertura de l'electrovàlvula de tall a partir d'1 V del senyal de control.

La funció polinòmica ajustada només és vàlida dins el rang de cabals estudiat i, per tant, és a aquest rang que s'ha de limitar la seva aplicació. A la Taula 7.9 es mostra un resum del model polinòmic ajustat a la Figura 7.34. En l'Equació 7.8 es descriu la funció matemàtica utilitzada en l'aplicació de regulació del prototipus Fluxpro 2. Aquesta equació és la que permet determinar el senyal de control necessari per a polvoritzar el cabal determinat segons el Mètode 2 de dosificació.

**Taula 7.9.-** Resum del model cúbic ajustat a les dades de cabal emès en funció del senyal de control enviat a una electrovàlvula proporcional per al cas d'un circuit elemental amb tres broquets Albuz ATR taronja, una pressió aigües amunt de l'electrovàlvula de 1,5 MPa i una obertura de l'electrovàlvula de tall a partir d'1 V del senyal de control.

Paràmetre	Valor	Terme	Estimació	Error est.	Estadístic t	Prob >  t
Coef. determinació ( $R^2$ )	0,966	Intersecció	2,438	0,369	6,580	< 0,0001
Coef. correlació (r)	0,983	Terme grau 1	-6,919	0,475	-14,440	< 0,0001
AEQM* (V)	0,479	Terme grau 2	4,914	0,206	23,620	< 0,0001
Observacions	1.075	Terme grau 3	-0,685	0,029	-23,24	< 0,0001

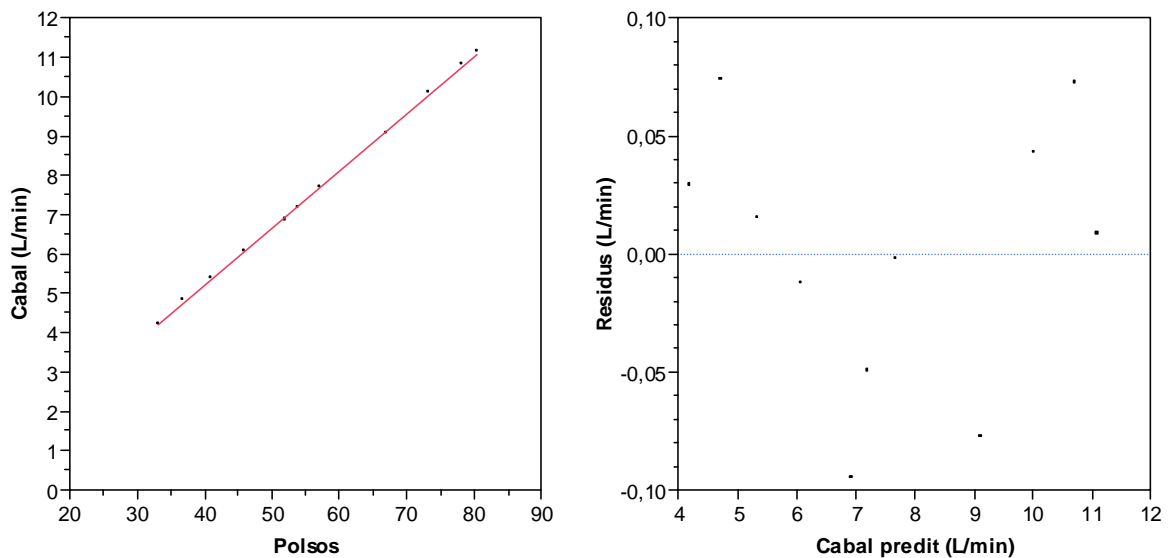
\* Arrel quadrada de l'error quadràtic mitjà.

**Equació 7.8** 
$$V = -0,685 q_j^3 + 4.914 q_j^2 - 6,919 q_j + 2,438$$

On V és el senyal de control a enviar a les electrovàlvules proporcionals, expressat en V;  $q_j$  és el cabal a polvoritzar per la secció determinat pel Mètode 2 de dosificació, expressat en L/min.



El resultat del calibratge del cabalímetre de turbina de la marca Arag que es va muntar al prototipus Fluxpro 2 es pot observar a la Figura 7.35, a la Taula 7.10. En l'Equació 7.9 es mostra la funció d'ajust utilitzada en els assajos de camp del prototipus Fluxpro 2.



**Figura 7.35.-** Diagrama de dispersió dels polsos generats pel cabalímetre de turbina Arag en funció del cabal que hi circulava (esquerra) i diagrama de residus del cabal predit a partir dels polsos del cabalímetre (dreta) per a una freqüència de lectura del cabalímetre de 10 Hz.

**Taula 7.10.-** Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades generades pel cabalímetre de turbina Arag.

Paràmetre	Valor	Terme	Estimació	Error est.	Estadístic t	Prob >  t
Coef. determinació ( $R^2$ )	0,999	Intersecció	-0,6210	0,065	-9,430	< 0,0001
Coef. correlació (r)	0,999	Pendent	0,1455	0,001	129,300	< 0,0001
AEQM* (L/min)	0,059					
Observacions	11					

\* Arrel quadrada de l'error quadràtic mitjà.

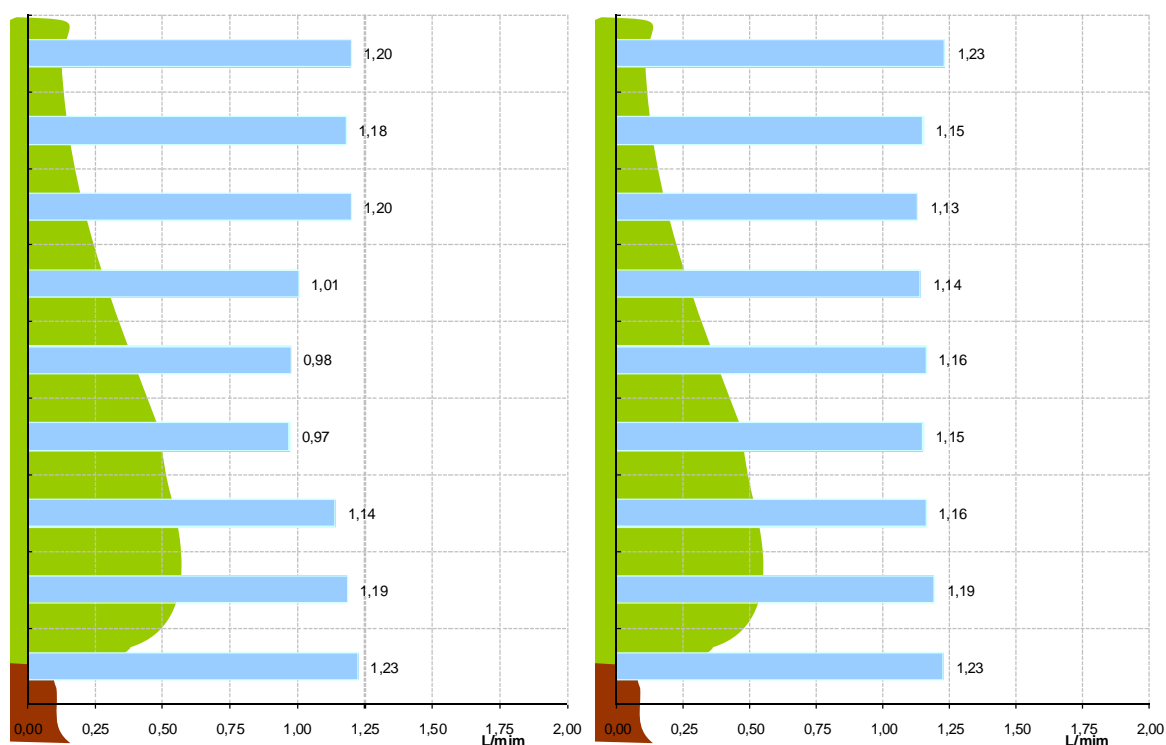
**Equació 7.9**

$$Q_T = 0,1435 \Delta PO_{100}$$

On  $Q_T$  és el cabal estimat pel cabalímetre de turbina Arag, expressat en L/min;  $\Delta PO_{100}$  és l'increment de polsos detectat en un interval temporal de 100 ms.



La darrera validació en laboratori consistí en comprovar el cabal emès pel polvoritzador en funció de senyals elèctrics que simulaven diferents valors de senyal de control. En les primeres proves es va enviar el mateix senyal a les tres electrovàlvules proporcionals (Figura 7.36 esquerra).



**Figura 7.36.-** Diagrames de barres dels cabals polvoritzats pels broquets de l'arc de polvorització del prototipus Fluxpro 2 enviant un senyal de control de 8 V a les tres electrovàlvules proporcionals (esquerra) i enviant el mateix senyal de control majorant un 20% el de l'electrovàlvula proporcional central (dreta).

Com es pot apreciar, a la secció central hi havia algun problema de tipus constructiu que comportava algun tipus de pèrdua de càrrega singular superior a les de les altres seccions i que, per tant, provocava que es polvoritzés un cabal inferior. Després d'intentar infructuosament solucionar el problema, es va optar per majorar el senyal de control d'aquella secció mitjançant el programa de regulació. El percentatge de majoració es va establir en un 20%.

Una vegada solucionat aquest inconvenient i tornats a realitzar els assajos de comprovació, es va observar que les respostes de les diferents seccions en relació al cabal polvoritzat respecte al senyal de control rebut no coincidien amb la determinada al banc de proves (Equació 7.8). Davant d'aquest fet es va optar per ajustar un nou model individual per a cada secció del prototipus donat que les diferències no es podien reduir amb solucions constructives. La nova funció d'ajust per a la determinació del senyal de control a enviar a l'electrovàlvula proporcional inferior (Secció 1) es

recull en l'Equació 7.10, la funció per a l'electrovàlvula proporcional central (Secció 2) en l'Equació 7.11 i la funció per a l'electrovàlvula proporcional superior (Secció 3) en l'Equació 7.12. Els coeficients de determinació dels models ajustats foren 0,98 per a secció 1; 0,99 per a la secció 2 i 0,99 per a la secció 3.

**Equació 7.10**  $V_1 = 0,628q_1^5 - 7,258q_1^4 + 33,613q_1^3 - 79,671q_1^2 + 101,340q_1 - 53,130$

On  $V_1$  és el senyal de control a enviar a l'electrovàlvula proporcional de la Secció 1, expressat en V;  $q_1$  és el cabal a emetre per la Secció 1 segons el Mètode 2 de dosificació, expressat en L/min.

**Equació 7.11**  $V_2 = 0,003q_2^3 - 0,606q_2^2 + 6,598q_2 - 6,277$

On  $V_2$  és el senyal de control a enviar a l'electrovàlvula proporcional de la Secció 2, expressat en V;  $q_2$  és el cabal a emetre per la Secció 2 segons el Mètode 2 de dosificació, expressat en L/min.

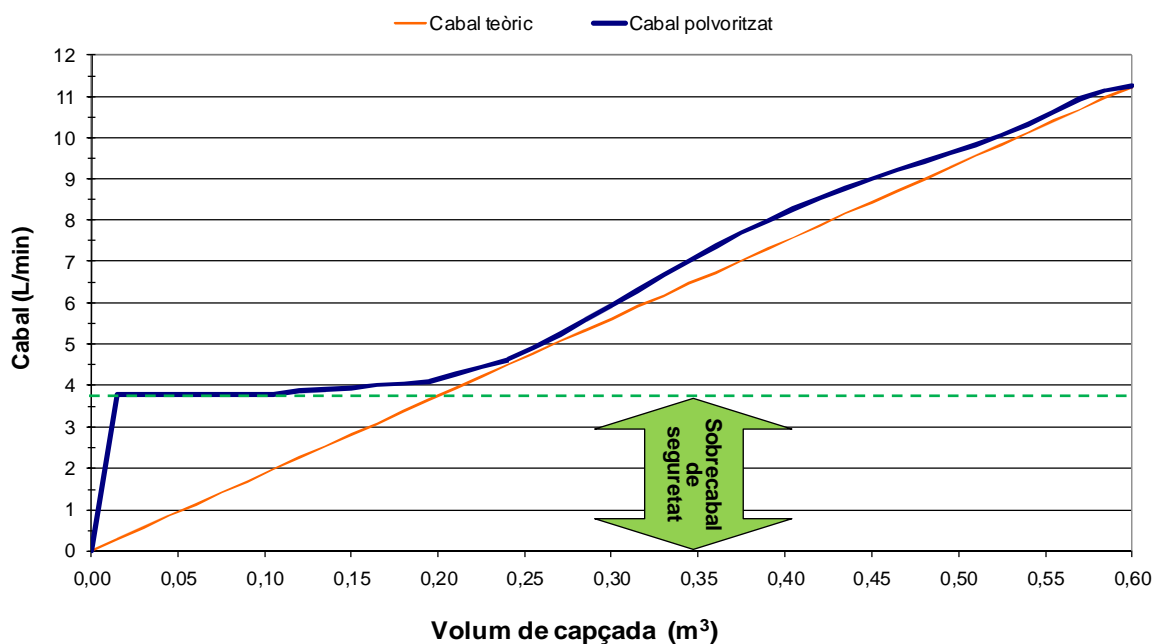
**Equació 7.12**  $V_3 = 0,184q_3^5 - 1,644q_3^4 + 4,859q_3^3 - 4,754q_3^2 + 2,210q_3 + 0,020$

On  $V_3$  és el senyal de control a enviar a l'electrovàlvula proporcional de la Secció 3, expressat en V;  $q_3$  és el cabal a emetre per la Secció 3 segons el Mètode 2 de dosificació, expressat en L/min.

A partir de l'anàlisi de les noves funcions d'ajust i donat que ja s'elaborava un senyal de control específic per a cada electrovàlvula, es va considerar oportú establir uns llindars màxims i mínims de cabal per a cada secció. D'aquesta manera, a la Secció 1, si el cabal establert pel mètode de dosificació era menor que 1,4 L/min, el senyal de control enviat era una constant de valor 1 V. Si aquest cabal esdevenia menor que 1,2 L/min, el valor del senyal de control enviat era de 0,5 V, valor que es mantenia fins que la vegetació detectada pel Sensor 1 fons nul·la i, per tant, el cabal calculat fos 0 L/min. El fet d'enviar un senyal de control constant de 0,5 V, en alguns casos major a la requerida per a trams de capçada amb poca vegetació, responia a la necessitat de garantir un cabal mínim que permetés la correcta formació del raig de polvorització i assolir una deposició de traçador acceptable sobre l'objectiu. En el cas de la Secció 2, els llindars inferiors eren 1,2 L/min i 1 L/min, per als qual s'assignava un senyal de control de 0,75 V i 0,5 V respectivament. a la Secció 3 només es va establir un sol llindar inferior de 0,7 L/min per sota del qual el senyal de control era de 0,5 V, sempre que es detectés vegetació. En totes les seccions es va establir un llindar superior corresponent al cabal màxim establert en les proves de contrastació en laboratori per sobre del qual es limitava el senyal de control a 10 V.

El cabal final aplicat pel prototipus era la suma del cabal aplicats per cadascuna de les tres seccions independents en que es va dividir l'arc de polvorització del costat modificat. A la Figura 7.37 es pot observar la resposta global del prototipus enfront d'una simulació de volum de capçada detectat pels sensors de manera que els senyals de control enviats a les tres electrovàlvules proporcionals oscil·lés entre els seus valors mínims i màxims. Aquesta figura permet observar la capacitat màxima del polvoritzador així com tot el rang de regulació de cabal en el cas que els tres sensors detectessin la mateixa quantitat de vegetació. Es pot apreciar que, en aquest cas, el prototipus és capaç de regular el cabal polvoritzat entre 3,75 L/min i 11,25 L/min, fet que permet

una dosificació variable en un ampli rang de regulació, capaç d'adaptar-se a la variabilitat que presenta la capçada d'una plantació frutera. Aquesta capacitat seria encara major si no s'apliquessin els cabals mínims de seguretat esmentats anteriorment però, tal com s'ha dit, el que es prima és la seguretat de l'aplicació davant d'una petita pèrdua d'eficiència del sistema de dosificació variable. Cal tenir en compte, però, que el rang de regulació podria esdevenir encara més ampli en els casos en que la capçada fos desigual en el pla vertical de l'escaneig. A mode d'exemple, en el cas que no hi hagués vegetació a les seccions central i superior, i la vegetació a la secció inferior fos mínima, el cabal total emès pel prototipus seria d'aproximadament 1,2 L/min.



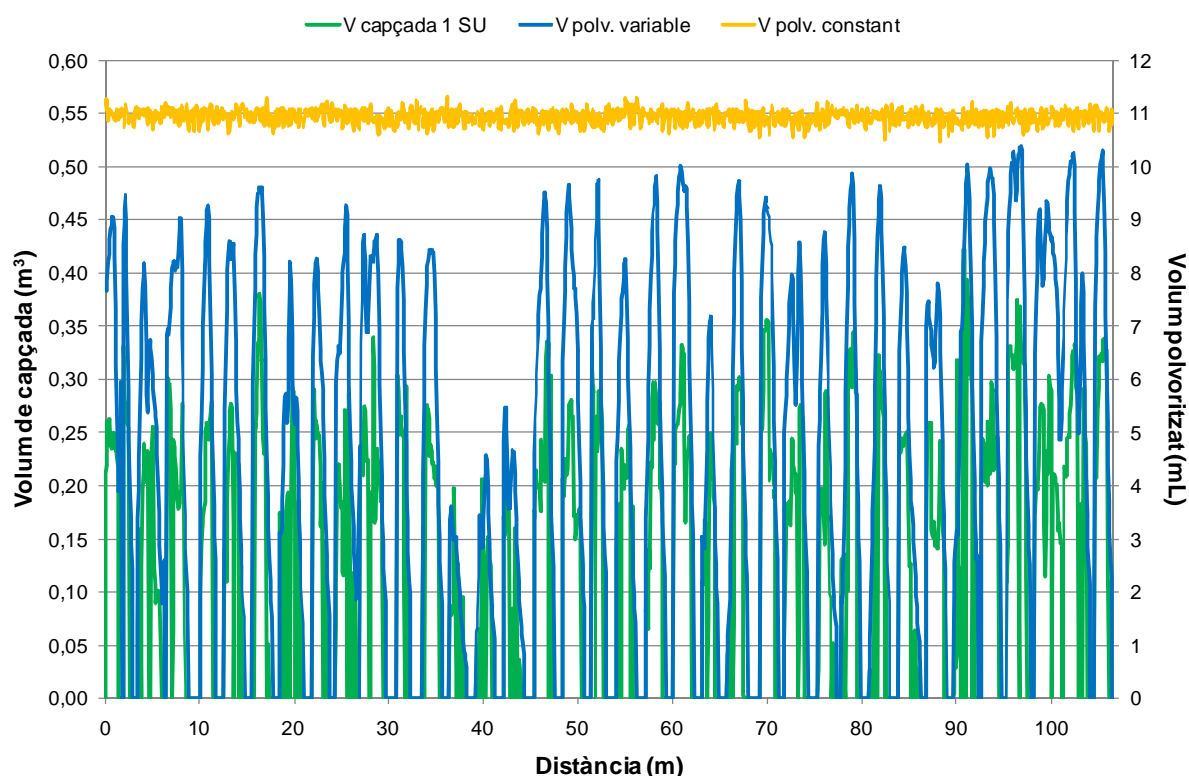
**Figura 7.37.-** Diagrama de dispersió del cabal polvoritzat pel prototipus Fluxpro 2 a partir d'una simulació de volum de capçada que feia oscil·lar el senyal de control de les tres electrovàlvules proporcionals entre el seu valor mínim i màxim.

Amb totes les actuacions realitzades a partir dels assajos de validació en laboratori s'ha considerat que el prototipus ja estava a punt per a ser assajat en camp i realitzar els darrers ajustos abans de poder dur a terme les primeres actuacions en condicions reals.

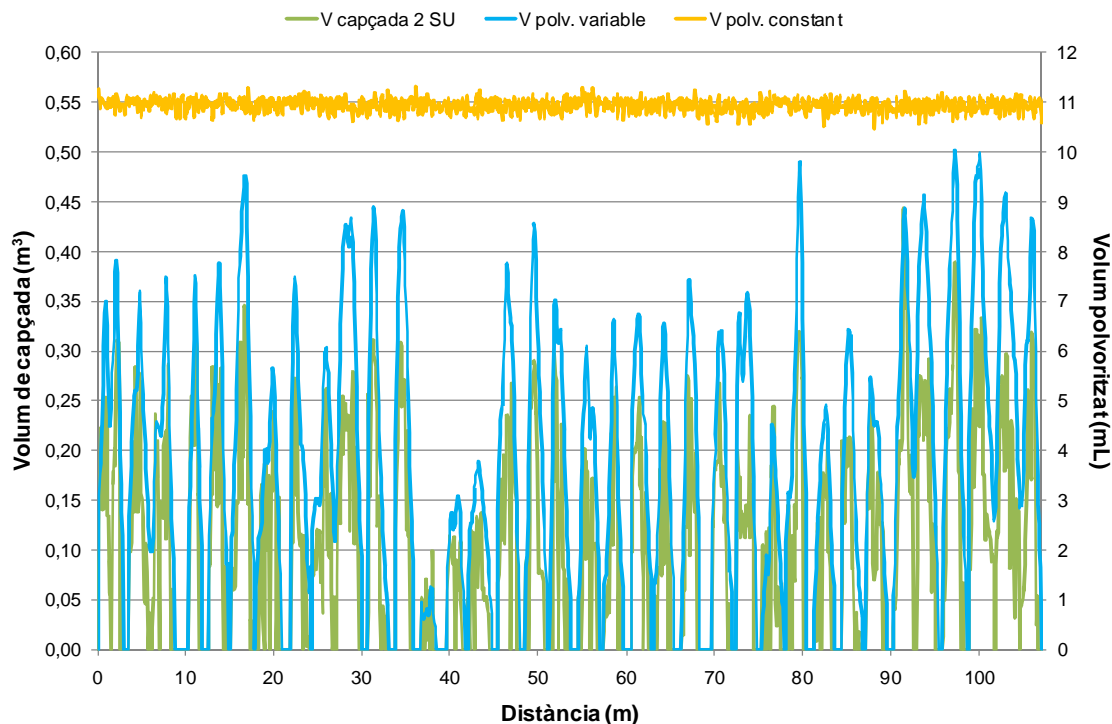
### 7.5.3 Validació del prototipus Fluxpro 1 en camp

L'assaig del prototipus Fluxpro 1 en camp van permetre l'anàlisi del seu comportament en condicions de treball reals. Tal com es detalla a l'apartat 7.4.3, la validació va consistir en analitzar la relació entre les variables obtingudes en tractar un tram d'una fila d'arbres amb aigua segons el mètode convencional de dosificació constant i segons el Mètode 1 de dosificació variable a partir de la informació d'un i de dos sensors d'ultrasons. El resultat aconseguït amb el sistema convencional va ser un tractament amb un cabal constant mitjà de 6,56 L/min independentment de les dimensions de la capçada tractada. Les aplicacions segons el Mètode 1 de dosificació variable en temps real, en canvi, mostraren un volum d'aigua polvoritzat proporcional al volum de capçada estimat.

Les aplicacions segons el Mètode 1 de dosificació variable es van realitzar de dues maneres diferents. En el primer cas, el volum de capçada es va estimar amb un sol sensor d'ultrasons i l'aplicació d'aigua es va realitzar amb l'arc de polvorització actuant com una sola unitat (Figura 7.38). En el segon cas, el volum de capçada es va estimar mitjançant dos sensors d'ultrasons i la polvorització es va realitzar dividint l'arc de polvorització en dos seccions diferents que aplicaven un cabal proporcional al sensor corresponent (Figura 7.39).

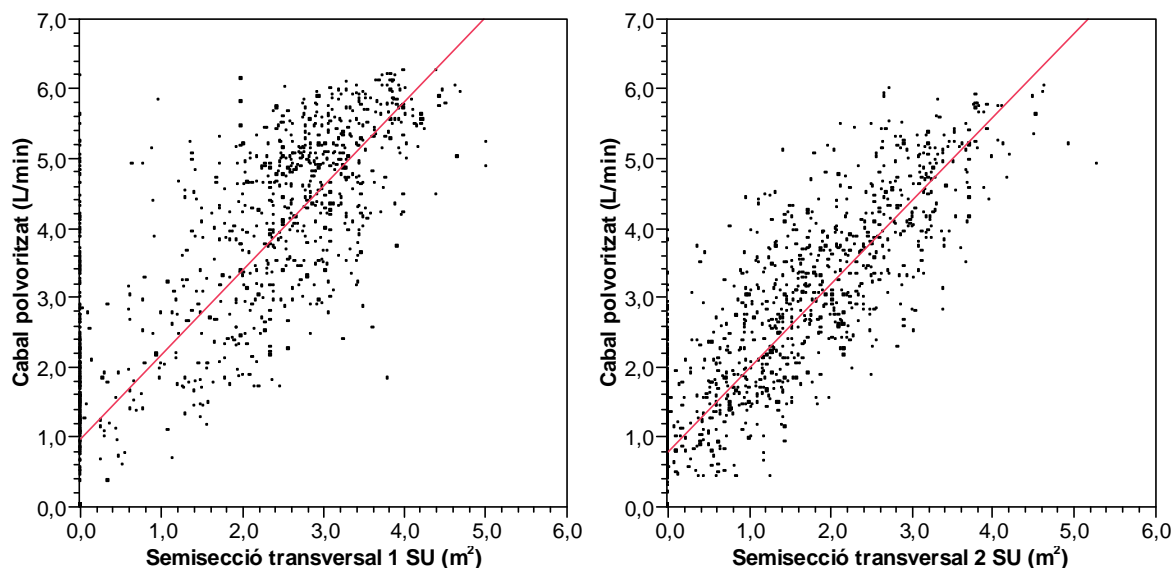


**Figura 7.38.-** Diagrama de dispersió de les estimacions de volum de capçada realitzades amb un sol sensor d'ultrasons i dels corresponents volums d'aigua polvoritzats mitjançant el mètode convencional de dosificació constant i el Mètode 1 de dosificació variable en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference'.



**Figura 7.39.-** Diagrama de dispersió de les estimacions de volum de capçada realitzades amb dos sensors d'ultrasons i dels corresponents volums d'aigua polvoritzats mitjançant el mètode convencional de dosificació constant i el Mètode 1 de dosificació variable en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference'.

Les aplicacions segons el Mètode 1 de dosificació variable en temps real presenten una correlació important amb les superfícies de les semiseccions transversals estimades amb un i amb dos sensors d'ultrasons (Figura 7.40). Les semiseccions estimades amb dos sensors d'ultrasons són lleugerament inferiors a les estimades amb un sensor i presenten una correlació una mica més forta (Taula 7.11).



**Figura 7.40.-** Diagrames de dispersió dels cabals polvoritzats amb el prototipus Fluxpro 1 segons el Mètode 1 de dosificació variable en funció de les semiseccions transversals estimades a partir d'un sensor d'ultrasons (esquerra) i de dos sensors d'ultrasons (dreta). Les línies roges representen els models de regressió lineal simple ajustats.

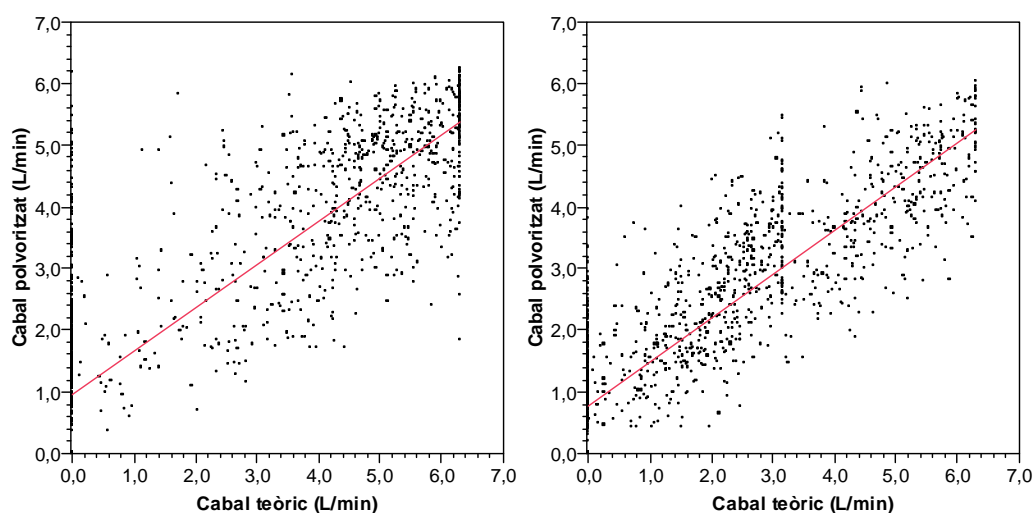
**Taula 7.11.-** Resum dels models de regressió lineal simple ajustats a les dades de cabal polvoritzat amb el prototipus Fluxpro 1 en funció de les semiseccions transversals estimades a partir d'un i de dos sensors d'ultrasons.

Paràmetre	Valor	Terme	Estimació	Error est.	Estadístic t	Prob >  t
<b>Coef. determinació 1 SU (<math>R^2</math>)</b>	0,707	Intersecció	0,988	0,044	22,460	< 0,0001
<b>Coef. correlació (r)</b>	0,841	Pendent	1,208	0,022	55,600	0,0000
<b>AEQM* (L/min)</b>	1,131					
<b>Observacions</b>	1.281					
<b>Coef. determinació 2 SU (<math>R^2</math>)</b>	0,753	Intersecció	0,785	0,032	24,280	< 0,0001
<b>Coef. correlació (r)</b>	0,868	Pendent	1,199	0,019	62,410	0,0000
<b>AEQM* (L/min)</b>	0,820					
<b>Observacions</b>	1.281					

\* Arrel quadrada de l'error quadràtic mitjà.

Tot i que entre les variables estudiades hi hagi una forta relació lineal, els diagrames de dispersió de la Figura 7.40 mostren una alta variabilitat en les observacions. Els models ajustats només són capaços d'explicar el 70% i el 75% d'aquesta variabilitat, respectivament, indicant que els cabals aplicats no presenten una relació clarament funcional amb les semiseccions estimades. Una part important de la variabilitat que indiquen els diagrames de dispersió la podria explicar l'elevat temps de resposta del cabalímetre electromagnètic emprat en el prototipus Fluxpro 1, tal com es va determinar en les validacions realitzades en laboratori. Aquesta característica del sensor comportava que les evolucions de les mesures de cabal no fossin tan ràpides com les de la capçada i, per tant, en casos de variacions brusques de la vegetació, els valors del cabal enregistrat fossin excessivament alts o baixos respecte als que en realitat haurien de ser.

Una altra de les relacions estudiades és la vinculació entre el cabal polvoritzat pel prototipus Fluxpro 1 i el cabal teòric que correspondria a cada punt de la fila estimat a partir de les mesures dels sensors d'ultrasons i l'aplicació del Mètode 1 de dosificació variable en temps real. A la Figura 7.41 es pot observar que, tant en les aplicacions amb un sensor com en les realitzades amb dos sensors d'ultrasons, presenten relacions lineals importants però amb un alt grau de variabilitat. A la Taula 7.12 es mostren els valors dels coeficients de determinació i correlació que són similars als obtinguts en les regressions anteriors donat que el cabal teòric és un paràmetre determinat a partir de la superfície de la secció transversal de la capçada en una aplicació inversa del Mètode 1 de dosificació.



**Figura 7.41.-** Diagrames de dispersió dels cabals polvoritzats amb el prototipus Fluxpro 1 en funció dels cabals teòrics determinats amb el Mètode 1 de dosificació a partir d'un sensor d'ultrasons (esquerra) i de dos sensors d'ultrasons (dreta). Les línies roges representen els models de regressió lineal simple ajustats.



**Taula 7.12.-** Resum dels models de regressió lineal simple ajustats a les dades de cabal polvoritzat amb el prototipus Fluxpro 1 en funció dels cabals teòrics determinats amb el Mètode 1 de dosificació a partir d'un sensor d'ultrasons (1 SU) i de dos sensors d'ultrasons (2 SU).

Paràmetre	Valor	Terme	Estimació	Error est.	Estadístic t	Prob >  t
<b>Coef. determinació 1 SU (<math>R^2</math>)</b>	0,712	Intersecció	0,956	0,044	21,720	< 0,0001
<b>Coef. correlació 1 SU (<math>r</math>)</b>	0,844	Pendent	0,699	0,0125	56,170	0,0000
<b>AEQM* 1 SU (L/min)</b>	1,123					
<b>Observacions 1 SU</b>	1.281					
<b>Coef. determinació 2 SU (<math>R^2</math>)</b>	0,751	Intersecció	0,775	0,033	23,780	< 0,0001
<b>Coef. correlació 2 SU (<math>r</math>)</b>	0,866	Pendent	0,710	0,011	62,130	0,0000
<b>AEQM* 2 SU (L/min)</b>	0,823					
<b>Observacions 2 SU</b>	1.281					

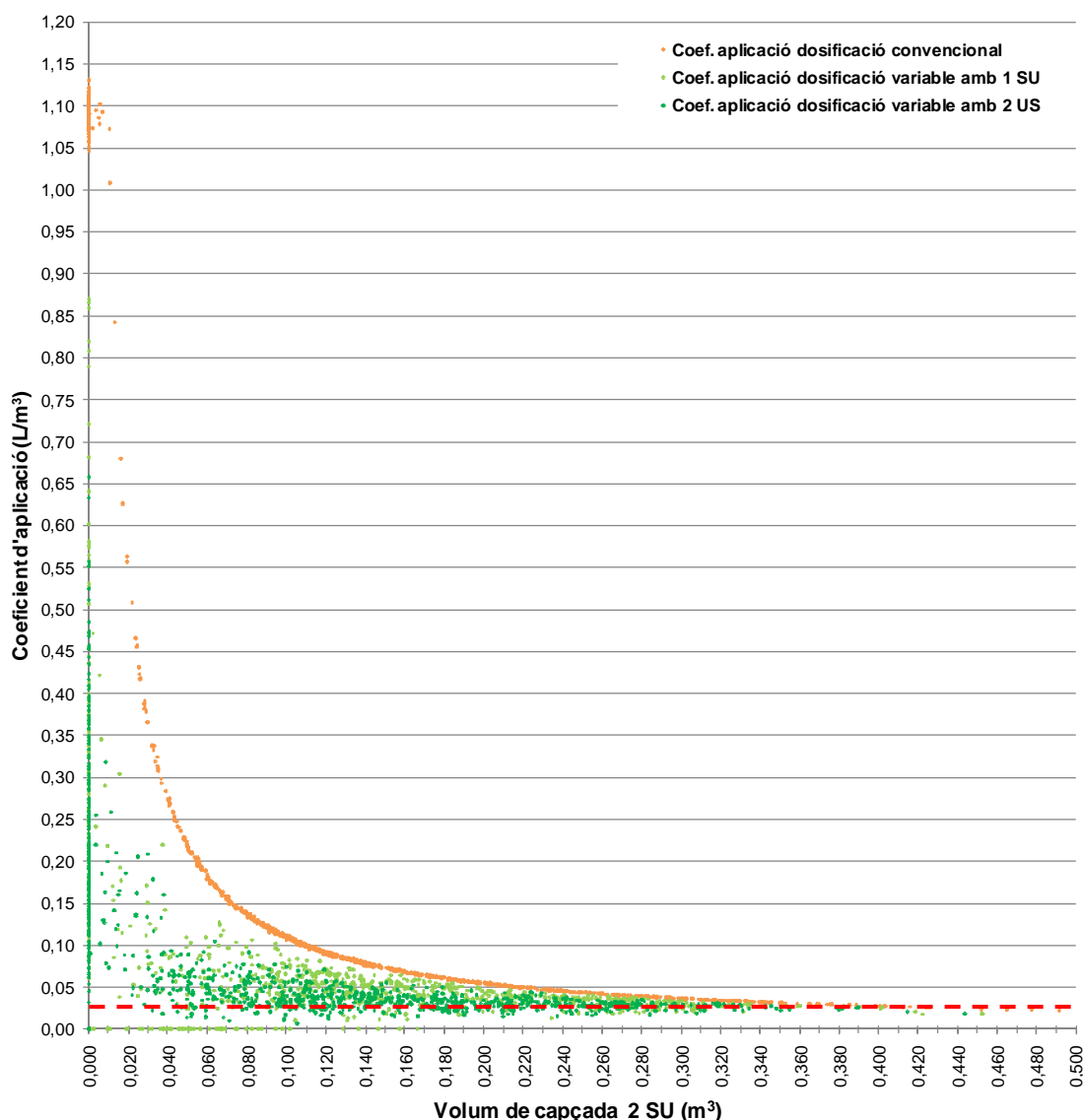
\* Arrel quadrada de l'error quadràtic mitjà.

L'evolució temporal del cabal teòric és, per tant, igual de ràpida que la de les estimacions de les semiseccions transversals. El fet que la major variabilitat en els diagrames de dispersió es doni quan el cabal teòric havia de ser nul, corrobora l'argument exposat anteriorment respecte al retard en la resposta del cabalímetre del prototipus. En els instants en que no es detectava vegetació i, per tant, el cabal teòric havia de ser nul, el circuit hidràulic tancava el pas de l'aigua amb un petit retard (veure assajos de validació en laboratori) però el senyal del cabalímetre electromagnètic evolucionava més lentament del que en realitat succeïa, provocant una variabilitat que en realitat no era tan important. Tal com s'ha indicat anteriorment, aquest problema es va corregir en el prototipus Fluxpro 2 amb la implementació d'un cabalímetre de turbina que, si bé no era tan precís, tenia un temps de resposta molt més ràpid.

Un paràmetre important en la validació del prototipus en camp és el coeficient d'aplicació. A la Figura 7.42 es mostren els coeficients d'aplicació instantanis de les aplicacions realitzades en funció dels volums de capçada estimats. En aquest cas, els valors mostrats de coeficient d'aplicació no s'han de prendre com als valors adequats a la capçada tractada sinó com a eines que permetran la comparació dels mètodes de dosificació assajats. L'evolució dels coeficients en l'aplicació convencional amb dosificació constant respon a una corba del tipus  $y = K/x$  on la constant  $K$  és el volum de líquid aplicat instantàniament. Per definició, les aplicacions convencionals a cabal constant es dissenyen amb la finalitat d'aconseguir una deposició de matèria activa suficient per a controlar la plaga o malura en el cas més desfavorable de la plantació; és a dir, allà on hi ha més vegetació. Per a la validació del prototipus Fluxpro 1 es va prendre com a valor de referència el coeficient d'aplicació obtingut a la zona de màxima vegetació pel tractament convencional (recta discontinua roja superposada al diagrama de la Figura 7.42). Com s'aprecia al diagrama, a mesura que disminueix la vegetació estimada, més elevats resulten els coeficients d'aplicació i més s'allunyen del valor de referència. Analitzant els coeficients obtinguts amb el sistema de dosificació convencional, si es prenen com a vàlids els coeficients entre  $0,025 \text{ L/m}^3$  i  $0,0375 \text{ L/m}^3$  (un 50% superior), resulta que aquests només s'apliquen al 7% de la capçada, sobredosificant el 93% de la capçada del tram de filera assajat. En el cas de l'aplicació amb dosificació variable a partir d'un sol sensor d'ultrasons, el percentatge de capçada tractat correctament ascendeix fins al 14% i fins al 23% en el cas d'emprar dos sensors d'ultrasons.

La finalitat del Mètode 1 de dosificació variable en temps real, en canvi, és aplicar un cabal proporcional a la capçada estimada. El resultat va ser l'obtenció de coeficients d'aplicació molt més estables enfront de la variabilitat del volum de capçada. Els valors de coeficient d'aplicació obtinguts en volums elevats de capçada tant en les aplicacions basades en un sensor d'ultrasons com en dos eren similars als obtinguts amb l'aplicació en mode convencional, establerts com a valor de referència. A mesura que la vegetació disminuïa i els coeficients d'aplicació convencionals

augmentaven, els coeficients d'aplicació obtinguts amb el Mètode 1 de dosificació variable es mantenen propers al valor de referència i, en la majoria dels casos, lleugerament per sobre. Comparant els resultats obtinguts amb un sol sensor i els obtinguts amb dos sensors, s'observa que els coeficients obtinguts en el primer cas eren més elevats. Això és degut a que la determinació del cabal a polvoritzar en aquell cas es feia a partir de la semisecció transversal estimada amb un sol sensor. Tal com s'ha explicat anteriorment, l'ús d'un sol sensor tendeix a sobreestimar la capçada detectada i, per tant, a aplicar un cabal més elevat del que realment seria necessari. A més, la determinació dels coeficients d'aplicació es va realitzar a partir del volum de capçada determinat per dos sensors ja que s'ha demostrat que el resultat és més fidel a la realitat. La combinació d'aquests dos fets provocà que els coeficients resultants de l'aplicació amb un sensor fossin majors.



**Figura 7.42.-** Diagrama de dispersió dels coeficients d'aplicació obtinguts en les aplicacions amb el prototipus Fluxpro 1 segons dosificació convencional constant i segons dosificació variable en base al Mètode 1 a partir d'un i de dos sensors d'ultrasons en funció del volum de capçada estimat amb dos sensors d'ultrasons. La recta discontinuïda roja indica el coeficient d'aplicació obtingut per al cas més desfavorable del tractament convencional.

També s'observa que hi ha uns quants casos de coeficients d'aplicació nuls en presència de vegetació en l'aplicació basada en un sensor d'ultrasons. Això és degut a que en aquells punts el sensor utilitzat no va detectar vegetació i es va determinar la polvorització d'un cabal nul. El cas és que la utilització d'un segon sensor hauria indicat la presència de vegetació a la part superior de la capçada i la necessitat de polvoritzar aquella zona en contra del que realment havia succeït. Es tracta, per tant, no d'un mal funcionament del prototipus sinó d'un desavantatge en la utilització d'un sol sensor d'ultrasons per a la caracterització de les capçades.

En tots tres tipus d'aplicacions s'observa el fet que en zones amb escassa vegetació s'hi detecten coeficients d'aplicació elevats. El tractament que presenta els valors més elevats és el convencional seguit, a una distància considerable, pel tractament amb dosificació variable a partir d'un sol sensor. El tractament que presenta els coeficients més controlats és el variable basat en dos sensors. Tot i això, els dos tractaments variables presenten molts casos de coeficients d'aplicació elevats en absència de vegetació. Aquest fet es millorarà en el prototipus Fluxpro 2 per bé que anteriorment s'ha explicat aquest problema per la lentitud del cabalímetre electromagnètic en generar el senyal de resposta.

A la Taula 7.13 es descriuen amb detall les mostres de coeficients d'aplicació obtingues amb els diferents mètodes de dosificació. Resulta evident la sobredosificació obtinguda amb el mètode convencional d'aplicació quan el valor de referència (aproximadament  $0,025 \text{ L/m}^3$ ) és tan sols un 5% de la seva mitjana. Les mitjanes del coeficient d'aplicació en els tractaments basats en un sensor i en dos sensors són, tan sols, un 14,5% i un 13% de la mitjana del mètode convencional, respectivament. Malgrat els valors obtinguts amb el Mètode 1 de dosificació variable en temps real són molt més continguts, la seva variabilitat relativa, expressada per mitjà del coeficient de variació, resulta ser més elevada que la del mètode convencional.

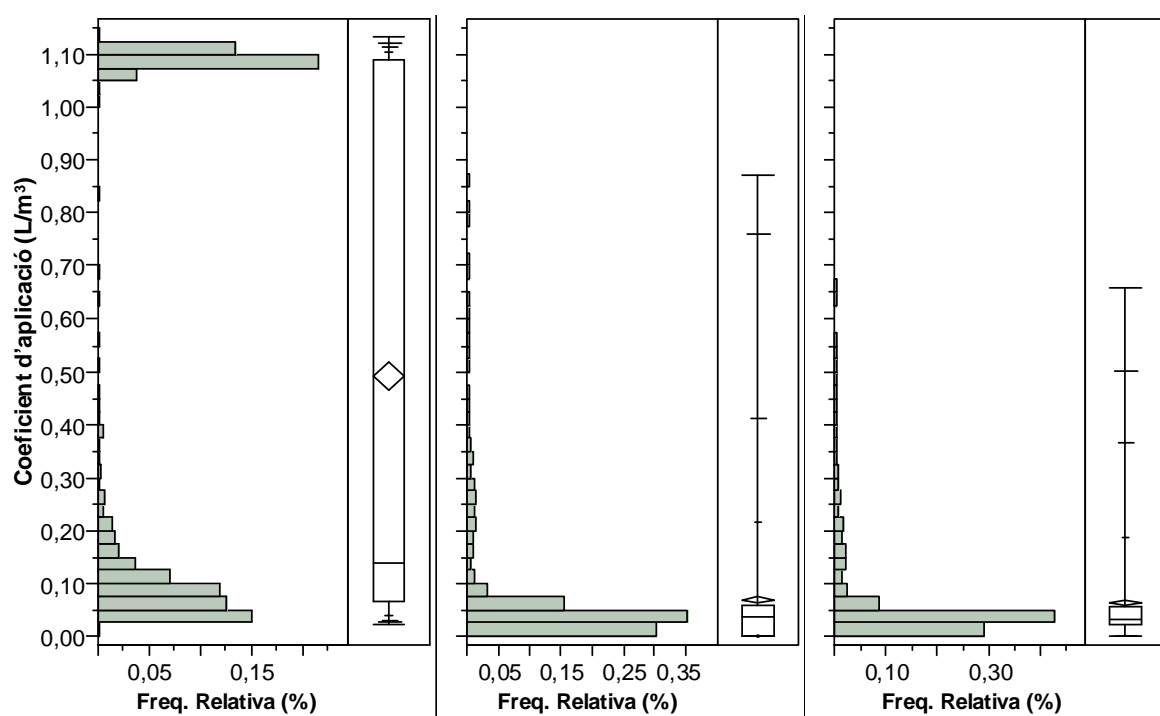
**Taula 7.13.-** Estadístics descriptius dels coeficients d'aplicació obtinguts en les aplicacions amb el prototipus Fluxpro 1 segons dosificació convencional constant, dosificació variable en base al Mètode 1 a partir d'un sensor d'ultrasons (1 SU) i a partir de dos sensors d'ultrasons (2 SU).

Estadístics descriptius	Dosificació convencional	Dosificació variable 1 SU	Dosificació variable 2 SU
Mitjana ( $\text{L/m}^3$ )	0,491 a	0,071 b	0,064 b
Màxim ( $\text{L/m}^3$ )	1,132	0,870	0,658
Mínim ( $\text{L/m}^3$ )	0,022	0,000	0,000
Desviació estàndard ( $\text{L/m}^3$ )	0,490	0,117	0,093
AEQM** ( $\text{L/m}^3$ )	0,014	0,003	0,003
Observacions	1.281	1.281	1.281
Variància	0,240	0,014	0,009
Coef. de variació (%)	99,622	164,184	145,219

\* Lletres diferents en mitjanes impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.

\*\* Arrel quadrada de l'error quadràtic mitjà.

En els histogrames i diagrames de caixa de la Figura 7.43 s'aprecia clarament la dispersió en els coeficients d'aplicació que comporta la dosificació convencional constant enfront de la dosificació variable en temps real. Tanmateix, calia millorar els tractaments amb dosificació variable per tal de disminuir el màxim possible els coeficients menors que el coeficient d'aplicació de referència que, en el cas de les aplicacions amb dosificació constant són nuls. Per la banda superior del coeficient de referència, és clara la contenció que presenten els tractaments amb dosificació variable envers el tractament convencional. Aquest darrer, a més de tenir una dispersió més elevada en els valors baixos presenta gran quantitat de coeficients d'aplicació exageradament elevats que, en condicions reals, suposarien una aplicació més que excessiva de producte fitosanitari.



**Figura 7.43.-** Histogrames de les freqüències relatives dels coeficients d'aplicació obtinguts amb el prototipus Fluxpro 1 en les aplicacions segons dosificació convencional constant (esquerra), dosificació variable en base al Mètode 1 a partir d'un sensor d'ultrasons (centre) i a partir de dos sensors d'ultrasons (dreta).

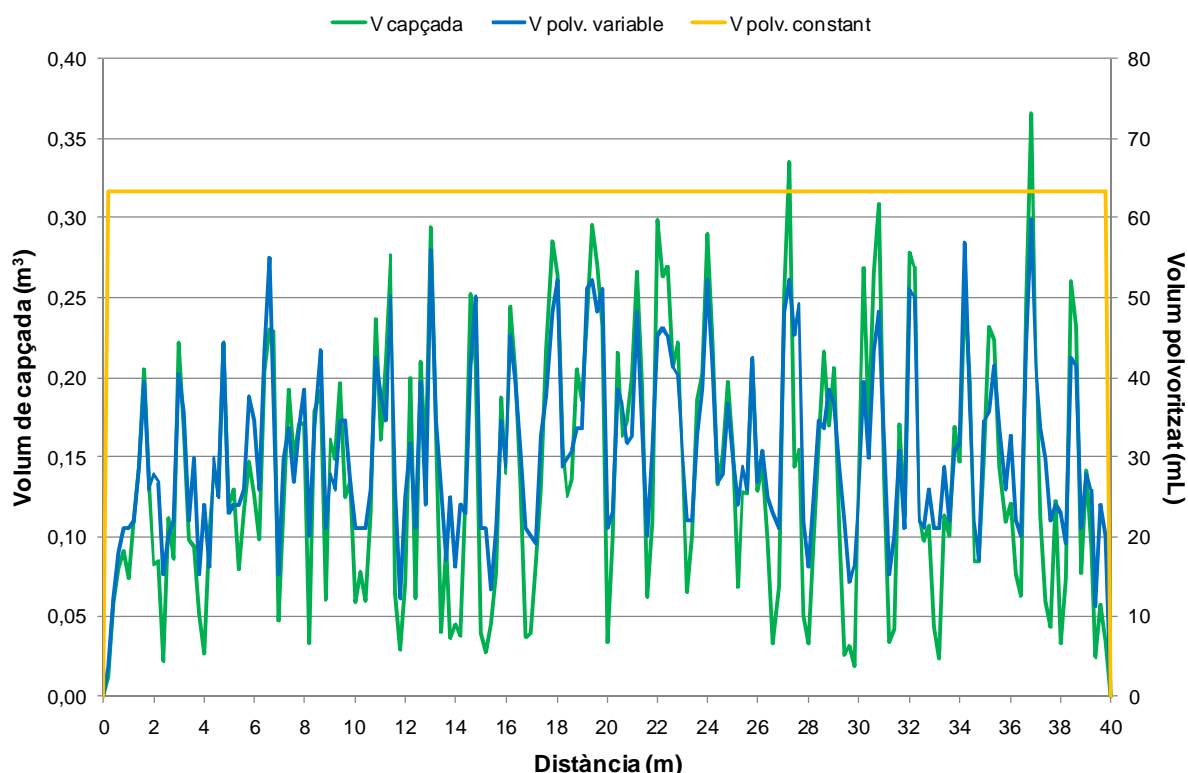
Els resultats obtinguts pel prototipus Fluxpro 1 funcionant en mode variable tant amb un sensor d'ultrasons com amb dos han estat molt més favorables que els obtinguts en mode convencional. El comportament del prototipus s'ha donat per bo i s'ha considerat a punt per a procedir a fer els assajos de deposició per a la validació del seu funcionament en relació a l'aplicació de productes fitosanitaris.

Malgrat el bon funcionament del prototipus en la seva primera etapa de desenvolupament, els resultats de la validació en camp indiquen que encara hi ha marge de millora. Les novetats introduïdes en la segona etapa al prototipus Fluxpro 2 han anat dirigides a millorar els resultats obtinguts amb el prototipus Fluxpro 1 referents al cabal polvoritzat i la seva relació amb el cabal teòric i amb la capçada a tractar.

### 7.5.4 Validació del prototipus Fluxpro 2 en camp

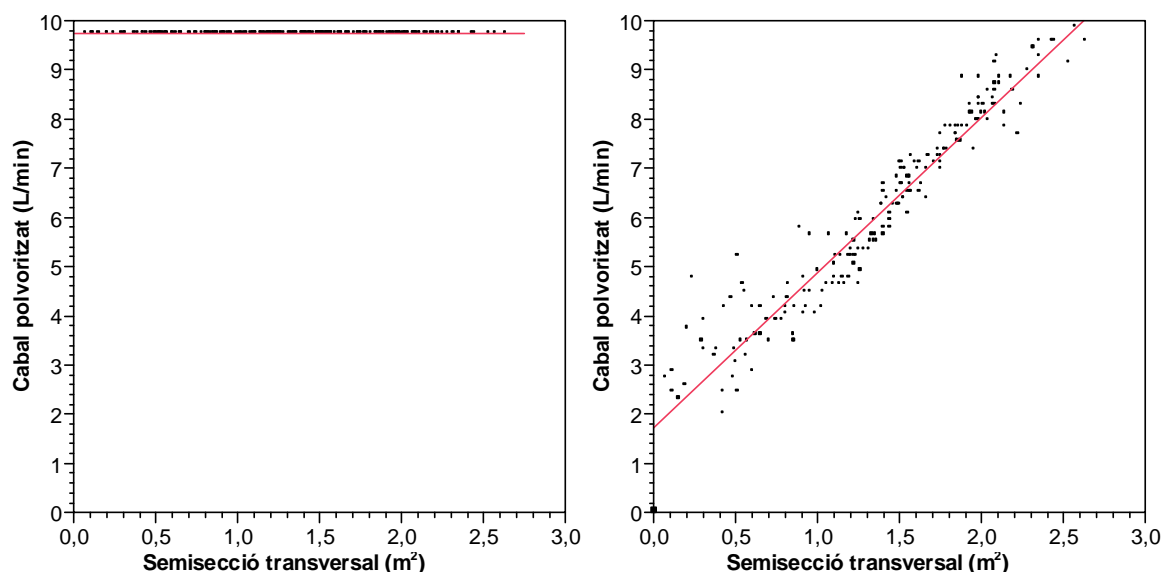
En la validació en camp del prototipus Fluxpro 2 es va comparar el seu funcionament basat en el Mètode 2 de dosificació variable en temps real amb una aplicació convencional amb dosificació constant. A diferència del prototipus Fluxpro 1, el nou prototipus disposava de tres seccions de polvorització independents equipades amb les seves corresponents electrovàlvules proporcionals. La validació es va realitzar a partir de les mesures de capçada obtingudes amb un sensor lidar donat que, al Capítol 6, ha quedat demostrat que les mesures obtingudes amb sensors d'ultrasons i les obtingudes amb el sensor lidar són proporcionals i, per tant, no han d'alterar les relacions establertes amb els cabals dosificats.

El resultat de les aplicacions realitzades es mostra a la Figura 7.44 on es pot apreciar el volum de la meitat de la capçada estimat amb el sensor lidar al llarg de 40 m de fila. Les corbes taronja i verda corresponen als volums d'aigua polvoritzats tant amb el mètode convencional de dosificació constant com amb el Mètode 2 de dosificació variable en temps real, respectivament.



**Figura 7.44.-** Diagrama de dispersió de les estimacions de volum de capçada realitzades amb un sensor lidar i dels corresponents volums d'aigua polvoritzats mitjançant el mètode convencional de dosificació constant i el Mètode 2 de dosificació variable en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference'.

A la Figura 7.45 es representen els cabals instantanis polvoritzats en funció de les semiseccions transversals a les que anaven adreçats quan el prototipus funcionava en mode convencional i quan ho feia en mode variable, basat en el Mètode 2 de dosificació variable en temps real. El resultat obtingut en l'aplicació convencional és un cabal constant de 9,72 L/min de mitjana independentment de la capçada al que anava dirigit. El resultat del prototipus Fluxpro 2 funcionant en mode variable és un núvol de punts al qual s'ajusta perfectament un model lineal, tal com es pot apreciar a la Taula 7.14.



**Figura 7.45.-** Diagrames de dispersió dels cabals polvoritzats amb el prototipus Fluxpro 2 en funció de les semiseccions transversals estimades a partir d'un sensor lidar segons dosificació convencional constant (esquerra) i segons el Mètode 2 de dosificació variable en temps real (dreta). Les línies roges representen els models de regressió lineal simple ajustats.

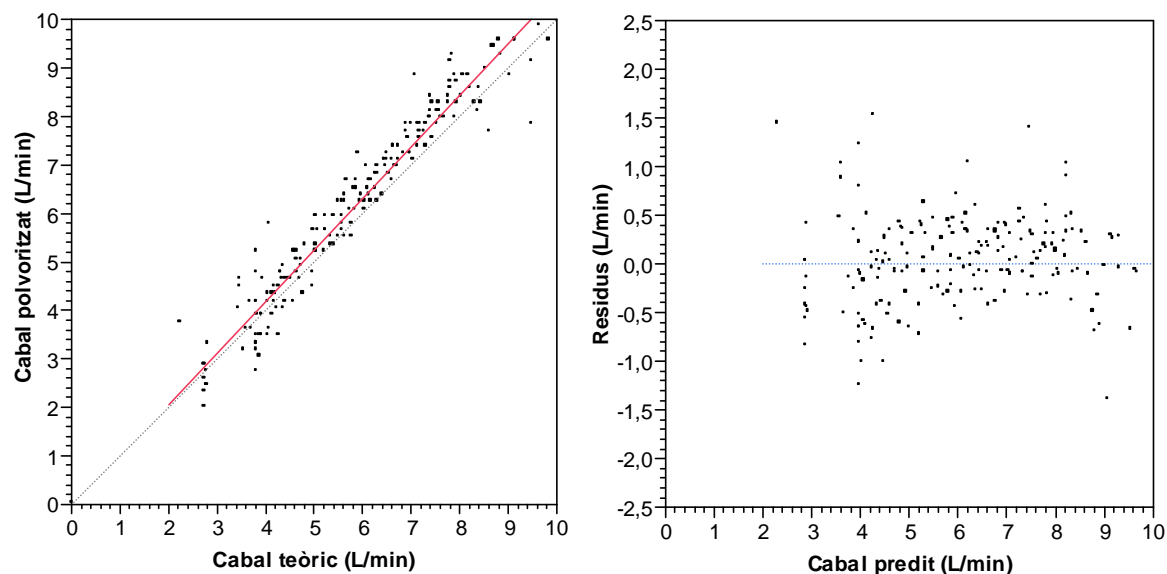
El model ajustat és capaç d'explicar un 92,6% de la variabilitat de la mostra i el coeficient de correlació indica una forta relació lineal entre les dues variables. Es pot apreciar que el model ajusta molt millor els cabals elevats (majors de 5 L/min) que els cabals baixos. Aquests cabals presenten una relació més feble amb les semiseccions reduïdes a causa de criteris de disseny, ja esmentats a l'apartat corresponent, en que es va decidir no seguir la mateixa proporcionalitat que en cabals elevat per tal que l'obertura mínima de les electrovàlvules proporcionis la correcta formació de les gotes. Tal com s'indica a la Figura 7.37, la relació respecte al cabal teòric calculat amb l'aplicació estricta de l'algorisme de dosificació es manté per a cabals elevats però es perd en els cabals més baixos, de manera que les zones amb menys vegetació rebien una petita sobre-dosificació per motius de seguretat.

**Taula 7.14.-** Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades de cabal polvoritzat amb el prototipus Fluxpro 2 segons el Mètode 2 de dosificació variable en temps real en funció de les semiseccions transversals estimades amb un sensor lidar.

Paràmetre	Valor	Terme	Estimació	Error est.	Estadístic t	Prob >  t
<b>Coef. determinació variable (<math>R^2</math>)</b>	0,926	Intersecció	1,739	0,094	18,440	< 0,0001
<b>Coef. correlació (<math>r</math>)</b>	0,962	Pendent	3,154	0,063	49,890	< 0,0001
<b>AEQM* (L/min)</b>	0,543					
<b>Observacions</b>	201					

\* Arrel quadrada de l'error quadràtic mitjà.

A la Figura 7.46 es pot apreciar el diagrama de dispersió obtingut a partir de les dades de cabal polvoritzat instantani i el cabal teòric que hauria d'haver aplicat el prototipus al llarg de la fila d'arbres on es va realitzar l'assaig de validació. Com es pot apreciar, en els cabals centrals les parelles de punts s'alineen pràcticament amb la corba ideal. En els cabals més elevats, però, el prototipus polvoritza uns cabals lleugerament superiors al necessaris. Després de comprovar que el diagrama de residus no presenta una estructuració clara de les dades, es procedeix a ajustar un model lineal el resultat del qual es pot apreciar a la Taula 7.15. La variabilitat que explica el model és del 93,5% i la relació entre les variables és molt forta.



**Figura 7.46.-** Diagrama de dispersió dels cabals polvoritzats amb el prototipus Fluxpro 2 en funció dels cabals teòrics determinats amb el Mètode 2 de dosificació variable (esquerra) i diagrama de residus (dreta). La línia roja representa el model de regressió lineal simple ajustat, la línia gris discontinua la relació ideal entre cabals (esquerra) i la línia blava discontinua el residu zero (dreta).

**Taula 7.15.-** Resum del model de regressió lineal simple ajustat a les dades de cabal polvoritzat amb el prototipus Fluxpro 2 en funció del cabal teòric determinat amb el Mètode 2 de dosificació variable en temps real.

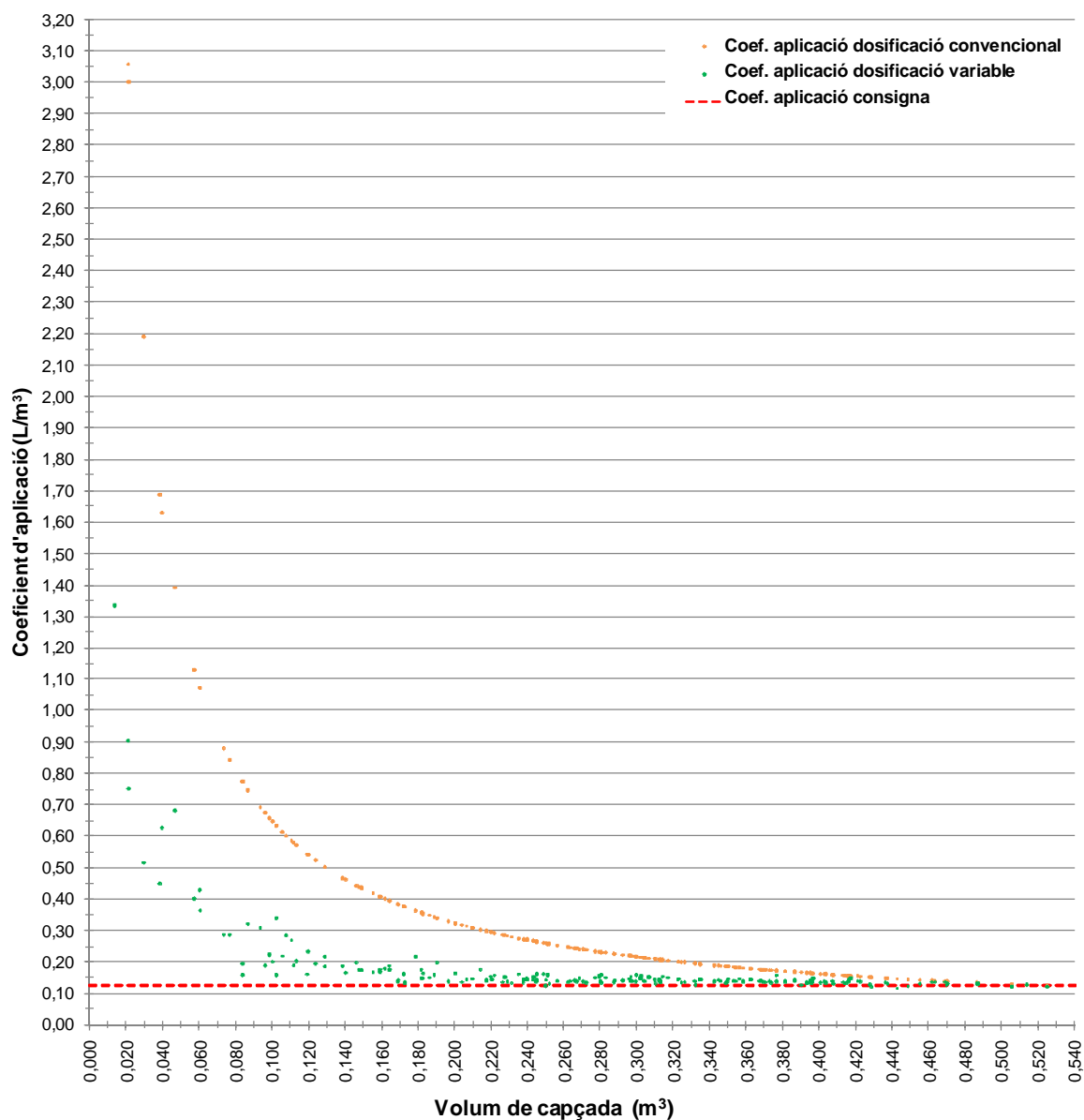
Paràmetre	Valor	Terme	Estimació	Error est.	Estadístic t	Prob >  t
<b>Coef. determinació (<math>R^2</math>)</b>	0,935	Intersecció	-0,057	0,121	-0,470	0,6355
<b>Coef. correlació (r)</b>	0,967	Pendent	1,062	0,020	53,150	< 0,0001
<b>AEQM* (L/min)</b>	0,487					
<b>Observacions</b>	201					

\* Arrel quadrada de l'error quadràtic mitjà.

A la Figura 7.47 es representen els coeficients d'aplicació obtinguts durant els dos tractaments, el convencional i el variable, en funció del volum de capçada estimat pel sensor lidar. A diferència del Mètode 1 de dosificació variable en temps real utilitzat en el prototipus Fluxpro 1, el Mètode 2 determina el cabal a aplicar a partir de la semisecció de la capçada estimada, la velocitat d'avanç del polvoritzador i del coeficient d'aplicació que es consideri adient per a la plantació a tractar. A l'assaig de validació realitzat es va establir un coeficient d'aplicació consigna de  $0,125 \text{ L/m}^3$ . Al diagrama de la Figura 7.47 s'observa que el tractament convencional només aconsegueix aquest coeficient d'aplicació a les zones de la plantació amb la màxima vegetació, allunyant-se'n a mesura que aquesta disminueix. Analitzant amb més detall les mostres de volum de capçada, el tractament convencional només aplica el coeficient d'aplicació consigna en un 1% de la capçada i sobredosifica el 99% restant. Si s'accepta com a coeficient d'aplicació òptim el rang de valors entre  $0,125 \text{ L/m}^3$  i  $0,185 \text{ L/m}^3$  (una majoració del 50%), la capçada tractada correctament augmenta fins el 29%, sobredosificant el 71% restant.

El tractament amb dosificació variable segons el Mètode 2, en canvi, modifica el cabal polvoritzat per tal d'adaptar-lo a la capçada en cada cas i, en la mesura del possible, mantenir el coeficient d'aplicació establert en la fase de disseny del tractament. Es pot observar clarament que els coeficients d'aplicació obtinguts amb el Mètode 2 de dosificació variable romanen propers al coeficient d'aplicació consigna fins que s'arriba a les seccions més petites on el prototipus Fluxpro

2 aplica més cabal del compte per a garantir una aplicació correcta, tal com s'ha esmentat anteriorment. Si es consideren òptims els coeficients d'aplicació entre  $0,125 \text{ L/m}^3$  i  $0,185 \text{ L/m}^3$ , com en el cas convencional, els coeficients obtinguts es mantenen raonablement dins d'aquest interval el 84% dels casos, sobredosificant el 16% restant.



**Figura 7.47.-** Diagrama de dispersió dels coeficients d'aplicació obtinguts amb el prototipus Fluxpro 2 en les aplicacions segons dosificació convencional constant i en base al Mètode 2 de dosificació variable en temps real en funció del volum de capçada estimat amb un sensor lidar.

Tal com es pot apreciar a la Taula 7.16 i en els histogrames i diagrames de caixa de la Figura 7.48, els valors dels coeficients d'aplicació obtinguts són molt més favorables que els obtinguts amb el mode convencional d'aplicació.

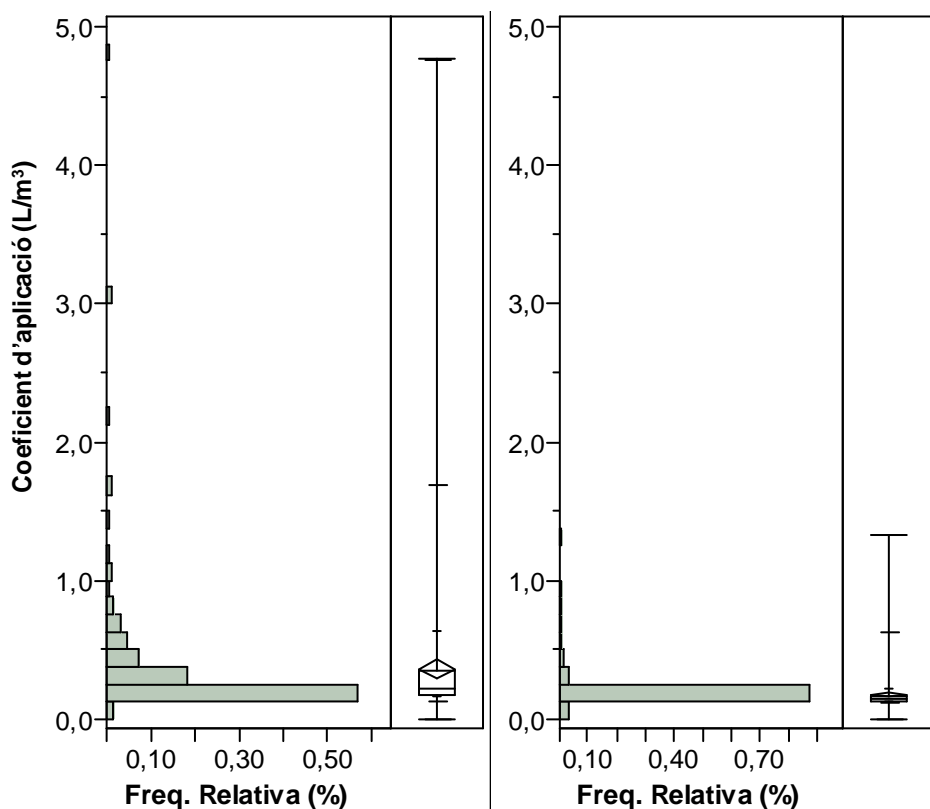


**Taula 7.16.-** Estadístics descriptius dels coeficients d'aplicació obtinguts amb el prototipus Fluxpro 2 en les aplicacions segons dosificació convencional constant i segons el Mètode 2 de dosificació variable en temps real.

Estadístics descriptius	Dosificació convencional constant	Dosificació segons Mètode 2 de dosificació variable en temps real
Mitjana (L/m <sup>3</sup> )	0,364 a	0,177 b
Màxim (L/m <sup>3</sup> )	4,766	1,336
Mínim (L/m <sup>3</sup> )	0,123	0,115
Desviació estàndard (L/m <sup>3</sup> )	0,496	0,130
AEQM** (L/m <sup>3</sup> )	0,035	0,009
Observacions	201	201
Variància	0,246	0,017
Coef. de variació (%)	136,064	73,747

\* Lletres diferents en mitjanes impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.

\*\* Arrel quadrada de l'error quadràtic mitjà.



**Figura 7.48.-** Histogrames i diagrames de caixa de les freqüències relatives dels coeficients d'aplicació obtinguts amb el prototipus Fluxpro 2 en les aplicacions segons dosificació convencional constant (esquerra) i segons dosificació amb el Mètode 2 de dosificació variable en temps real (dreta).

Tant el coeficient d'aplicació del tractament amb dosificació variable com la seva variabilitat són pràcticament la meitat dels obtinguts amb el mètode convencional i el valor màxim dels coeficients d'aplicació convencional és gairebé 3,5 vegades major que l'obtingut amb dosificació variable. En els histogrames també es pot apreciar que els valors del coeficient d'aplicació del tractament variable es concentren pràcticament tots en la classe que conté el coeficient d'aplicació consigna mentre que en els obtinguts amb el mode convencional presenten una major dispersió dels seus valors.

Com a aspectes negatius del funcionament del prototipus cal esmentar que el 2,5% de capçada va rebre un coeficient d'aplicació lleugerament inferior a l'objectiu (0,115 L/m<sup>3</sup>) mentre que el percentatge de capçada infradosificada es redueix fins el 0,5% en el cas de l'aplicació

convencional. Un altre aspecte a tenir en compte és que, tant en el prototipus Fluxpro 1 com en el Fluxpro 2, es va observar que la variació del cabal polvoritzat comportava la modificació de l'obertura dels rajos de polvorització emesos pels broquets. Aquest fet podria tenir alguna repercussió en la distribució dels productes fitosanitaris en la capçada així que aquest efecte s'analitzarà, si s'escau, al Capítol 8.

## **7.6 Conclusions particulars referents a la implementació del prototipus**

---

La solució adoptada de modificar el cabal polvoritzat mitjançant electrovàlvules proporcionals de solenoide d'alta freqüència ha permès la implementació del Mètode 1 i del Mètode 2 de dosificació variable en temps real sense afectar significativament la mida de les gotes generades.

Aquest tipus d'electrovàlvules presenta una limitació en termes de pressió diferencial màxima admissible que impedeix la seva plena adaptació a les condicions habituals d'aplicació comercial de productes fitosanitaris. Fins a la data de realització dels assajos de validació, no s'ha trobat cap altra alternativa vàlida al mercat i, per tant, caldria un desenvolupament a mida per a adaptar aquest element.



Els assajos de validació en laboratori del prototipus Fluxpro 1 dosificant segons el Mètode 1 de dosificació variable en temps real han posat de manifest una forta correlació entre els cabals teòrics a polvoritzar i els cabals aplicats ( $R^2=0,959$ ).

Els assajos de validació en camp mostren una correlació menys intensa però encara important entre els cabals teòrics a polvoritzar i els cabals aplicats tant a partir de la informació d'un sensor d'ultrasons com de dos sensors ( $R^2=0,712$  i  $R^2=0,751$ , respectivament). Una correlació similar és la que es dona entre les semiseccions transversals estimades amb un i dos sensors i el corresponent cabal polvoritzat ( $R^2=0,707$  i  $R^2=0,753$ , respectivament).

En referència als coeficients d'aplicació assolits, el prototipus Fluxpro 1 polvoritzant en mode variable ha aconseguit valors significativament menors que el mode convencional tant en el seu funcionament amb un i amb dos sensors d'ultrasons.

A partir de les dades obtingudes, el prototipus Fluxpro 1 s'ha considerat vàlid per a executar el Mètode 1 de dosificació variable en temps real.



Els cabalímetres de turbina utilitzats a la segona etapa de desenvolupament per al monitoratge del comportament del prototipus Fluxpro 2 presenten un millor comportament que els electromagnètics donada la seva elevada velocitat de resposta (< 500 ms) si bé la seva precisió és lleugerament menor.

Les electrovàlvules de tall incorporades al circuit hidràulic del prototipus han permès incrementar la pressió de treball del polvoritzador i, en conseqüència, el rang de regulació del cabal, ampliant les possibilitats de dosificació del prototipus Fluxpro 2.

Els resultats dels assajos de validació en camp del prototipus Fluxpro 2 amb el Mètode 2 de dosificació variable en temps real han mostrat una forta correlació entre els cabals teòrics a polvoritzar i els cabals aplicats ( $R^2=0,935$ ). Una correlació similar és la que es dona entre les semiseccions transversals estimades i el cabal polvoritzat ( $R^2=0,926$ ).

En referència als coeficients d'aplicació assolits, el prototipus Fluxpro 2 polvoritzant en mode variable ha aconseguit valors significativament menors que el mode convencional.

A partir de les dades obtingudes, el prototipus Fluxpro 2 s'ha considerat vàlid per a executar el Mètode 2 de dosificació variable en temps real.

## **7.7 Possibles millores del prototipus de polvorització variable**

---

Donada la importància de la sincronització entre la detecció de la vegetació pels diferents sensors i la seva polvorització segons el Mètode 2 de dosificació variable, caldria dissenyar una metodologia o un sistema que permetés el seu ajust de la manera més precisa possible per tal d'evitar errors d'asincronia.

Lligat a aquest aspecte, una altra millora seria la implementació d'un sensor de velocitat al polvoritzador per tal que la regulació es realitzés a partir de la velocitat real instantània en comptes de la velocitat constant teòrica que s'introdueix actualment al dispositiu electrònic de regulació. Aquesta incorporació ajudaria a millorar la sincronització entre el prototipus i la capçada.

Per tal d'evitar tot el procés de calibratge de les electrovàlvules proporcionals del prototipus Fluxpro 2 i per tal de millorar el seu comportament hidràulic, seria interessant plantejar el control del procés de variació del cabal en un sistema de bucle tancat amb la realimentació realitzada amb sensors de pressió o de cabal.





# 8

## **Assajos de validació del mètode de dosificació**



## 8.1 Introducció

---

Al Capítol 5 s'ha desenvolupat el mètode de dosificació variable en temps real i en els capítols 6 i 7, els elements necessaris per a executar-lo en condicions reals. En aquest capítol s'ha procedit a assajar tots els elements de manera conjunta en condicions reals de camp per tal de validar el seu funcionament i, per tant, la Hipòtesi 3 de partida d'aquesta tesi. A tal efecte s'han dut a terme una sèrie d'assajos en plantacions representatives de la zona fructícola de Lleida. Les plantacions escollides han estat perers de la cultivar 'Conference' i pomers de les cultivars 'Golden' i 'Top red'. La majoria dels assajos s'han realitzat en perer i amb els assajos en pomers s'ha buscat la diversificació per tal d'avaluar el comportament del sistema en diferents condicions de treball.

## 8.2 Materials i mètodes

---

### 8.2.1 Assajos i tractaments

Les proves de validació de la Hipòtesi 3 de partida d'aquesta tesi doctoral consten de cinc assajos. Tots els assajos s'han realitzat a la finca que l'Estació Experimental de Lleida, pertanyent a l'Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries, té a Gimenells. Cadascun dels assajos ha consistit en la realització de diversos tractaments (entre dos i quatre) en un mateix tram de fila prèviament delimitat. En tots els assajos, un dels tractaments ha estat el realitzat en mode convencional, aplicant un cabal constant de brou fitosanitari. La resta dels tractaments de cada assaig ha consistit en diferents configuracions de tractaments amb dosificació variable en temps real d'acord amb el Mètode 1 o el Mètode 2.

El primer assaig es va realitzar el 28 de juny de 2001, el segon el 31 de juliol de 2002, el tercer el 28 de setembre de 2005, el quart el 5 d'octubre de 2005 i el darrer el 6 d'octubre de 2006.

### 8.2.2 Configuració dels polvoritzadors

Els polvoritzadors utilitzats en els diferents tractaments dels assajos realitzats són els prototipus descrits al Capítol 7 d'aquest treball de recerca. Concretament, els assajos realitzats els anys 2001 i 2002 han utilitzat el prototipus Fluxpro 1, descrit a l'apartat 7.5.1.- Validació del prototipus Fluxpro 1 en laboratori; la resta han fet servir el prototipus Fluxpro 2, descrit a l'apartat 7.5.2 Validació del prototipus Fluxpro 2 en laboratori.

### 8.2.3 Característiques i dimensions de les plantacions

Les plantacions en les que s'han dut a terme els dos assajos per a la validació del Mètode 1 de dosificació variable en temps real han estat les plantacions de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' i de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious' descrites a la Figura 6.29, la Figura 6.30 i la Taula 6.3. En el cas de la plantació de perers, el valor de semiamplada màxima introduït a l'algorisme de regulació del cabal polvoritzat va ser de 0,75 m (d'acord amb l'indicat a la Taula 6.3). Aquest valor s'ha establert a partir de diverses mesures manuals realitzades en el tram de fila a assajar. Donada la importància del paràmetre semiamplada màxima en el Mètode 1 de



dosificació variable, a l'assaig realitzat a la plantació de pomers s'ha establert un procediment de mesura més acurat. Aquest procediment ha consistit en utilitzar els mateixos sensors del prototipus per a mesurar les semiamplades dels dos costats del tram de fila a tractar amb caràcter previ a l'assaig. A partir de la mostra obtinguda, s'han seleccionat els percentils 50%, 70% i 90% com a semiamplades màximes per a cadascun dels tres tractaments realitzats amb dosificació variable.

Les plantacions en les que s'han realitzat els assajos de validació del Mètode 2 de dosificació variable l'any 2005 han estat de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' i de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top Red'. A la Figura 6.33, la Figura 6.34 i la Taula 6.4 es pot veure el seu emplaçament, una imatge del seu estat i les seves característiques principals, respectivament.

El darrer assaig que contempla aquest treball s'ha realitzat l'any 2006 en la mateixa plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' que l'any 2005. A la Taula 6.5 es relacionen les característiques principals de la plantació en els dies previs a l'assaig.

#### 8.2.4 Dades meteorològiques

Durant l'execució de cadascun dels tractaments dels diferents assajos s'han enregistrat dades de temperatura de l'aire i humitat relativa a dos metres de terra i velocitat i direcció del vent un metre per sobre de la capçada. Les mesures s'han realitzat amb l'estació meteorològica automàtica que es pot observar a la Figura 8.1 (Campbell Scientific, Inc.; Logan, Estats Units).



Figura 8.1.- Estació meteorològica automàtica instal·lada a la parcel·la d'assaig.

Per a una correcta realització dels tractaments, es consideren valors acceptables les temperatures inferiors a 25°C, les humitats relatives superiors al 50% i velocitats del vent inferiors a 3 m/s. Les dades meteorològiques s'han enregistrat per a comprovar *a posteriori* que els valors són adequats i per a determinar si han pogut penalitzar algun dels tractaments respecte els altres.

### 8.2.5 Tècnica d'assaig i traçadors emprats

En la selecció de la tècnica d'assaig a utilitzar s'han tingut en compte diversos factors. El més versemblant seria realitzar tractaments experimentals amb productes fitosanitaris reals i analitzar la seva eficàcia enfront de les plagues o malalties presents a la plantació. Aquesta tècnica presenta dos grans inconvenients. Per un costat, treballar a nivell experimental amb productes fitosanitaris reals comporta un contacte prolongat i intens amb les matèries actives no només durant l'aplicació, com els succeeix als aplicadors, sinó també durant els processos de mostatge i de tractament de les mostres en laboratori. Aquest contacte comporta un risc inherent per a la salut dels investigadors.

D'altra banda, analitzar els resultats dels tractaments en termes d'eficàcia biològica suposa condicionar la realització dels tractaments en plantacions en les que les plagues o malalties seleccionades siguin presents en un grau d'infestació suficient. Una altra limitació important és el moment de realització dels tractaments, que cal adaptar a l'estadi de màxima sensibilitat de la plaga o malaltia a la matèria activa a utilitzar. A més, és necessari repetir els assajos en diverses plantacions i durant diverses campanyes per a extreure la variabilitat dels resultats deguda a factors externs no controlables (Cross *et al.*, 1997a).

L'alternativa als productes fitosanitaris reals és la utilització de substàncies que tinguin un comportament similar i que actuïn com a traçadors per a monitorar la distribució del producte que faci el polvoritzador estudiat. Els traçadors utilitzats fins al moment en la bibliografia vinculada a l'aplicació de fitosanitaris són de tipus colorant, de tipus fluorescent o de tipus metàl·lic. En les metodologies desenvolupades i emprades en els assajos d'aplicació de fitosanitaris, els dos primers traçadors no contempnen la seva superposició en la mateixa mostra. Els traçadors metàl·lics sí que ho contempnen i aquest fet aporta avantatges significatius en la validació de les hipòtesis d'aquesta tesi.

El primer, i més important, és que, en permetre treballar sobre el mateix col·lector, la variabilitat experimental introduïda en tractaments sobre capçades diferents desapareix i, per tant, les comparacions estadístiques són més precises. En treballs de recerca en els que es pretén comparar el comportaments de dos o més tractaments, com el present, aquesta característica resulta summament interessant. Altres característiques no menys importants són el fet que la presa de mostres i el seu tractament en laboratori disminueixen en dos, tres o quatre vegades segons el nombre de tractaments successius realitzats. Aquest fet redueix els costos temporals, de mà d'obra i d'anàlisi de l'assaig de manera significativa. I, finalment, el fet d'utilitzar el mateix tram de fila per a tots els tractaments permet reduir al màxim les necessitats de superfície de parcel·la requerida en cada assaig. Cal tenir en compte que la utilització de traçadors colorants o fluorescents requereix un tram de fila per a cada tractament a més de les files intermèdies necessàries (quatre o cinc) a fi d'evitar la contaminació que cada tractament provoca en files veïnes.

En el cas de l'avaluació de la distribució de producte en la capçada, s'ha resolt utilitzar les mateixes fulles com a col·lector. Altres tipus de col·lectors artificials no reproduïxen fidelment el comportament dinàmic de les fulles en el moment de ser polvoritzades i, per tant, els resultats obtinguts poden no reproduir el resultat d'un tractament real. En el cas de l'avaluació de les pèrdues a terra, els col·lectors utilitzats han estat papers de filtre tallats en porcions de dimensions conegudes.

La tècnica utilitzada en els assajos de validació de la Hipòtesi 3 de partida es basa en la descrita en Murray *et al.* (2000), tècnica utilitzada per diversos autors en els seus treballs de recerca (Travis *et al.*, 1987a; Travis *et al.*, 1987b; Sutton i Unrath, 1988a; Sutton i Unrath, 1988b; Cross *et al.*, 2001a; Cross *et al.*, 2001b; Cross *et al.*, 2003; Walklate *et al.*, 2003b; Nuyttens *et al.*, 2004; Walklate *et al.*, 2004; Ortí *et al.*, 2005a; Jaeken *et al.*, 2006; Ortí i Val, 2006; Xu *et al.*, 2006). Els autors desenvolupen una metodologia d'assaig que permet realitzar els diferents tractaments de cada assaig sobre el mateix tram de fila. Donat que tant el Mètode 1 com el Mètode 2 dosifiquen a partir de les dimensions de la capçada, s'ha considerat molt interessant poder comparar el resultat dels tractaments sobre les mateixes capçades.

Els traçadors utilitzats han estat quelats metàl·lics registrats per a l'ús agrícola com a fertilitzants foliaris. Els quelats que s'han utilitzat en els diferents tractaments han estat de quelats de ferro, de manganès, de zinc i de molibdè. L'aplicació successiva d'aquests quelats ha permès acumular deposicions de metalls diferents sobre les mateixes fulles del tram de fila objecte de l'assaig. La tècnica analítica d'espectrometria d'emissió òptica amb plasma induït per alta freqüència (*Inductively-Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry*, ICP-OES, en la seva denominació anglosaxona) ha estat utilitzada per a determinar la quantitat recuperada de cada metall. Les determinacions analítiques s'han realitzat amb l'equip Liberty 220 (Varian, Palo Alto, Estats Units) a les instal·lacions del Laboratori Agroalimentari del Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural de la Generalitat de Catalunya, situat a Cabriels (Figura 8.2).



**Figura 8.2.-** Equip ICP-EOS utilitzat en les anàlisis de les mostres dels assajos, situat al Laboratori Agroalimentari del Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural de la Generalitat de Catalunya, situat a Cabriels.

### 8.2.5.1 Disseny experimental

La realització dels diferents tractaments en el mateix tram de fila d'arbres ha permès simplificar la disposició dels assajos però ha comportat l'adaptació dels protocols així com també del prototipus. Les modificacions han tingut la finalitat de reduir al màxim els temps morts entre tractaments a fi que les condicions meteorològiques siguin el més similars possibles i, per tant, els tractaments siguin comparables.

En general, els assajos s'han realitzat coincidint amb les recomanacions que, posteriorment, es van recollir en la norma internacional ISO 22522:2007 titulada *Crop protection equipment - Field measurement of spray distribution in tree and bush crops*.

#### 8.2.5.1.1 Disposició de l'assaig

Els assajos s'han realitzat segons un disseny en tres repeticions. A la parcel·la d'assaig s'ha seleccionat un fila d'arbres i, dins d'aquesta, tres arbres dels que s'han pres les mostres de fulles per a la determinació de les deposicions dels diferents traçadors. La fila seleccionada es troba suficientment allunyada de les vores de la parcel·la (tres o més files). En la fila triada s'han marcat tres arbres representatius de la plantació suficientment allunyats dels extrems ( $\geq 10$  m) i suficientment separats entre ells ( $\geq 10$  m). Cadascun dels arbres seleccionats correspon a un bloc de repetició. A la Figura 8.3 es mostra un esquema de la disposició típica dels assajos realitzats en aquest treball de recerca.

#### 8.2.5.1.2 Estratègia de mostratge dels blocs

L'estratègia de mostratge de la capçada s'ha establert després de realitzar una sèrie d'assajos preliminars, els resultats dels quals els recullen Escolà *et al.* (2004). La conclusió ha estat que el mostratge per zones és una bona eina per a analitzar com es distribueix el traçador en la capçada. A més de tenir en compte el factor *Tractament*, l'estratègia de mostratge seguida ha consistit en dividir la capçada en diferents zones de les que es prenen les mostres de fulles. Les zones es delimiten a partir de la divisió virtual de la capçada en funció de quatre factors: *Costat* de la fila (dret i esquerre), *Zona* de mostratge (àrea del tronc i àrea entretroncs), *Alçada* de la capçada (tres o quatre estrats) i *Profunditat* de mostratge (interior i exterior de la capçada). A la Figura 8.4 s'observa un esquema amb diferents vistes de les zones de mostratge de la capçada. Al primer assaig, realitzat a la cultivar 'Conference' l'any 2001, no es va tenir en compte el factor *Zona* de mostratge. Al mateix assaig i al realitzat a la cultivar 'Golden Delicious', els estrats del factor *Alçada* han estat tres enlloc dels quatre considerats a la resta d'assajos. A l'assaig realitzat sobre la cultivar 'Conference' l'any 2001 s'han pres un total de 36 mostres de fulles de la capçada, corresponents als tres blocs, els dos costats, les tres alçades i les dues profunditats. A l'assaig realitzat l'any 2002 a la cultivar 'Golden Delicious' s'han pres 72 mostres, donat que es va considerar el factor *Zona* de mostratge. I a la resta d'assajos s'han pres un total de 96 mostres pel fet de considerar quatre alçades en comptes de tres.

Abans de l'execució dels diferents tractaments de cada assaig, s'han pres mostres de fulles en blanc per tal de descartar una hipotètica presència dels metalls que posteriorment s'han aplicat, procedents de fonts no controlades. L'estratègia de mostratge de les mostres en blanc s'ha simplificat lleugerament donat que no és necessària la quantificació de les possibles deposicions anteriors a l'assaig. Les mostres en blanc s'han pres de cada bloc, de cada alçada i de cada profunditat, en un total entre 18 i 24 segons l'assaig.

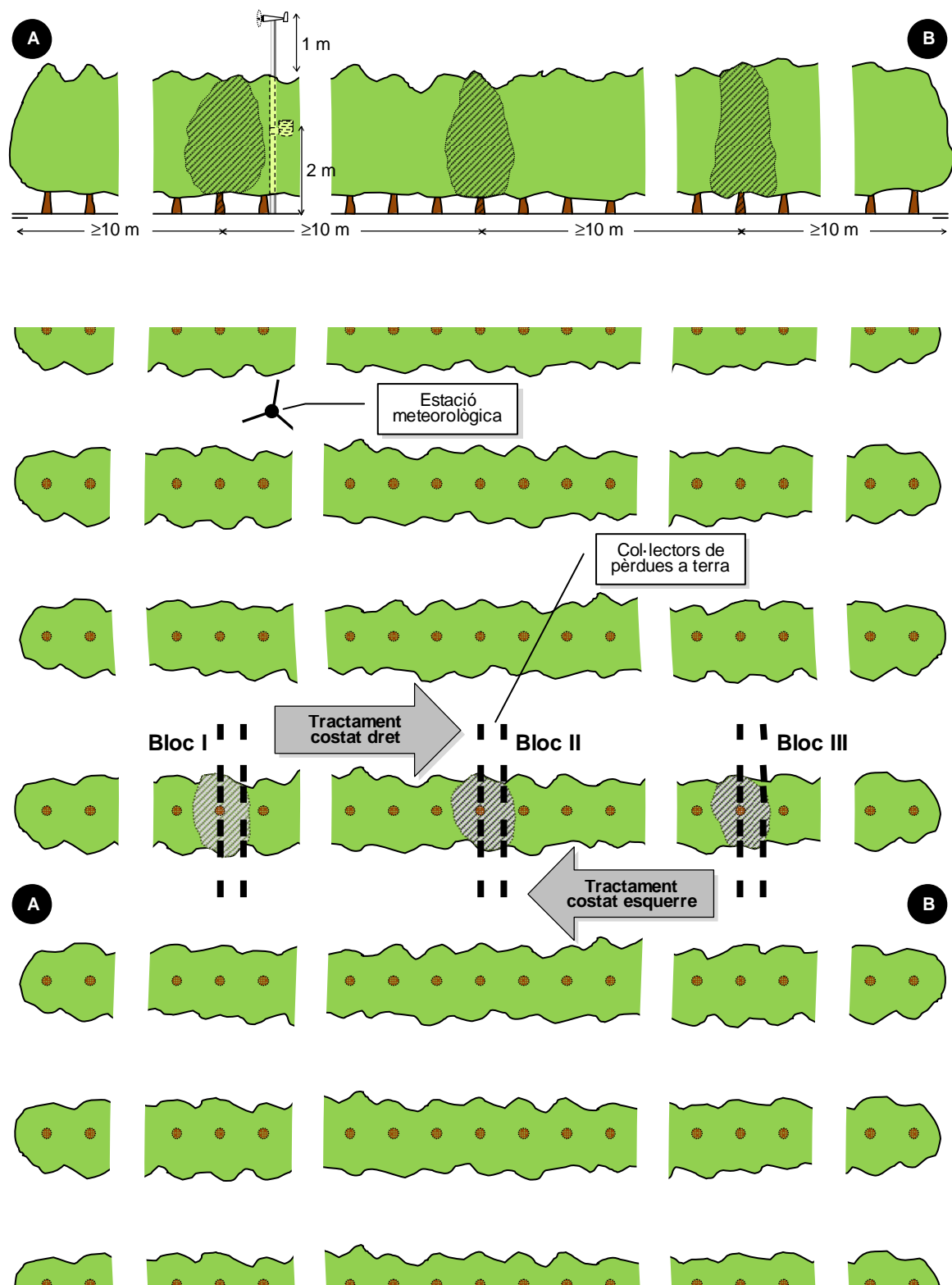
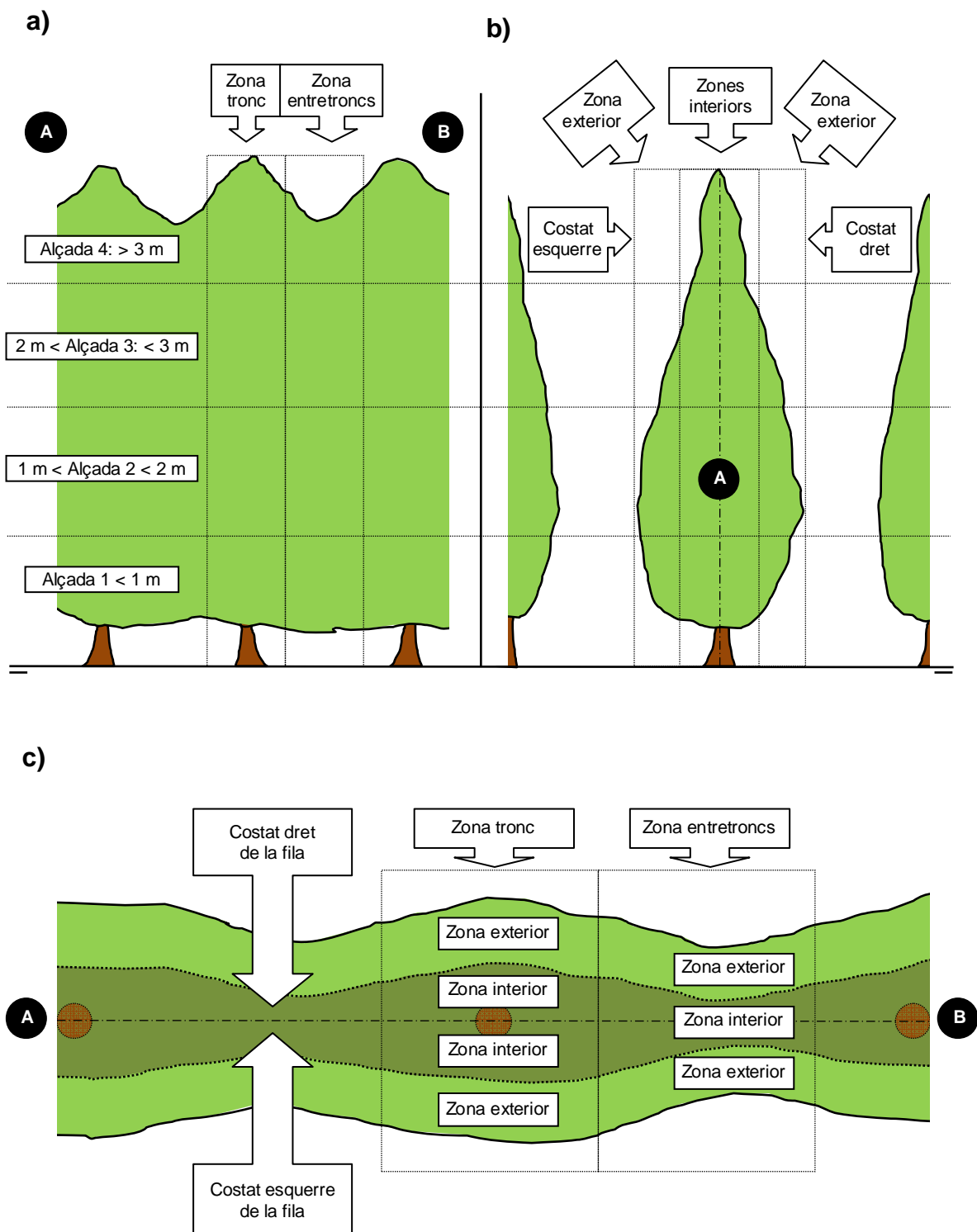


Figura 8.3.- Esquema de la disposició dels elements en un assaig de validació vistos en planta i en alçat.



**Figura 8.4.-** Esquema de les zones de mostreig de la capçada amb les seves vistes en alçat lateral (a), alçat frontal (b) i en planta (c) en un dels blocs definits en la parcel·la d'assaig.

Pel que fa al mostratge de les pèrdues a terra, s'han situat col·lectors artificials de paper de filtre segons la disposició indicada a la Figura 8.3. Els factors considerats han estat el tipus de *Tractament*, el *Costat* de la fila, la *Zona* de mostratge i la *Posició* dels col·lectors. La selecció de les diferents posicions ha respost a la voluntat de recollir les possibles pèrdues a terra provinents de cadascuna de les zones interiors i exteriors de la capçada, així com del centre dels carrers a ambdós costats de la fila. En el primer assaig s'han situat cinc col·lectors enlloc de sis, agrupant els dos col·lectors de la zona interior en un de sol situat al costat del tronc.

### 8.2.5.1.3 Protocol d'assaig

A continuació es reproduïx el protocol seguit en la realització d'un assaig típic amb dos tractaments diferents: un de convencional i un altre amb dosificació variable en temps real.

1. EN ARRIBAR A LA PARCEL·LA:
  - 1.1. Recol·lecció de mostres de fulles en blanc.
  - 1.2. Distribuir col·lectors de pèrdues a terra.
  - 1.3. Plantar estació meteorològica automàtica.
2. TRACTAMENT 1:
  - 2.1. Portar polvoritzador a la filera seleccionada.
  - 2.2. Comprovar configuració del polvoritzador.
  - 2.3. Enrasar el dipòsit al volum d'aigua necessari.
  - 2.4. Preparar el brou fitosanitari.
  - 2.5. Agitar el brou i deixar rajar per a omplir tot el circuit hidràulic.
  - 2.6. Presa de mostres de concentració de brou al dipòsit als broquets.
  - 2.7. Configuració del sistema electrònic de regulació: tractament convencional o variable.
  - 2.8. Configuració de les condicions de treball: revolucions del motor del tractor i pressió de treball del polvoritzador.
  - 2.9. Connexió del ventilador del polvoritzador: marxa adient.
  - 2.10. Anotació de l'hora d'inici del tractament i dades meteorològiques.
  - 2.11. Execució del tractament 1.
  - 2.12. Anotació de l'hora de finalització del tractament i dades meteorològiques.
  - 2.13. Desconnexió del ventilador del polvoritzador.
  - 2.14. Presa de mostres de concentració de brou al dipòsit al dipòsit als broquets.
  - 2.15. Allunyament de la fila tractada per a evitar contaminació de les mostres.
  - 2.16. Buidat del dipòsit.
  - 2.17. Canvi en la configuració del polvoritzador per a l'aspiració d'aigua neta.
  - 2.18. Neteja del dipòsit i del circuit hidràulic del polvoritzador.
3. TRACTAMENT 2:
  - 3.1. Portar polvoritzador a la filera seleccionada.
  - 3.2. Comprovar configuració del polvoritzador.
  - 3.3. Enrasar el dipòsit al volum d'aigua necessari.
  - 3.4. Preparar el brou fitosanitari.
  - 3.5. Agitar el brou i deixar rajar per a omplir tot el circuit hidràulic.
  - 3.6. Presa de mostres de concentració de brou al dipòsit als broquets.
  - 3.7. Configuració del sistema electrònic de regulació: tractament convencional o variable.
  - 3.8. Configuració de les condicions de treball: revolucions del motor del tractor i pressió de treball del polvoritzador.

- 3.9. Connexió del ventilador del polvoritzador: marxa adient.
- 3.10. Anotació de l'hora d'inici del tractament i dades meteorològiques.
- 3.11. Execució del tractament 2.
- 3.12. Anotació de l'hora de finalització del tractament i dades meteorològiques.
- 3.13. Desconnexió del ventilador del polvoritzador.
- 3.14. Presa de mostres de concentració de brou al dipòsit als broquets.
- 3.15. Buidat del dipòsit.
- 3.16. Canvi en la configuració del polvoritzador per a l'aspiració d'aigua neta.
- 3.17. Neteja del dipòsit i del circuit hidràulic del polvoritzador.
4. Recol·lecció de les mostres de pèrdues a terra.
5. Recol·lecció de mostres de fulles per a anàlisi de la deposició.

#### 8.2.5.1.4 Adaptacions del prototipus Fluxpro 2

Les adaptacions del prototipus Fluxpro 2 a la tècnica d'assaig utilitzada s'han dut a terme per tal de reduir al màxim els temps morts entre tractaments. Els temps morts venen donats per la necessitat de netejar el dipòsit i tot el circuit hidràulic del brou del tractament anterior i per la preparació del brou fitosanitari del següent tractament. Les modificacions han consistit en implementar una estructura metàl·lica per a suportar un dipòsit auxiliar addicional de 200 litres de capacitat intercanviable segons el quelat utilitzat i en adaptar les connexions hidràuliques (Figura 8.5). Aquesta millora permet mantenir el dipòsit principal amb aigua neta que s'utilitza per a la neteja del circuit hidràulic i l'emplenament dels dipòsits auxiliars. El brou fitosanitari utilitzat en cada tractament s'aspira directament del dipòsit auxiliar sense que entri en contacte amb l'aigua neta del dipòsit principal. Una vegada finalitzat el tractament es procedeix a canviar el dipòsit auxiliar per un altre, es prepara un nou brou i es polvoritza un temps prudencial fins que la concentració del brou que surt pels broquets coincideix amb la del dipòsit.



Figura 8.5.- Imatge del dipòsit auxiliar implementat al prototipus Fluxpro 2 per a reduir els temps morts entre assajos.



## 8.2.6 Anàlisi de les dades i expressió dels resultats

### 8.2.6.1 Determinació de les deposicions

Cada mostra de fulles per a la seva anàlisi i determinació de la deposició ha consistit en cinc fulles preses aleatòriament dins de cada una de les zones delimitades. A mesura que s'han anat prenent les fulles de cada mostra s'han emmagatzemat en bosses de plàstic degudament etiquetades amb el nom de la zona de procedència.

Els quelats utilitzats són productes fertilitzants dissenyats per a que l'element metàl·lic en qüestió penetri a la fulla. Per aquest motiu, una vegada collides, les bosses amb les mostres de fulles s'han emmagatzemat refrigerades i en condicions de foscor per tal de reduir la seva activitat metabòlica fins a la seva arribada al laboratori.

Una vegada al laboratori, el processament de les mostres ha consistit en les següents etapes:

1. Rentat de les fulles o els papers de filtre continguts en cada bossa de plàstic amb un volum conegut d'aigua desionitzada per tal que els metalls dipositats sobre la seva superfície es dissolguin en l'aigua de rentat. L'operació de rentat de les mostres ha consistit en introduir un volum conegut d'aigua desionitzada (habitualment 100 mL), deixar reposar durant 60 minuts i realitzar un sacsejat intens de la bossa. Una vegada transcorregut el temps de repòs s'ha realitzat un segon sacsejat intens de la bossa per a homogeneïtzar la concentració de l'aigua de rentat. Finalment, s'ha recollit el volum d'aigua de rentat en un pot hermètic degudament etiquetat que s'ha emmagatzemat en fred fins el moment de la seva anàlisi al Laboratori Agroalimentari de Cabrils.
2. Anàlisi del contingut de cada metall en l'aigua de rentat per tal de determinar la seva concentració.
3. Determinació de la quantitat de cada metall dipositat en el conjunt de la mostra de fulles o paper de filtre a partir de la seva concentració i el volum d'aigua desionitzada emprat.
4. Determinació de la superfície de cadascuna de les fulles de cada mostra o dels papers de filtre per tal de fer el càlcul de la deposició. A tal efecte s'ha emprat un planímetre d'anàlisi d'imatge de la casa Delta-T Devices Ltd. (Burwell, Regne Unit). Els col·lectors de paper de filtre emprats per a la mesura de les pèrdues a terra s'han tallat manualment amb unes dimensions determinades i, per tant, la seva superfície és coneguda.

L'expressió per a la determinació de la deposició es mostres s'indica en l'Equació 8.1.

Equació 8.1

$$d_m = \frac{V_R \cdot C_m}{S_c}$$

On  $d_m$  és la deposició d'una determinada mostra;  $V_R$  és el volum d'aigua desionitzada emprada per al rentat de la mostra;  $C_m$  és la concentració de metall estimada en laboratori amb la tècnica ICP-EOS;  $S_c$  és la superfície del col·lector utilitzat.

### 8.2.6.2 Comparació dels tractaments

El primer pas per a l'anàlisi conjunta de les dades de deposició d'un assaig amb diversos tractaments és la normalització dels valors obtinguts a partir de l'Equació 8.1 respecte d'una mateixa concentració de brou fitosanitari al dipòsit segons l'Equació 8.2.

Equació 8.2 
$$d_N = d_m \cdot \frac{C_N}{C_b}$$

On  $d_N$  és la deposició normalitzada;  $C_N$  és la concentració de normalització del traçador al brou fitosanitari;  $C_b$  és la concentració de traçador al brou en cada tractament.

Tradicionalment, la comparació de tractaments diferents s'ha realitzat a partir de la mitjana de les deposicions normalitzades de cada tractament i del coeficient de variació de la mostra; el criteri de valoració per a la determinació del tractament més favorable ha estat, consegüentment, la màxima deposició mitjana i el mínim coeficient de variació. Tanmateix, es reconeix una certa sobredosificació en els tractaments convencionals per tal que totes les zones de la capçada rebin la dosi mínima requerida per al control de la plaga o malaltia (Cross *et al.*, 1997a).

En aquest treball s'ha considerat que la simple comparació entre mitjanes i coeficients de variació pot penalitzar els tractaments realitzats amb dosificació variable que tenen com a principal objectiu reduir la sobredosificació que es reconeix en els tractaments convencionals. Reduint aquesta sobredosificació, la deposició mitjana global del tractament resulta, òbviament, menor sense que aquest fet hagi de significar que el tractament sigui menys eficaç. En referència al coeficient de variació, aquest factor quantifica la variabilitat de les deposicions de manera relativa a la deposició mitjana. Aquest coeficient permet la comparació relativa entre tractaments que obtinguin deposicions mitjanes diferents. Conceptualment, el coeficient de variació permet la comparació de les desviacions estàndards dels diferents tractaments considerant deposicions mitjanes unitàries. En el cas de la comparació d'un tractament convencional amb un tractament variable realitzat amb els prototipus dissenyats en aquest treball, es considera que l'ús d'aquest coeficient penalitza el tractament variable. Si es donés el fet que tots dos tractaments generessin la mateixa desviació estàndard, el tractament variable, amb una deposició mitjana menor, obtindria un coeficient de variació major quan caldria qualificar aquest fet com a positiu. Es podria donar el cas que un tractament variable aconseguís una reducció de la deposició mitjana global sense comprometre la seva l'eficàcia i una reducció de la desviació estàndard de la mostra. Si la reducció percentual de la desviació estàndard fos inferior a la de la mitjana de les deposicions, el coeficient de variació seria major que el del tractament convencional quan les fites aconseguides pel variable són clarament positives. És per aquests motius que en la comparació dels tractaments es tindrà en compte el paràmetre desviació estàndard i no el coeficient de variació. Cross *et al.* (1997a) també proposen eliminar la deposició mitjana del càlcul de la variabilitat i construir un índex per a la comparació de tractaments.

A continuació es detallen les eines que s'han utilitzat a fi de poder comparar els resultats de tractaments convencionals amb els obtinguts amb tractaments variables. Cal fer esment, però, que l'objectiu d'aquest treball és únicament la validació del sistema de dosificació variable dissenyat per mitjà de la seva comparació amb dels tractaments convencionals i no la crítica o millora del polvoritzador o del tractament en sí mateixos.

La comparació dels tractaments amb dosificació variable amb els tractaments convencionals s'ha dut a terme a partir de dos enfocaments diferents:

- a) Qualitat del tractament: anàlisi de les deposicions individuals de cada mostra de fulles i comparació amb una deposició òptima teòrica de referència.
- b) Eficiència del tractament: anàlisi de l'eficiència d'aplicació i les pèrdues ocasionades en cada tractament a partir de les dosis totals aplicades i de les deposicions mitjanes.

El tractament ideal serà aquell que aconseguixi una distribució més favorable del traçador en la capçada, en la quantitat adequada i de la forma més eficient possible. En el present treball de recerca, un tractament A serà més favorable que un altre tractament B quan la qualitat de l'aplicació sigui major i la quantitat total de traçador aplicada sigui menor. En els apartats següents es desenvolupen els dos enfocaments proposats.

### **8.2.6.3 Anàlisi de la qualitat dels tractaments**

D'acord amb el primer enfocament, s'ha emprat l'expressió qualitat d'un tractament per a fer referència a la forma en que s'ha distribuït el traçador polvoritzat dins la capçada. La comparació dels valors individuals de deposició amb un valor de referència han permès l'anàlisi detallada dels tractaments en termes de percentatge de mostres correctament dosificades i de mostres amb subdosificació o sobredosificació. Si la deposició de referència garanteix el control de la plaga o malaltia, la qualitat del tractament es pot relacionar directament amb l'eficàcia biològica de l'aplicació.

A la pràctica, l'anàlisi de la qualitat del tractament ha consistit en establir un interval de deposició teòrica òptima i determinar la quantitat de mostres individuals amb valors de deposició foliar inferiors, superiors o dins d'aquest interval. Així, és dirà que un tractament A és de més qualitat que un tractament B quan compleixi les dues condicions següents:

1. El nombre de mostres del tractament A amb deposicions inferiors a la deposició òptima és menor que en el tractament B.
2. El nombre de mostres del tractament A amb deposicions dins l'interval de deposició òptima és major que en el tractament B.

En cas que el tractament variable hagi presentat un percentatge de mostres inferiors a la deposició òptima major que el tractament convencional, s'ha considerat, d'acord amb els criteris establerts, que el primer ha estat més deficient i, per tant, d'inferior qualitat i menys eficàcia. En aquest cas s'ha procedit a majorar les deposicions del tractament variable en un factor tal que iguali el percentil de la mostra de deposicions corresponent al llindar inferior de deposició òptima del tractament convencional. Aquesta operació és equivalent a haver realitzat el tractament variable amb una concentració de brou fitosanitari més elevada. El nombre de gotes dipositades a la capçada en el tractament variable es manté i l'únic que hauria variat és la quantitat de traçador que diposita cada gota. Podem afirmar, per tant, que si el tractament variable s'hagués executat amb la concentració del brou adient, els tractaments serien equivalents en termes de deposicions inferiors a la deposició òptima.

Una vegada garantida l'equivalència de les diferents aplicacions en referència a la seva eficàcia teòrica, s'ha prosseguit la comparació dels tractaments en termes de qualitat tenint en compte els següents paràmetres:

- a) Quantitat de mostres de deposició dins de l'interval de deposicions òptimes.
- b) Mitjana i variabilitat del conjunt de deposicions de cada tractament.
- c) Efecte dels diferents factors que s'han tingut en compte en el mostratge: *Costat*, *Zona*, *Alçada* i *Profunditat*.
- d) Magnitud i distribució de la deposició a terra.

### 8.2.6.3.1 Deposició foliar teòrica òptima

La deposició òptima és un valor teòric que ha permès comparar objectivament les deposicions obtingudes pels diferents tractaments. Aquesta deposició òptima s'ha determinat a partir d'una densitat d'impactes considerada òptima, la mida de les gotes que impacten la fulla i la concentració de traçador al brou fitosanitari. La densitat d'impactes òptima s'ha establert entre 70 gotes/cm<sup>2</sup> i 100 gotes/cm<sup>2</sup> a partir de les recomanacions referides en l'apartat 2.4.2.8. El valor mínim d'aquest rang de densitat d'impactes òptim, 70 gotes/cm<sup>2</sup>, és el valor màxim recomanat per Syngenta al fulletó comercial del seu paper hidrosensible (Syngenta, 2003) i en les etiquetes dels productes fitosanitaris aprovades a l'Argentina. El valor màxim del rang òptim, 100 gotes/cm<sup>2</sup>, apareix en les recomanacions del web de Dropdata (Dropdata., 2007) i permet establir un marge de seguretat per tal de no considerar únicament un llinar puntual. Si tots els productes fitosanitaris comercialitzats indiquessin la densitat d'impactes recomanada, com es fa a Argentina, seria més fàcil establir paràmetres que permetessin la comparació entre tractaments.

La deposició corresponent als llinars de la deposició òptima s'ha determinat a partir de la densitat d'impactes desitjada als dos costats de la fulla, la mida de gota corresponent al valor del diàmetre de la mediana volumètrica i la concentració de traçador al brou fitosanitari aplicat, d'acord amb l'Equació 8.3. Les dades de la mida de les gotes s'han obtingut dels assajos descrits al Capítol 7 per a la validació del prototipus i, en el seu defecte, a partir d'estimacions tenint en compte altres assajos realitzats i dades del fabricant.

Equació 8.3

$$d_{fo} = \frac{2 \cdot \rho_i \cdot \frac{4\pi}{3} \cdot \left(\frac{DMV}{2}\right)^3 \cdot C_N}{10^{12}}$$

On  $d_{fo}$  és la deposició foliar òptima, expressada en  $\mu\text{g}/\text{cm}^2_{\text{fulla}}$ ;  $\rho_i$  és la densitat d'impactes, expressada en gotes/cm<sup>2</sup><sub>fulla</sub>;  $DMV$  és el diàmetre de la mediana volumètrica, expressat en  $\mu\text{m}$ ;  $C_N$  és la concentració considerada per a la normalització de les mostres de deposició de l'assaig, expressada en  $\text{mg}/\text{L}_{\text{brou}}$ .

### 8.2.6.3.2 Anàlisi de la relació entre deposició foliar i coeficients d'aplicació

Els paràmetres de funcionament, les mesures electròniques de la capçada i els cabals aplicats durant els tractaments han estat enregistrats pels prototipus. A partir d'aquestes dades s'ha determinat el volum total de la capçada i els semivolums de cada costat de la fila així com també els volums de brou aplicats. Amb aquesta informació s'ha determinat el volum d'aplicació unitari

global i els de cada costat de la fila així com els coeficients d'aplicació mitjans. Donat que el prototipus Fluxpro 2 dosifica segons el Mètode 2 a partir del coeficient d'aplicació consigna, a cada assaig s'ha estudiat la relació entre les deposicions aconseguides a cada costat de la fila i la deposició mitjana global amb els corresponents coeficients d'aplicació.

En els tractaments realitzats amb el prototipus Fluxpro 2 s'ha realitzat un estudi dels coeficients d'aplicació instantanis al llarg del tram de fila tractat i una anàlisi de freqüències dels valors obtinguts. Aquest estudi ha servit per a avaluar el comportament del prototipus tot comparant els valors de coeficient d'aplicació instantanis obtinguts amb el coeficient d'aplicació consigna.

### 8.2.6.3.3 Anàlisi de la variància de la deposició foliar

L'anàlisi estadística que s'ha aplicat a les mostres de deposició foliar consisteix en una prova d'anàlisi de la variància amb diversos factors on la hipòtesi nul·la és que les deposicions mitjanes de tots els tractaments són iguals. Els factors considerats han estat els designats en l'estratègia de mostratge, corresponents al tipus de *Tractament*, al *Costat* de la fila tractat, a la *Zona* de mostratge (a excepció del primer assaig en la cv. 'Conference'), a l'*Alçada* de la capçada i a la *Profunditat* de mostratge. La prova s'ha realitzat a partir d'un model lineal amb una anàlisi factorial completa i amb un nivell de significació,  $\alpha$ , de 0,05 (Equació 8.4). La prova ha determinat si les mitjanes dels tractaments es poden considerar iguals i, a més, ha aportat informació sobre la influència de cadascun dels factors i sobre l'existència de possibles interaccions entre ells.

**Equació 8.4** 
$$d_{fe} = \mu + \tau + \chi + \zeta + \eta + \pi + \tau\chi + \tau\zeta + \dots + \tau\chi\zeta + \dots + \tau\chi\zeta\eta\pi + \varepsilon$$

On  $d_{fe}$  és la deposició foliar estimada pel model lineal;  $\mu$  és la deposició mitjana global;  $\tau$  és l'efecte del factor *Tractament*;  $\chi$  és l'efecte del factor *Costat* de la fila;  $\zeta$  és l'efecte del factor *Zona* de mostratge;  $\eta$  és l'efecte del factor *Alçada* de la capçada;  $\pi$  és l'efecte del factor *Profunditat* de mostratge;  $\varepsilon$  és l'error experimental de la determinació.

La deposició s'ha mesurat sobre les mateixes fulles en tots els tractaments i, per tant, les mostres tenen exactament el mateix volum de dades. Això fa que l'anàlisi de la variància sigui suficientment robust en front de violacions de la normalitat i de l'homoscedasticitat com per a que no sigui necessari realitzar més comprovacions. En cas que la hipòtesi nul·la hagi estat rebutjada, s'ha aplicat la prova de separació de mitjanes de Tukey-Kramer per a agrupar-les segons el seu valor. S'ha escollit aquesta prova per ser àmpliament utilitzada en la bibliografia i per no ser una prova ni massa estricta ni massa conservadora a l'hora de realitzar les separacions.

A més de la prova d'anàlisi de la variància realitzada a totes les mostres, s'ha procedit a aplicar una altra prova d'anàlisi de la variància a cadascun dels tractaments per separat. Aquesta prova té les mateixes característiques que l'anterior descartant, òbviament, el factor *Tractament*. La prova ha permès analitzar amb més detall l'efecte dels diferents factors en els resultats de deposició obtinguts en cada tractament i determinar si el tractament variable ha tingut alguna influència en la resta de factors de l'assaig. Els tractaments variables majorats obtenen els mateixos resultats que els dels seus homònims sense majorar en les proves d'anàlisi de la variància.

Per tal d'analitzar la significació de l'efecte de cada factor en els diferents tractaments, s'ha comparat el valor- $p$  obtingut per cadascun en els diferents models lineals de deposició. Quan s'ha aplicat a l'anàlisi de l'efecte dels factors, el valor- $p$  és la probabilitat del resultat de l'estadístic de

contrast observat o d'un de més allunyat quan la hipòtesi nul·la, que manté que l'efecte del factor és  $\neq 0$ , és certa. Quan el valor- $p$  ha esdevingut inferior al nivell de significació  $\alpha$ , s'ha rebutjat la hipòtesi nul·la. Quan el valor- $p$  ha esdevingut superior o igual al nivell de significació  $\alpha$ , s'ha acceptat la hipòtesi nul·la i, per tant, s'ha considerat significatiu l'efecte del factor estudiat.

#### 8.2.6.3.4 Deposició a terra

L'anàlisi estadística que s'ha aplicat a les mostres de deposició a terra ha consistit en una prova d'anàlisi de la variància amb diversos factors on la hipòtesi nul·la ha estat que les deposicions mitjanes de tots els tractaments són iguals. Els factors considerats han estat els designats en l'estratègia de mostratge, corresponents al tipus de *Tractament*, el *Costat* de la fila tractat, la *Zona* de mostratge (a excepció del primer assaig en la cv. 'Conference') i a la *Posició* dels col·lectors. La prova s'ha realitzat a partir d'un model lineal amb una anàlisi factorial completa i amb un nivell de significació,  $\alpha$ , de 0,05 (Equació 8.5). En cas que la hipòtesi nul·la hagi estat rebutjada, s'ha aplicat la prova de separació de mitjanes de Tukey-Kramer per a agrupar-les segons el seu valor.

**Equació 8.5** 
$$d_{te} = \mu + \tau + \chi + \zeta + \lambda + \tau\chi + \tau\zeta + \dots + \tau\chi\zeta + \dots + \tau\chi\zeta\lambda + \varepsilon$$

On  $d_{te}$  és la deposició a terra estimada pel model lineal;  $\mu$  és la deposició mitjana global;  $\tau$  és l'efecte del factor *Tractament*,  $\chi$  és l'efecte del factor *Costat* de la fila;  $\zeta$  és l'efecte del factor *Zona* de mostratge;  $\lambda$  és l'efecte del factor *Posició* de la mostra;  $\varepsilon$  és l'error experimental de la determinació.

La deposició s'ha mesurat sobre els mateixos col·lectors en tots els tractaments i, per tant, les mostres tenen exactament el mateix volum de dades. Això fa que l'anàlisi de la variància sigui suficientment robust en front de violacions de la normalitat o de l'homoscedasticitat com per a que no sigui necessari realitzar més comprovacions.

#### 8.2.6.4 Anàlisi de dosis, eficiències d'aplicació i pèrdues

El segon enfocament s'ha centrat en analitzar l'eficiència global del procés d'aplicació tenint en compte la quantitat total de traçador polvoritzada i les pèrdues generades. El fet de treballar amb els valors mitjans de les mostres de deposició fa que es perdi la visió propera del que ha passat dins la capçada per a aconseguir una visió més global del resultat final.

##### 8.2.6.4.1 Dosi aplicada

La dosi aplicada en cada tractament, en termes de massa de traçador per unitat de superfície conreada, s'ha determinat a partir del volum de brou aplicat i la concentració de normalització (Equació 8.6). Aquest paràmetre no dóna informació de com s'ha distribuït el traçador al llarg de la fila tractada però sí que permet conèixer el resultat global dels tractaments.

**Equació 8.6** 
$$D = V_A \cdot C_N$$

On  $D$  és la dosi aplicada;  $V_A$  és el volum d'aplicació unitari;  $C_N$  és la concentració considerada per a la normalització de les mostres de deposició de l'assaig.

La dosi aplicada es calcula per al tractament convencional, per als diversos tractaments variables així com, també, per als tractaments variables majorats de cada assaig. D'aquesta manera, si el tractament variable o, si s'escau, el seu homònim majorat ha aconseguit una dosi menor que la del tractament convencional, es pot afirmar que s'ha aconseguit estalviar producte fitosanitari.

#### 8.2.6.4.2 Eficiència d'aplicació

L'eficiència d'aplicació es defineix com la ràtio entre la quantitat de traçador recuperat sobre les fulles respecte del total de traçador aplicat per unitat de superfície conreada (Equació 8.7).

**Equació 8.7**

$$\varepsilon_a = \frac{10^2 \cdot \overline{d_{fN}} \cdot IAF}{D}$$

On  $\varepsilon_a$  és l'eficiència d'aplicació d'un tractament, sense dimensió;  $\overline{d_{fN}}$  és la deposició foliar mitjana normalitzada, expressada en  $\mu\text{g}/\text{cm}^2_{\text{fulla}}$ ; IAF és l'índex d'àrea foliar, sense dimensió;  $D$  és la dosi aplicada en un tractament, expressada en g/ha.

Aquest paràmetre adimensional dóna idea del comportament dels equips d'aplicació independentment de les dosis i les deposicions obtingudes i s'ha fet servir al llarg dels anys en la seva comparació (Salyani *et al.*, 1987; Juste *et al.*, 1990; Cross i Walklate, 1996; Giles i Slaughter, 1997; Salyani, 2000; Gil, 2001b; Furness *et al.*, 2006; Planas *et al.*, 2006b).

En cap dels assajos realitzats s'ha mesurat l'IAF i, per tant, el valor de l'eficiència d'aplicació s'expressa en funció d'aquest índex. La comparació entre eficiències d'aplicació de tractaments diferents permet eliminar l'índex de les expressions i quantificar la diferència en format de percentatge. Un tractament variable amb un increment d'eficiència d'aplicació positiu respecte del tractament convencional ha estat, per tant, un tractament més eficient. Tanmateix, aquest fet per sí sol no implica una correcta distribució del traçador en la capçada. Les eficiències d'aplicació dels tractaments variables majorats són exactament iguals que les dels seus homònims sense majorar.

#### 8.2.6.4.3 Pèrdues dels tractaments

Tota aplicació de productes fitosanitaris aconsegueix la deposició d'una fracció del brou fitosanitari total aplicat (fracció útil o recuperació al fullatge) però també genera una sèrie de pèrdues. Les pèrdues que es produeixen en explotacions comercials consisteixen en pèrdues degudes al producte que es diposita a terra (pèrdues a terra) i pèrdues degudes al producte que no es diposita dins dels límits de la parcel·la tractada (pèrdues per deriva).

En el cas dels assajos realitzats, les pèrdues a terra s'han considerat com aquella fracció del traçador polvoritzat que s'ha recollit en els col·lectors disposats a tal efecte. La fracció útil ha estat aquella fracció del traçador polvoritzat que s'ha determinat a partir del mostratge i anàlisi de les mostres foliars. Les pèrdues per deriva s'han considerat com aquella fracció del traçador polvoritzat que no s'ha dipositat en la capçada de la fila tractada ni a la superfície del sòl immediatament propera (Figura 2.6).

A partir de la definició de les pèrdues i la fracció útil, en qualsevol tractament cal que es compleixi el balanç de masses que s'expressa a l'Equació 8.8 en termes absoluts i el que s'expressa a l'Equació 8.9, en termes relatius.

**Equació 8.8**

$$D = R + PT + PD$$

On  $D$  és la dosi de traçador aplicada;  $R$  és la recuperació, fracció útil del traçador polvoritzat dipositada al fullatge;  $PT$  són les pèrdues a terra;  $PD$  són les pèrdues per deriva.

**Equació 8.9**

$$1 = \varepsilon_a + PT_r + PD_r$$

On  $\varepsilon_a$  és l'eficiència d'aplicació del tractament, sense dimensió;  $PT_r$  són les pèrdues a terra relatives, sense dimensió;  $PD_r$  són les pèrdues relatives per deriva, sense dimensió.

Les pèrdues a terra relatives s'han estimat a partir de l'expressió que es mostra a l'Equació 8.10.

**Equació 8.10**

$$PT_r = \frac{10^2 \cdot \overline{d_{tN}}}{D}$$

On  $PT_r$  són les pèrdues a terra relatives, sense dimensió;  $\overline{d_{tN}}$  és la deposició a terra mitjana normalitzada, expressada en  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ;  $D$  és la dosi aplicada en un tractament, expressada en g/ha.

Per tal de poder realitzar una estimació de les pèrdues s'ha fet el supòsit d'un rang de valors d'IAF en el que es pot trobar el valor real per a cada plantació on s'han realitzat els assajos. Els valors s'han proposat a partir de les cultivars, les dates dels assajos i de mesures de l'IAF realitzades en les mateixes plantacions o en plantacions properes en temporades diferents. Als assajos realitzats en perers s'ha proposat un rang d'IAF entre 1,5 i 3; en els assajos en pomers el rang proposat és de 2 a 3,5. A partir dels supòsits de IAF s'ha quantificat l'eficiència d'aplicació i les pèrdues relatives de cada tractament. Posteriorment s'ha quantificat la recuperació i les pèrdues absolutes per tal de poder apreciar millor la seva magnitud. Els valors absoluts s'han calculat a partir de les dades reals i simulades obtingudes en els diferents tractaments de cada assaig. Finalment, s'han representat en gràfiques de superfície els valors obtinguts de recuperacions, eficiències i pèrdues relatives i absolutes per a cadascun dels valors d'IAF del rang proposat.



## 8.2.7 Dades específiques dels assajos realitzats

En aquest apartat es descriuen els tractaments realitzats en cadascun dels assajos de validació així com les seves característiques i la seva justificació.

### 8.2.7.1 ASSAIG 1 realitzat a la cultivar 'Conference' l'any 2001

L'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2001 ha consistit en comparar dos tractaments: un amb dosificació variable en temps real basat en el Mètode 1 (anomenat Tractament Variable, TV) i un tractament convencional (anomenat Tractament Convencional, TC). A la Taula 8.1 es mostren les dades dels tractaments. El volum d'aplicació unitari per al tractament convencional s'ha establert a partir de l'experiència en d'altres assajos i de les característiques de la plantació. La velocitat de treball és anormalment baixa respecte dels tractaments comercials degut a limitacions del sistema electrònic de regulació.

**Taula 8.1.-** Dades de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2001.

TRACTAMENT	TC	TV
Traçador	Quelat de Fe	Quelat de Zn
Volum d'aplicació unitari de referència (L/ha)	500	
Tipus broquets	Albuz ATR taronja	
Nombre broquets per banda	6	
Pressió de treball (MPa)	0,80	0,15 a 0,80
Prototipus emprat	FLUXPRO 1 + sensors d'ultrasons	
Velocitat d'avanç (km/h)	3	
Resolució de mostratge (cm)	10	
Revolucions presa de força (r/min)	540	
Assistència d'aire	Ventilador axial	
Cabal d'aire (m <sup>3</sup> /h)	34.300	

### 8.2.7.2 ASSAIG 2 realitzat a la cultivar 'Golden' l'any 2002

L'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002 ha consistit en comparar quatre tractaments diferents. Un tractament ha estat realitzat en mode convencional amb dosificació constant (anomenat Tractament Convencional, TC). Els tres restants s'han realitzat d'acord amb el Mètode 1 de dosificació variable en temps real. La diferència entre els tractaments variables ha consistit en assignar-los diferents valors de semiamplada màxima de capçada per a calcular el percentatge de reducció del cabal en l'algorisme de regulació. Els valors seleccionats s'han correspost amb els percentils 50%, 70% i 90% d'una mostra de semiamplades del tram de fila assajat obtinguda electrònicament de manera prèvia a l'assaig. Els tractaments s'han denominat TV50, TV70 i TV90, respectivament. A la Taula 8.2 es mostren les dades dels tractaments. Després d'haver optimitzat el sistema electrònic de regulació, s'han pogut realitzar els tractaments a una velocitat de 4 km/h que ja és més propera a les velocitats a les que s'executen els tractaments comercials. En la selecció del volum d'aplicació unitari, hi ha hagut un limitació en el cabal màxim que permeten les electrovàlvules proporcionals en el prototipus Fluxpro 1. Davant d'aquest fet, s'ha optat per incrementar la velocitat de treball per a aproximar-la a la dels tractaments comercials més que per incrementar el volum d'aplicació unitari.

**Taula 8.2.-** Dades de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002.

TRACTAMENT	TC	TV50	TV70	TV90
Traçador	Quelat de Mb	Quelat de Zn	Quelat de Fe	Quelat de Mn
Volum d'aplicació unitari de referència (L/ha)	500			
Tipus broquets	Albuz ATR taronja			
Nombre broquets per banda	6			
Pressió de treball (MPa)	0,80	0,15 a 0,80		
Prototipus emprat	FLUXPRO 1 + sensors d'ultrasons			
Velocitat d'avanç (km/h)	4			
Resolució de mostratge (cm)	10			
Revolucions presa de força (r/min)	540			
Assistència d'aire	Ventilador axial			
Cabal d'aire (m <sup>3</sup> /h)	34.300			

### 8.2.7.3 ASSAIG 3 realitzat a la cultivar 'Conference' l'any 2005

L'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2005 ha consistit en comparar tres tractaments. Un tractament s'ha realitzat en mode convencional i els altres dos d'acord amb el Mètode 2 de dosificació variable en temps real. La diferència entre els tractaments variables ha consistit en assignar diferents valors de coeficient d'aplicació consigna als tractaments variables. A un tractament s'ha atorgat un coeficient d'aplicació de 0,035 L/m<sup>3</sup> (anomenat Tractament Variable 35, TV35) i a l'altre, de 0,040 L/m<sup>3</sup> (anomenat Tractament Variable 40, TV40). A la Taula 8.3 es mostren les dades dels tractaments. Aquests és el primer assaig realitzat amb el prototipus millorat Fluxpro 2. El volum d'aplicació unitari s'ha establert per al tractament convencional donat que els tractaments variables han realitzat la dosificació a partir de l'algorisme de dosificació del Mètode 2 i el coeficient d'aplicació consigna corresponent. Els valors dels dos coeficients s'han seleccionat a partir de l'anàlisi dels volums d'aplicació unitaris i els volums de capçada d'assajos previs. El fet d'haver afegit una secció més de tres broquets ha permès treballar amb volums d'aplicació unitaris més elevats que amb el prototipus Fluxpro 1.

**Taula 8.3.-** Dades de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2005.

TRACTAMENT	TC	TV40	TV35
Traçador	Quelat de Mn	Quelat de Fe	Quelat de Zn
Volum d'aplicació unitari de referència (L/ha)	700	-	
Coefficient d'aplicació consigna (L/m <sup>3</sup> )	-	0,040	0,035
Tipus broquets	Albuz ATR taronja		
Nombre broquets per banda	9		
Pressió de treball (MPa)	1,00	0,15 a 1,00	
Prototipus emprat	FLUXPRO 2 + sensors d'ultrasons		
Velocitat d'avanç (km/h)	5,07		
Resolució de mostratge (cm)	10		
Revolucions presa de força (r/min)	430		
Assistència d'aire	Ventilador axial		
Cabal d'aire (m <sup>3</sup> /h)	40.000		

#### 8.2.7.4 ASSAIG 4 realitzat a la cultivar 'Top Red' l'any 2005

L'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005 ha consistit en comparar tres tractaments: un tractament realitzat en mode convencional i els altres dos d'acord amb el Mètode 2 de dosificació variable en temps real. La diferència entre els tractaments variables ha consistit en assignar diferents valors de coeficient d'aplicació consigna als tractaments variables. A un tractament s'ha atorgat un coeficient d'aplicació de 0,030 L/m<sup>3</sup> (anomenat Tractament Variable 30, TV30) i a l'altre, de 0,040 L/m<sup>3</sup> (anomenat Tractament Variable 40, TV40). A la Taula 8.4 es mostren les dades dels tractaments. En aquest assaig s'ha minorat el coeficient d'aplicació inferior per tal de diferenciar més les aplicacions i quantificar amb més detall les conseqüències de la seva selecció.

**Taula 8.4.-** Dades de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005.

TRACTAMENT	TC	TV40	TV30
Traçador	Quelat de Zn	Quelat de Mn	Quelat de Fe
Volum d'aplicació unitari de referència (L/ha)	700	-	-
Coeficient d'aplicació consigna (L/m <sup>3</sup> )	-	0,040	0,030
Tipus broquets	Albuz ATR taronja		
Nombre broquets per banda	9		
Pressió de treball (MPa)	1,00	0,15 a 1,00	
Prototipus emprat	FLUXPRO 2 + sensors d'ultrasons		
Velocitat d'avanç (km/h)	5,07		
Resolució de mostratge (cm)	10		
Revolucions presa de força (r/min)	430		
Assistència d'aire	Ventilador axial		
Cabal d'aire (m <sup>3</sup> /h)	40.000		

#### 8.2.7.5 ASSAIG 5 realitzat a la cultivar 'Conference' l'any 2006

L'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2006 ha consistit en comparar dos tractaments: un realitzat en mode convencional amb dosificació constant (anomenat Tractament Convencional, TC) i l'altre d'acord amb el Mètode 2 de dosificació variable en temps real. Al tractament variable s'ha assignat un coeficient d'aplicació consigna de 0,125 L/m<sup>3</sup> i s'ha anomenat Tractament Variable 125, TV125. A la Taula 8.5 es mostren les dades dels tractaments. En aquest assaig s'han substituït els tres sensors d'ultrasons per un sensor lidar. El canvi de sensor ha implicat la modificació de la magnitud del coeficient d'aplicació donat que l'estimació del volum de capçada és molt més ajustada que en el cas dels sensors d'ultrasons. Un condicionant important de l'ús del sensor lidar ha estat el fet d'haver de realitzar el tractament a una velocitat de 0,5 m/s. Aquest fet és degut al gran volum d'informació que genera el sensor que provoca un increment del temps de processament del programa de regulació. Per tal de poder mantenir la resolució de mostratge a 20 cm per mostra, s'ha fet necessària la reducció de la velocitat d'avanç. Aquest fet ha condicionat el volum d'aplicació unitari que s'ha hagut de majorar respecte dels assajos anteriors per tal de garantir un cert rang de regulació dels cabals per part de les electrovàlvules variables.

**Taula 8.5.-** Dades de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2006.

TRACTAMENT	TC	TV125
Traçador	Quelat de Zn	Quelat de Fe
Volum d'aplicació unitari de referència (L/ha)	1.500	-
Coefficient d'aplicació consigna (L/m <sup>3</sup> )	-	0,125
Tipus broquets	Albuz ATR taronja	
Nombre broquets per banda	9	
Pressió de treball (MPa)	1,00	0,15 a 1,00
Prototipus emprat	FLUXPRO 2 + sensor lidar	
Velocitat d'avanç (km/h)	1,80	
Resolució de mostratge (cm)	20	
Revolucions presa de força	430	
Assistència d'aire	Ventilador axial	
Cabal d'aire (m <sup>3</sup> /h)	40.000	



## 8.3 Resultats i discussió

### 8.3.1 ASSAIG 1 realitzat a la cultivar 'Conference' l'any 2001

L'assaig que es comenta en aquest apartat correspon al realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2001. Aquest assaig ha consistit en comparar el resultat del tractament convencional (TC) amb el del tractament variable (TV).

#### 8.3.1.1 Dades meteorològiques

Les dades meteorològiques enregistrades durant l'assaig mostren diferències entre els dos tractaments (Taula 8.6). Malgrat que les diferències de temperatura, humitat relativa i velocitat i direcció del vent poden haver introduït una certa variabilitat addicional a l'assaig, s'ha considerat que no han d'alterar la comparació dels tractaments.

**Taula 8.6.-** Dades meteorològiques obtingudes durant l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2001.

TRACTAMENT	PARÀMETRE	TEMPERATURA (°C)	HUMITAT RELATIVA (%)	VELOCITAT DEL VENT (m/s)	DIRECCIÓ DEL VENT (°)*
VARIABLE	Mitjana	20,48	54,32	1,92	130
	Màxim	20,59	58,34	3,37	185
	mínim	20,38	50,25	0,67	87
CONVENCIONAL	Mitjana	22,73	49,03	2,27	106
	Màxim	23,19	54,20	3,29	149
	mínim	22,32	43,59	0,92	72

\* La direcció del vent es considera respecte l'orientació de l'eix de la fila.

#### 8.3.1.2 Anàlisi de la capçada i dels volums aplicats

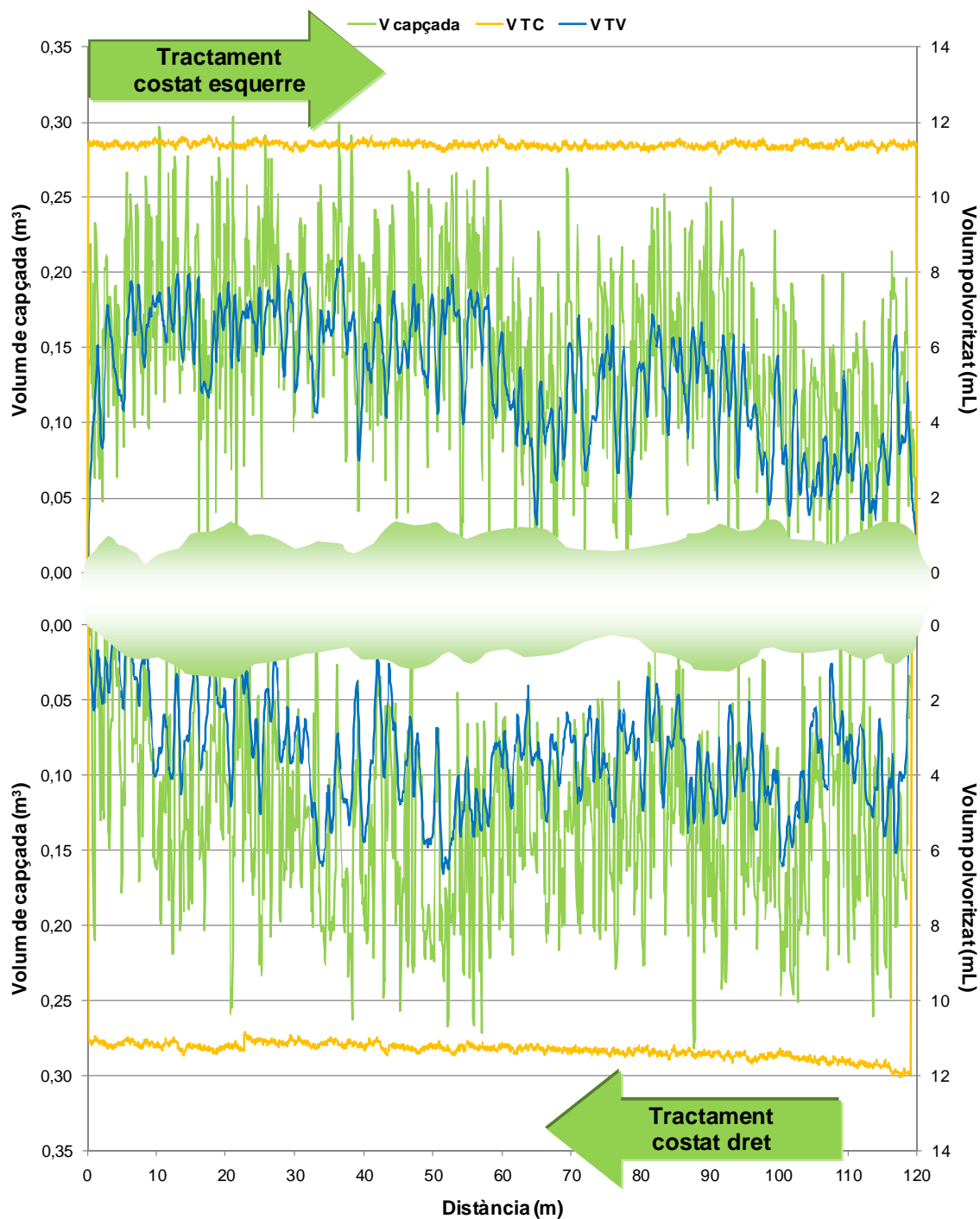
A la Taula 8.7 es relacionen les dimensions dels dos costats de la capçada del tram de fila tractat i el volum de brou fitosanitari aplicat en els diferents tractaments. També es mostren càlculs derivats com el volum d'aplicació unitari i els coeficients d'aplicació mitjans.

**Taula 8.7.-** Volums de capçada i característiques de les aplicacions realitzades en els tractaments convencional (TC) i variable (TV) de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2001.

PARÀMETRE	TC	TV	Diferència TC-TV (%)
Volum capçada costat esquerre (m <sup>3</sup> )		216,05 a	
Volum capçada costat dret (m <sup>3</sup> )		185,68 b	
<b>Volum total de capçada (m<sup>3</sup>)</b>		<b>401,73</b>	
Volum brou aplicat costat esquerre (L)	12,13	7,43	-38,78%
Volum brou aplicat costat dret (L)	12,17	4,93	-59,48%
<b>Volum total aplicat (L)</b>	<b>24,30</b>	<b>12,36</b>	<b>-49,14%</b>
Volum d'aplicació unitari costat esquerre (L/ha)	250	154	
Volum d'aplicació unitari costat dret (L/ha)	250	103	
<b>Volum d'aplicació unitari total (L/ha)</b>	<b>500</b>	<b>257</b>	
Coef. aplicació mitjà costat esquerre (L/m <sup>3</sup> )	0,056	0,034	
Coef. aplicació mitjà costat dret (L/m <sup>3</sup> )	0,066	0,027	
<b>Coef. aplicació mitjà total (L/m<sup>3</sup>)</b>	<b>0,060</b>	<b>0,031</b>	

\* Lletres diferents impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.

Els dos costats de la fila han presentat diferències de volum de capçada significatives, probablement degudes a l'orientació de les files i a la diferent insolació dels seus costats. El tractament convencional de dosificació constant no ha contemplat aquestes variacions en el volum de la capçada i ha aplicat el mateix volum de brou fitosanitari als dos costats. A la Figura 8.6 s'observa clarament aquest fet i que el volum de brou aplicat amb el sistema de dosificació variable és proporcional tant a la microvariabilitat com a la macrovariabilitat de la capçada.



**Figura 8.6.-** Diagrames de dispersió dels volums de capçada i dels volums polvoritzats en el tram de fila on es realitza l'assaig amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2001.

A la Taula 8.7 es mostren els valors dels volums aplicats a cada costat de la fila i els volums d'aplicació corresponents, mentre que a la Figura 8.6 s'aprecien els valors instantanis aplicats a cada punt del tram de fila tractat. Es pot observar que els valors totals obtinguts en el tractament variable han estat, aproximadament, la meitat dels del tractament convencional. Tot i això, és clar que, en l'aplicació al costat dret, el tractament variable ha aconseguit una reducció del volum de brou aplicat major, coincidint amb el menor volum de capçada detectat. Els valors dels coeficients d'aplicació de la Taula 8.7 són els valors mitjans aconseguits en cadascun dels costats dels dos tractaments i s'observa que han mantingut les mateixes proporcions que les altres paràmetres.

### 8.3.1.3 Anàlisi de la deposició foliar

En aquest apartat s'analitza la deposició foliar aconseguida en els tractaments realitzats i es comprova que la reducció del brou aconseguida amb la dosificació variable (Taula 8.7) no ha representat una disminució de la qualitat de l'aplicació respecte del tractament convencional.

Per tal de determinar si les deposicions aconseguides en els dos tractaments són comparables, s'ha realitzat un estudi de freqüències i s'han calculat els percentils corresponents a la deposició teòrica de 70 gotes/cm<sup>2</sup> de fulla, considerada com a llindar inferior de la deposició òptima.

A la Taula 8.8 s'observa que el percentil corresponent al valor de la deposició òptima mínima del tractament variable ha estat lleugerament superior a l'aconseguit en el tractament convencional. Per aquest motiu, s'ha modificat la mostra de deposicions del tractament variable per a aconseguir el mateix percentil simulant un increment del 14% de la concentració del brou al dipòsit durant el tractament variable.

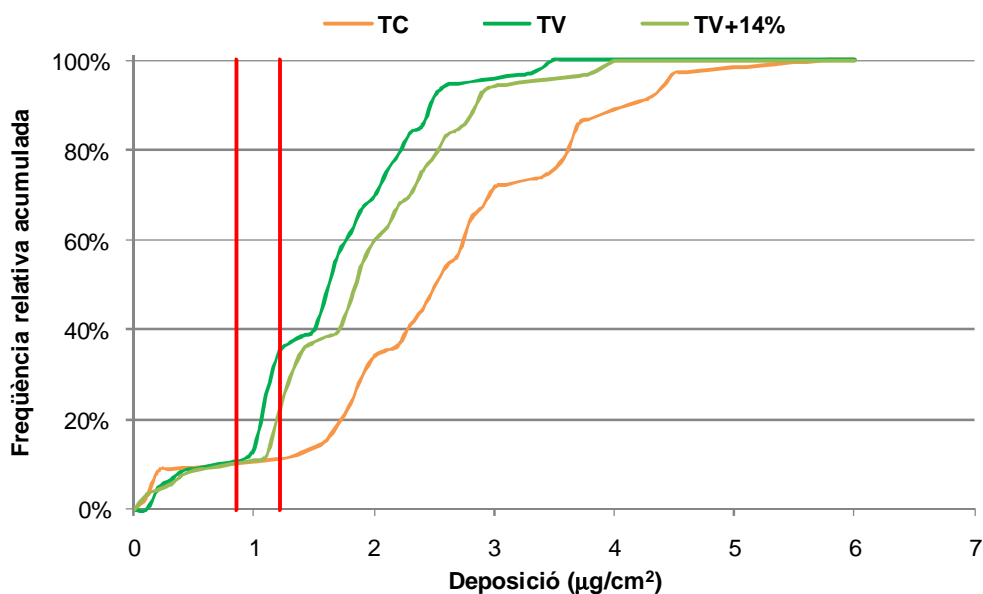
**Taula 8.8.-** Percentils i freqüències relatives acumulades de les mostres de deposició foliar dels tractaments convencional (TC), variable (TV) i variable majorat (TV+14%) a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2001.

Tractament	TC	TV	TV+14%
Percentil corresponent a 100 gotes/cm <sup>2</sup>	11,20%	35,00%	22,10%
Percentil corresponent a 70 gotes/cm <sup>2</sup>	10,30%	10,80%	10,30%
Deposicions dins l'interval òptim	<b>0,90%</b>	<b>24,20%</b>	<b>11,80%</b>
Deposicions majors que l'òptima	<b>88,80%</b>	<b>65,00%</b>	<b>77,90%</b>
Deposicions menors que l'òptima	<b>10,30%</b>	<b>10,80%</b>	<b>10,30%</b>

Una vegada realitzada la modificació de les deposicions, s'observa que el tractament variable majorat ha aconseguit un 11,80% de valors de deposició foliar dins l'interval de deposició òptima (entre 70 gotes/cm<sup>2</sup> i 100 gotes/cm<sup>2</sup>) enfront del 0,9% aconseguit en el tractament variable. Aquesta diferència de prop de l'11% ha estat la mateixa que s'observa en els valors de deposició excessiva en el tractament convencional respecte el variable.

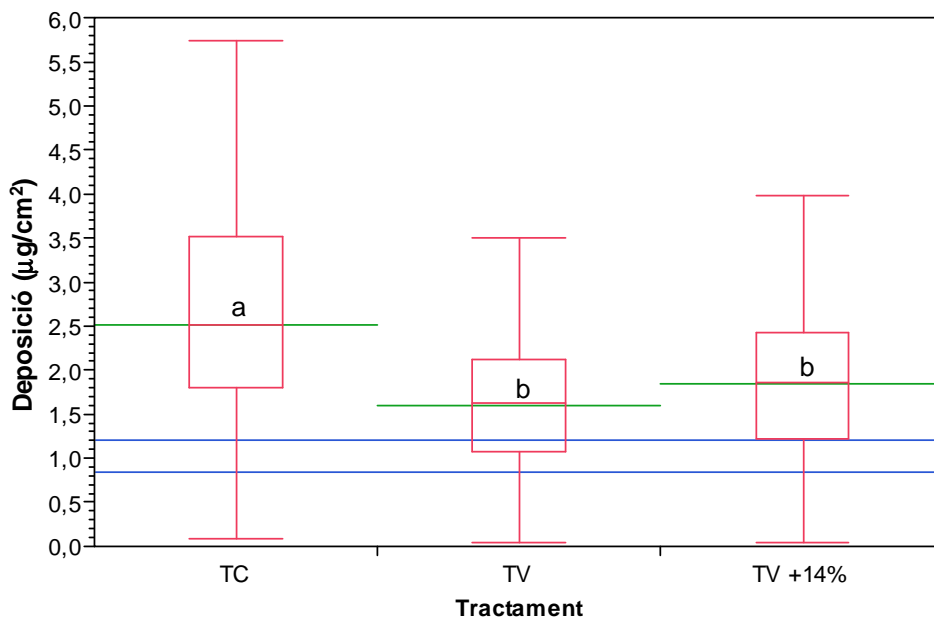
A la Figura 8.7 s'aprecia que el tractament variable presenta un fort increment del pendent de la corba acumulada, fet que diferencia el seu comportament respecte del tractament convencional. Aquesta diferència és la que determina que hi hagi més mostres dins d'interval òptim de deposicions. El fet que la corba del tractament convencional estigui a la dreta de les dels variables indica que aquesta aplicació ha aconseguit més mostres amb sobredosificació que la resta.





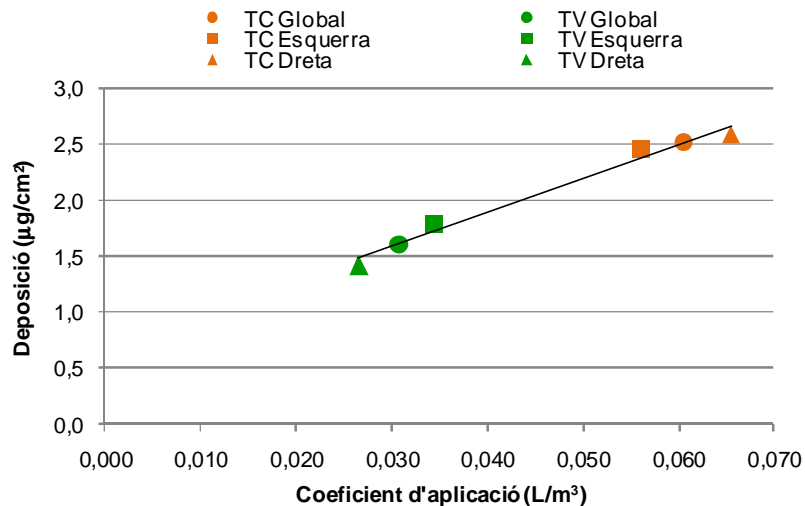
**Figura 8.7.-** Freqüències relatives acumulades de les deposicions corresponents als tractaments de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2001. Les línies roges verticals representen les deposicions òptimes mínima i màxima.

Les mostres de deposicions obtingudes es representen en diagrames de caixa a la Figura 8.8. Aquest tipus de representació permet analitzar visualment la distribució dels valors de deposició i comparar els resultats dels tractaments d'una manera ràpida i intuïtiva. S'observa que el tractament convencional ha presentat major dispersió de les deposicions que el tractament variable, que les mitjanes han presentat diferències estadísticament significatives i que tots els tractaments han tingut deposicions per sota del llindar mínim de deposició òptima.



**Figura 8.8.-** Diagrames de caixa de les mostres de deposició foliar obtingudes a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2001. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les línies blaves delimiten la zona de deposició òptima. Lletres diferents impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.

Una relació interessant és la que es pot establir entre els valors de les deposicions mitjanes i els dels coeficients d'aplicació mitjans. A la Figura 8.9 es mostra el diagrama de dispersió d'aquestes variables corresponents al tractament convencional i al tractament amb dosificació variable. Els valors mitjans representats es diferencien segons el costat de fila tractat. Els resultats obtinguts mostren que s'ha donat una bona correlació entre els dos paràmetres. Aquest fet indica que la selecció d'un determinat valor de coeficient d'aplicació condiona de forma directa la deposició final aconseguida.



**Figura 8.9.-** Diagrama de dispersió de les deposicions foliar en funció dels coeficients d'aplicació a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2001. El coeficient de determinació del model de regressió lineal simple ajustat és  $R^2=0,98$ .

#### 8.3.1.3.1 Anàlisi de la variància del conjunt de mostres de deposició foliar

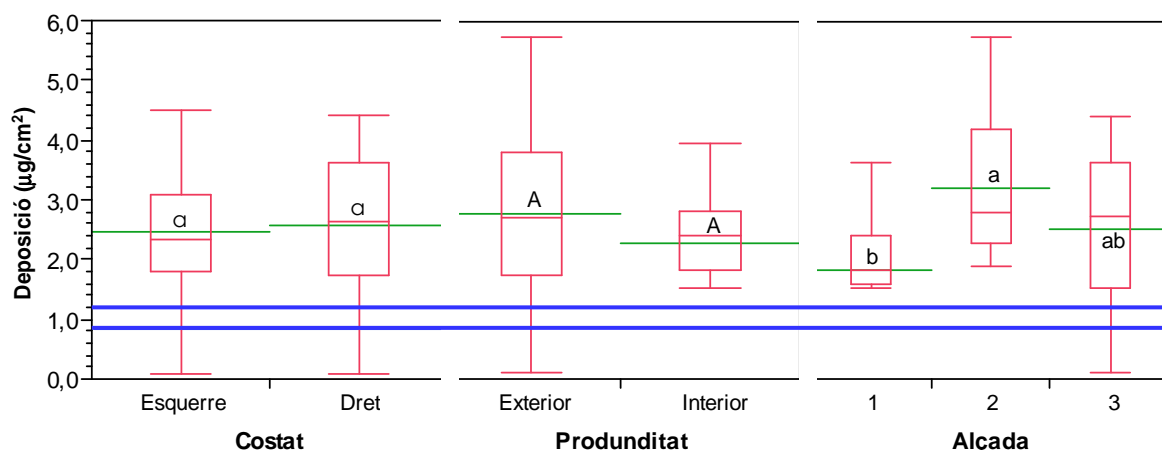
El resultat de la prova d'anàlisi de la variància de les mostres de deposició dels tractaments indica que els efectes dels factors principals *Tractament* i *Alçada* de la capçada han estat significatius. A la Figura 8.8 s'observa que el tractament que ha assolit més deposició és el convencional seguit del variable i del variable majorat, sense diferències significatives entre ells. En referència al factor *Alçada*, l'estrat de la capçada que ha rebut més deposició és el central mentre que l'inferior i el superior no han presentat diferències significatives.

També han esdevingut significatius els efectes de les interaccions entre els factor *Costat* de la fila i *Alçada* de la capçada i entre *Alçada* i *Profunditat* de mostratge. El fet que el factor *Tractament* no hagi estat significatiu en cap interacció amb d'altres factors implica que el sistema de dosificació no ha afectat significativament la deposició aconseguida en funció del *Costat* de la fila, de l'*Alçada* de la capçada o de la *Profunditat* de mostratge.

#### 8.3.1.3.2 Anàlisi de la variància de les deposicions foliar del tractament TC

En el tractament convencional de l'assaig realitzat a la cultivar 'Conference' l'any 2001 s'han considerat els efectes dels factors *Costat*, *Profunditat* de mostratge i *Alçada*. A la Figura 8.10 s'observen les distribucions de la mostra en funció del factor analitzat.

En contra del que es podia esperar, la diferència en el volum de la capçada entre costats de la fila no ha comportat una diferència significativa en la deposició de traçador, com tampoc s'han apreciat diferències significatives entre les zones exteriors i interiors de la capçada. En aquest darrer cas cal remarcar la gran dispersió que presenten les mostres exteriors enfront de les interiors. El factor *Alçada* ha tingut un efecte similar al de l'anàlisi global, essent l'alçada central la que rep les deposicions més elevades.



**Figura 8.10.-** Diagrames de caixa de les mostres de deposició foliar obtingudes en el tractament convencional de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2001. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les blaves delimiten la zona de deposició òptima. Lletres diferents amb el mateix estil impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$ .

A la Taula 8.9 es poden apreciar els valor-*p* dels estadístics de contrast de cada factor així com els de les seves interaccions (sense efecte significatiu en aquest tractament).

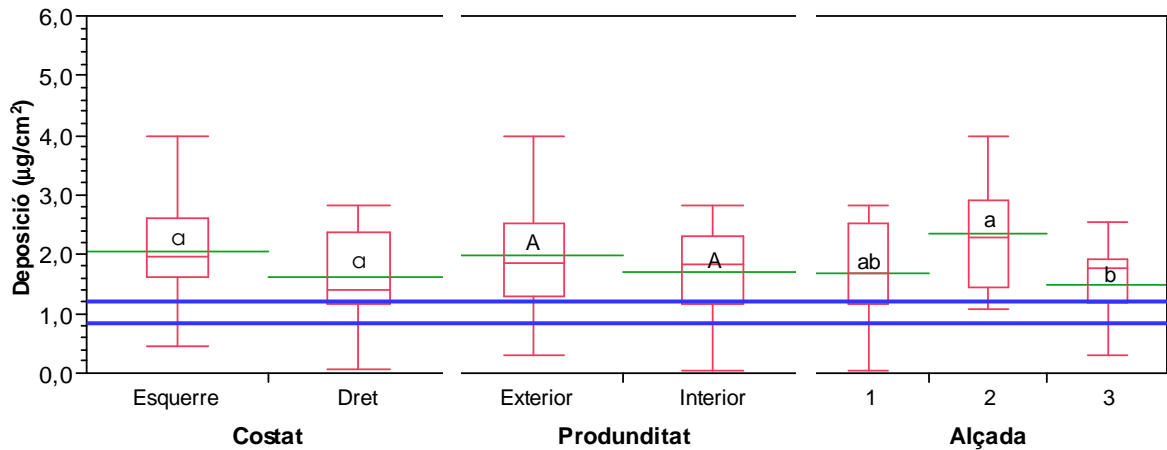
**Taula 8.9.-** Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzada a les mostres de deposició foliar del tractament convencional de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2001.

Factors	Valor- <i>p</i> <sup>1</sup>
Model	0,216
Intersecció	0,000
<i>Costat</i>	0,755
<i>Alçada</i>	0,035
<i>Profunditat</i>	0,242
<i>Costat</i> * <i>Alçada</i>	0,248
<i>Costat</i> * <i>Profunditat</i>	0,693
<i>Alçada</i> * <i>Profunditat</i>	0,323

<sup>1</sup> Valors-*p* per sota el nivell de significació ( $\alpha=0,05$ ) impliquen significació del factor o interacció.

### 8.3.1.3.3 Anàlisi de la variància de les deposicions foliar del tractament TV+14%

El tractament realitzat seguint el Mètode 1 de dosificació variable en temps real majorat un 14% ha presentat unes mitjanes de deposició foliar inferiors al tractament convencional per a cadascun dels factors però amb una variabilitat més reduïda (Figura 8.11). El factor *Costat* no ha tingut un efecte significatiu sobre la deposició aconseguida, com en el cas del tractament variable.



**Figura 8.11.-** Diagrames de caixa de les mostres de deposició foliar obtingudes en el tractament variable TV+14% de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2001. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les blaves delimiten la zona de deposició òptima. Lletres diferents amb el mateix estil impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$ .

D'altra banda, en referència al factor *Profunditat*, el valor-*p* obtingut en la prova d'anàlisi de la variància indica que no hi ha un efecte significatiu d'aquest factor. Comparant la Figura 8.11 amb la Figura 8.10, s'aprecia que s'ha aconseguit reduir la dispersió de les mostres exteriors reduint el nombre de mostres extremes. Tanmateix, la deposició a la zona interior ha presentat valors de deposició més petits, si bé la diferència entre mitjanes ha estat menor.

Pel que fa al factor *Alçada*, la zona central ha tornat a ser la que ha rebut més deposició encara que les diferències amb la resta han estat més reduïdes que en el tractament convencional. El fet que en els dos tractaments l'alçada que recupera més traçador hagi estat la central, apunta a un efecte del polvoritzador utilitzat més que a una conseqüència del mode de dosificació.

**Taula 8.10.-** Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzada a les mostres de deposició foliar del tractament amb dosificació variable TV+14% de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2001.

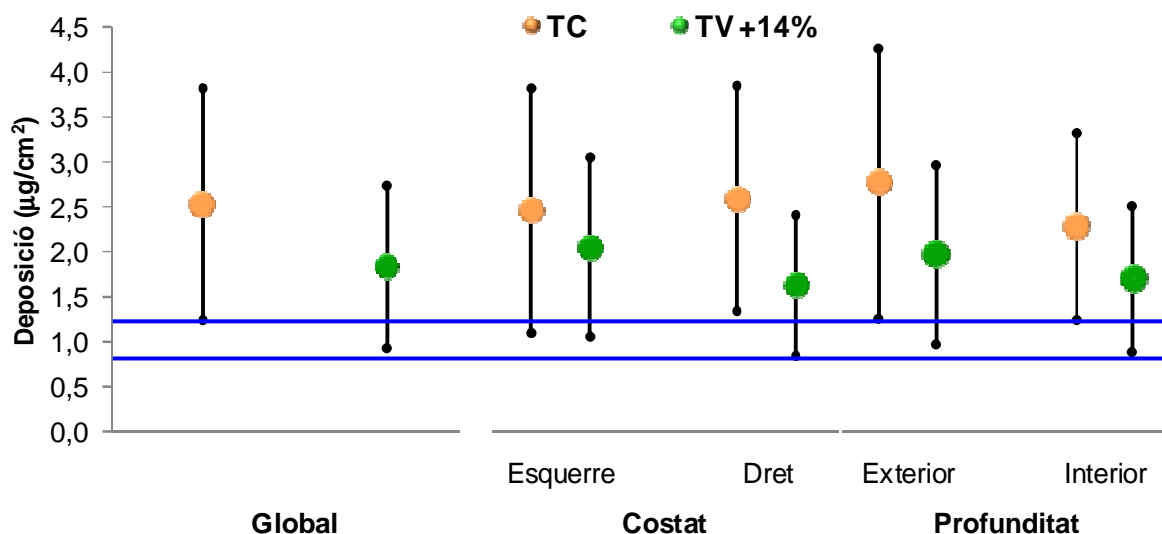
Factors	Valor- <i>p</i> <sup>1</sup>
Model	0,076
Intersecció	0,000
<i>Costat</i>	0,125
<i>Alçada</i>	0,041
<i>Profunditat</i>	0,321
<i>Costat</i> * <i>Alçada</i>	0,091
<i>Costat</i> * <i>Profunditat</i>	0,533
<i>Alçada</i> * <i>Profunditat</i>	0,194

<sup>1</sup> Valors-*p* per sota el nivell de significació ( $\alpha=0,05$ ) impliquen significació del factor o interacció.

#### 8.3.1.3.4 Resum gràfic de la deposició foliar

Com a resum de les anàlisis de les deposicions foliars es presenta la Figura 8.12. En ella s'han representat les deposicions mitjanes corresponents al tractament convencional i als tractaments variable i variable majorat (Figura 8.12 esquerra) i les mitjanes d'aquests tractaments corresponents als diferents valors dels factors *Costat* i *Profunditat* (Figura 8.12 centre i dreta). Els punts de colors estan situats sobre el valor de la deposició mitjana i la longitud de les barres negres és proporcional a la desviació estàndard de la mostra de deposicions analitzades. Les

línies blaves indiquen les deposicions foliars teòriques que aconseguiria una densitat d'impactes de 100 gotes/cm<sup>2</sup> i de 70 gotes/cm<sup>2</sup>, respectivament.



**Figura 8.12.-** Gràfiques de deposicions foliars globals mitjanes (esquerra) i de les mitjanes parcials en funció dels factors *Costat* i *Profunditat* (dreta) aconseguides amb el tractament convencional (TC) i el tractament variable majorat (TV+14%) realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2001. Les barres negres indiquen la desviació estàndard de cada mostra. Les línies blaves delimiten la zona de deposició òptima.

Es pot observar que les deposicions mitjanes han estat totes per sobre de la deposició òptima. Tanmateix, les aconseguides pel tractament convencional han estat superiors i es podrien considerar excessives. La variabilitat de les mostres és menor en tots els casos en el tractament variable.

En referència a les deposicions aconseguides en cada costat de la fila tractada (Figura 8.12 centre), cal tenir present que la capçada era lleugerament asimètrica, presentant més vegetació al costat esquerre que al dret. Davant d'aquesta situació, el tractament convencional ha aconseguit deposicions mitjanes similars a ambdós costats. La diferència ha estat en la variabilitat de la mostra obtinguda al costat esquerre, el que acumulava més vegetació, que ha presentat un increment considerable de la seva variabilitat enfront de la mostra del costat dret. El tractament variable majorat ha mostrat desigualtat entre les mitjanes obtingudes als dos costats. Si bé la mostra del costat amb menys vegetació s'ha mantingut propera a la zona de deposició òptima, la mostra del costat esquerre ha presentat una sobredosificació probablement atribuïble a la intenció d'aplicar més producte a les zones amb més vegetació.

Una qüestió important de les aplicacions de productes fitosanitaris en conreus arboris és la penetració del producte en l'interior de la capçada. El comportament dels tractaments en relació amb aquest factor el representa la Figura 8.12 dreta. Deixant de banda la sobredosificació del tractament convencional, s'observa que aquest ha presentat una diferència important entre la deposició mitjana de la zona exterior de la capçada i la que hi penetra. El tractament variable majorat ha aconseguit que la diferència, tot i existir, no hagi estat tan pronunciada.

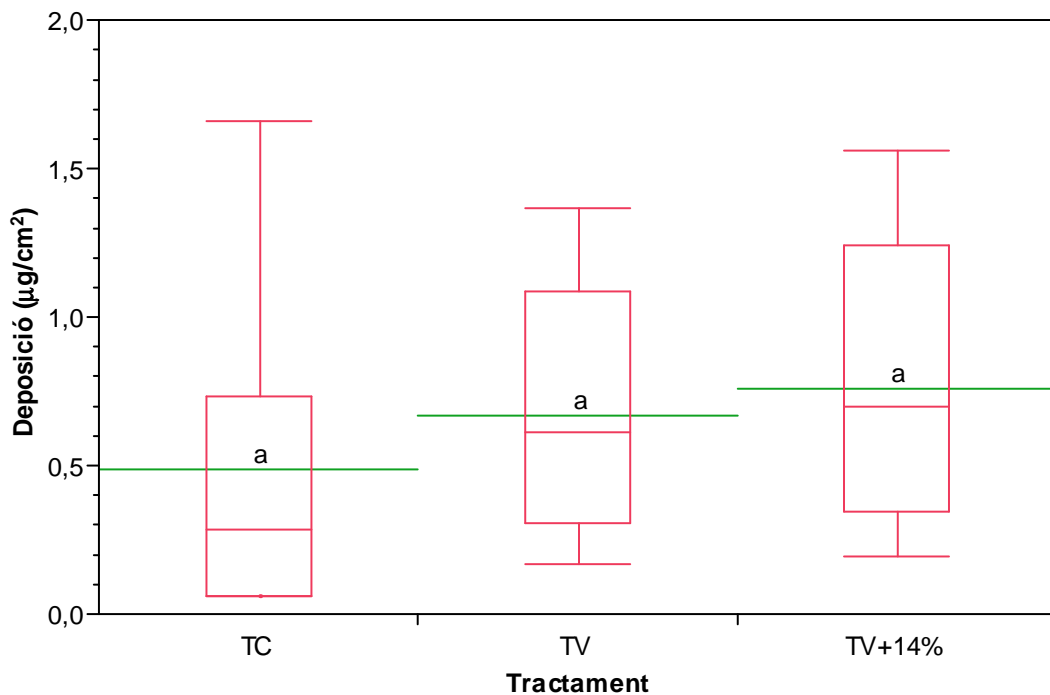
### 8.3.1.4 Anàlisi de la deposició a terra

En aquest apartat s'ha analitzat la fracció de traçador que, no dipositant-se en la capçada, ho fa al terra de la plantació en forma de pèrdues. A la Figura 8.13 es mostren els diagrames de caixa corresponents a les tres mostres on es fa patent l'alta dispersió de les deposicions del tractament convencional. A la Taula 8.11 es mostren els estadístics que descriuen les tres mostres de deposicions corresponents al tractament convencional, al tractament variable i al tractament variable majorat. Si bé les mitjanes no són iguals, la prova d'anàlisi de la variància realitzada indica que no hi ha diferències significatives entre les mostres. Un efecte positiu és la reducció de la variabilitat de les deposicions per part dels tractaments variables.

**Taula 8.11.-** Estadístics descriptius de les mostres de deposició a terra obtingudes a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2001.

Tractament	TC	TV	TV+14%
Deposició mitjana ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	0,49 a	0,67 a	0,76 a
Desviació estàndard ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	0,54	0,41	0,47
Observacions	15	15	15

\* Lletres diferents en files impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.



**Figura 8.13.-** Diagrames de caixa de les mostres de deposició a terra obtingudes a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2001. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals. Lletres diferents impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.

### 8.3.1.5 Anàlisi de les dosis aplicades

Les concentracions indicades a la Taula 8.12 són les del brou fitosanitari en els dipòsits una vegada normalitzades per tal de poder comparar les deposicions i les dosis dels diferents tractaments. La dosi aplicada amb el tractament variable ha estat pràcticament la meitat que l'aconseguida amb el tractament convencional. Després de la majoració simulada de la concentració del brou fitosanitari al dipòsit, la dosi simulada aplicada en aquest tractament ha estat de 880 g/ha, fet que representa un 41,33% menys de producte emprat respecte el tractament convencional.

**Taula 8.12.-** Dosis de traçador aplicades (TC i TV) i simulades (TV+14%) en els diferents tractaments de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2001.

Tractament	TC	TV	Dif. TC-TV	TV+14%	Dif. TC-TV+ 14%
<b>Concentració dipòsit (mg/L)</b>	3.000	3.000	-	3.420	+14,00%
<b>Dosi aplicada costat esquerre (g/ha)</b>	750	462	-38,36%	527	-29,73%
<b>Dosi aplicada costat dret (g/ha)</b>	750	310	-58,71%	353	-52,93%
<b>Dosi aplicada total (g/ha)</b>	<b>1.500</b>	<b>772</b>	<b>-48,54%</b>	<b>880</b>	<b>-41,33%</b>

### 8.3.1.6 Anàlisi de l'eficiència d'aplicació i les pèrdues dels tractaments

A la Taula 8.13 es mostren els valors d'eficiència d'aplicació en funció de l'índex d'àrea foliar i de les pèrdues de traçador a terra relatives. Tal com es pot observar, el tractament variable dut a terme amb el prototipus Fluxpro 1 d'acord amb el Mètode 1 de dosificació variable ha millorat l'eficiència d'aplicació aconseguida respecte el tractament convencional en un 23,89%. Aquest fet és degut a que, si bé el traçador distribuït en l'aplicació variable s'ha reduït en un 49,14% (Taula 8.7), la deposició mitjana només s'ha vist reduïda en un 36,11% (a partir dels valors de la Figura 8.8). Això implica que, en cas que s'apliqui la mateixa dosi de traçador en els dos tractaments, la deposició del tractament amb dosificació variable serà, de mitjana, un 23,89% més elevada. Una altra manera d'expressar el mateix és que el tractament variable pot aconseguir la mateixa deposició mitjana que el convencional aplicant un 19,28% menys de producte.

**Taula 8.13.-** Valors d'eficiències d'aplicació i pèrdues relatives obtinguts en els tractaments convencional i variable a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2001.

	TC	TV	Diferència respecte TC
<b><math>\epsilon_a</math> (adimensional)</b>	0,168·IAF	0,208·IAF	+23,89%
<b>Pèrdues a terra relatives (adim.)</b>	0,033	0,087	+165,96%
<b>Pèrdues per deriva relatives (adim.)</b>	0,967-0,168·IAF	0,913-0,208·IAF	-15,98% a -37,69%
<b>Pèrdues totals relatives (adim.)</b>	1-0,168·IAF	1-0,208·IAF	-8,05% a -24,30%

Per a un rang de valors de IAF entre 1,5 i 3 en el que es troba el valor real per a la plantació estudiada, les pèrdues per deriva relatives han estat entre el 16% i el 37,7% menors en el tractament variable. A les gràfiques de la Figura 8.14 es mostra la distribució relativa de la polvorització dels dos tipus de tractaments en tot el rang de valors d'IAF estimats. Tot i que les pèrdues a terra relatives han estat superiors, l'increment de l'eficiència d'aplicació ha estat major i, per tant, el tractament variable ha aconseguit reduir el percentatge de pèrdues per deriva.

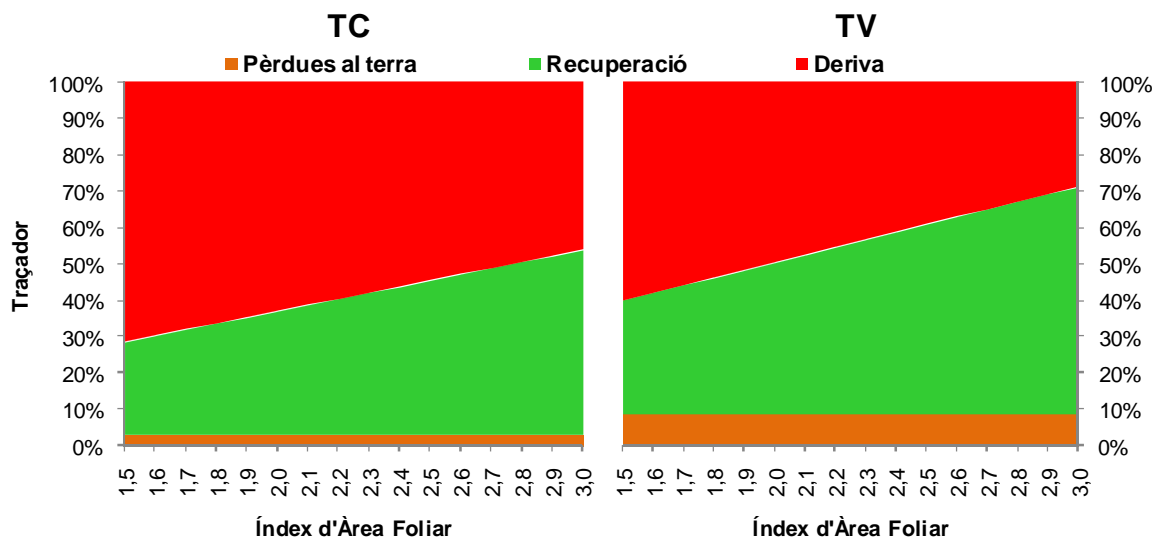


Figura 8.14.- Gràfiques de la distribució relativa del traçador aplicat en el tractament convencional (TC) i en el tractament variable (TV) a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2001.

Tanmateix, el tractament variable majorat no ha aplicat la mateixa dosi que el tractament convencional sinó que l'ha reduït en un 41,33% (Taula 8.12). En analitzar els valors absoluts de recuperació i de pèrdues obtinguts a l'assaig es poden apreciar millor les seves magnituds (Taula 8.14).

Taula 8.14.- Valors de recuperació i pèrdues absolutes obtinguts en els tractaments convencional i variable a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2001.

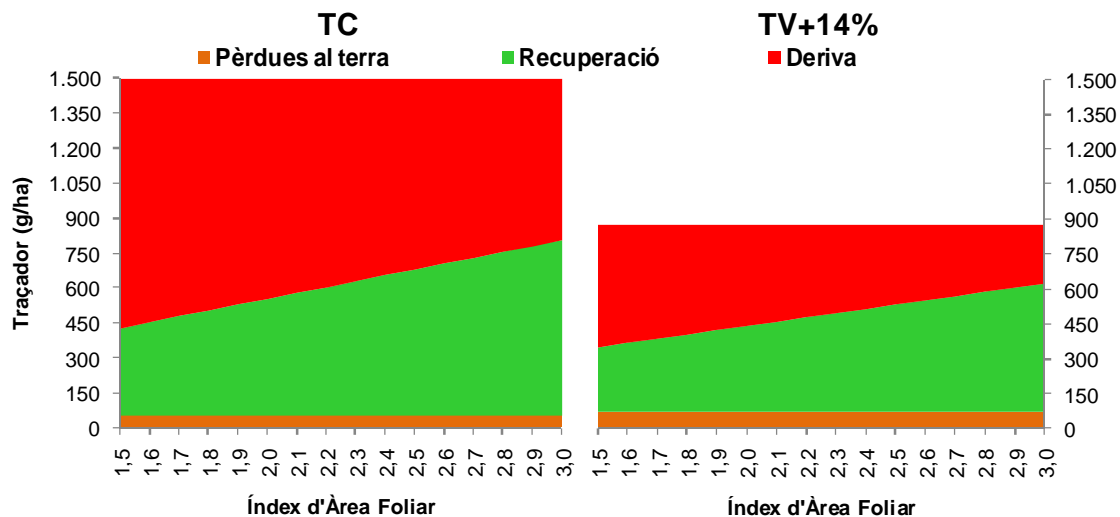
	TC	TV+14%	Diferència respecte TC
Recuperació (g/ha)	252,11·IAF	183,25·IAF	-27,31%
Pèrdues a terra (g/ha)	48,90	76,30	+56,04%
Pèrdues per deriva (g/ha)	1.451,10-252,11·IAF	803,70-183,25·IAF	-50,71% a -63,44%
Pèrdues totals (g/ha)	1.500-252,11·IAF	880-183,25·IAF	-46,06% a -55,58%

En les gràfiques de la Figura 8.15 es mostra la distribució relativa de la polvorització dels dos tipus de tractaments en tot el rang de valors d'IAF estimats. La recuperació aconseguida en el tractament variable ha estat un 27,31% inferior a l'aconseguida amb el tractament convencional. Tanmateix, tal com s'ha demostrat en l'anàlisi de la qualitat de la distribució, els dos tractaments són equivalents i, per tant, la disminució de la recuperació al fullatge respon a la sobredosificació que provoca el tractament convencional.

En referència a les pèrdues a terra, tot i que el tractament variable ha incrementat les pèrdues en un 56%, la magnitud de la diferència ha estat, tan sols, de 27,4 g/ha.

Quant a les pèrdues per deriva, en el rang d'IAF de 1,5 a 3 el tractament variable ha aconseguit una reducció de la deriva d'entre 544 g/ha i 440 g/ha respectivament. Aquests valors corresponen a una reducció entre el 50,71% i el 63,44% respecte del tractament convencional que, al seu temps, corresponen a una disminució de la deriva d'entre el 36,27% i el 29,38% respecte del total de producte aplicat pel tractament convencional.





**Figura 8.15.-** Gràfiques de la distribució absoluta del traçador aplicat en el tractament convencional (TC) i en el tractament variable majorat (TV+14%) a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2001.

### 8.3.2 ASSAIG 2 realitzat a la cultivar 'Golden Delicious' l'any 2002

L'assaig que es comenta en aquest apartat correspon al realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002. Aquest assaig ha consistit en comparar els resultats obtinguts amb els tractaments convencional (TC) i els dels tractaments variables TV90, TV70 i TV50.

#### 8.3.2.1 Dades meteorològiques

Les dades meteorològiques enregistrades durant l'assaig han presentat diferències entre els quatre tractaments (Taula 8.15). Malgrat que les diferències de temperatura, humitat relativa i velocitat i direcció del vent poden haver introduït una certa variabilitat addicional a l'assaig, es considera que no han d'alterar la comparació dels tractaments. Tanmateix, el tractament que podria haver resultat més perjudicat és el TV50 i caldrà analitzar els seus resultats per si les deposicions aconseguides han estat anormalment baixes.

**Taula 8.15.-** Dades meteorològiques obtingudes durant l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002.

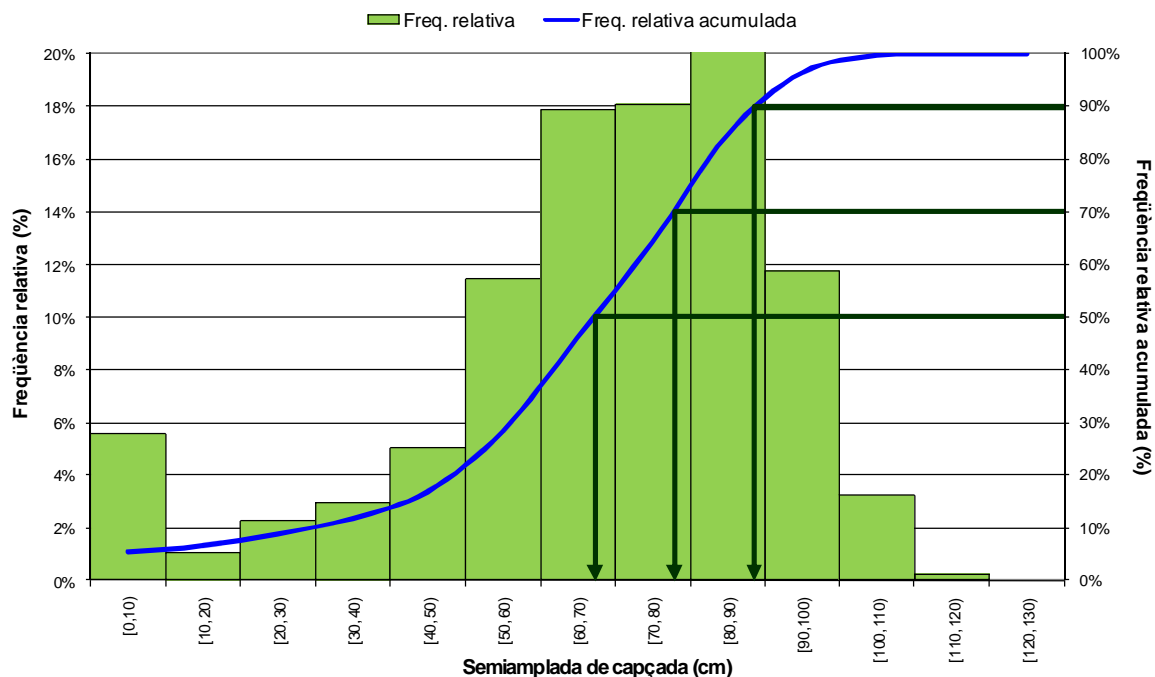
TRACTAMENT	PARÀMETRE	TEMPERATURA (°C)	HUMITAT RELATIVA (%)	VELOCITAT DEL VENT (m/s)	DIRECCIÓ DEL VENT (°)*
VARIABLE TV90	Mitjana	18,88	75,37	1,86	60
	Màxim	19,45	78,90	2,59	321
	mínim	18,91	75,40	1,18	282
VARIABLE TV70	Mitjana	21,33	67,67	2,08	12
	Màxim	21,58	70,80	2,94	318
	mínim	21,15	65,67	0,73	8
CONVENCIONAL	Mitjana	22,70	63,26	1,73	27
VARIABLE TV50	Mitjana	24,03	60,48	2,01	43

\* La direcció del vent es considera respecte l'orientació de l'eix de la fila.

#### 8.3.2.2 Anàlisi de la capçada i dels volums aplicats

Abans de la realització dels tractaments s'ha dut a terme una mesura electrònica dels dos costats del tram de fila delimitat per a l'assaig. La mostra de semiamplades de capçada obtinguda s'ha analitzat per tal de determinar els percentils 50%, 70% i 90%. A la Figura 8.16 es mostra la distribució de les semiamplades i la corba de freqüències acumulades. A la Taula 8.16 es relacionen els valors obtinguts, així com els volums de capçada del tram de fila assajat i els volums aplicats durant els diferents tractaments. A partir dels volums de capçada i els volums de brou fitosanitari aplicats s'han estimat els volums unitaris d'aplicació i els coeficients d'aplicació.

Els semivolums de capçada estimats han presentat una diferència estadísticament significativa a favor del semivolum del costat dret. Tots els tractaments variables han aconseguit reduir el volum de brou aplicat. Tal com es podia esperar, la magnitud de la reducció ha estat directament proporcional al valor de semiamplada màxima utilitzat en cada tractament. També s'observa, de forma lògica, que en tots els casos s'ha obtingut més estalvi de brou al costat esquerre de la fila, costat amb menys vegetació, que al dret.



**Figura 8.16.-** Histograma de les semiaplades de capçada enregistrades en el tram de fila seleccionat per a l'assaig a indicant els valors dels percentils 50%, 70% i 90%.

**Taula 8.16.-** Volums de capçada i característiques de les diferents aplicacions realitzades en els tractaments convencional (TC) i variables (TV50, TV70 i TV90) de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002.

PARÀMETRE	TC	TV50	Dif. TC-TV50	TV70	Dif. TC-TV70	TV90	Dif. TC-TV90
Volum de capçada esquerra (m <sup>3</sup> )				95,54 b			
Volum de capçada dret (m <sup>3</sup> )				108,65 a			
<b>Volum total de capçada (m<sup>3</sup>)</b>				<b>204,19</b>			
<b>Semiaplada màx. capçada (cm)</b>	-	<b>69,00</b>	-	<b>78,00</b>	-	<b>87,00</b>	-
Volum aplicat esquerra (L)	4,63	2,62	-43,48%	2,53	-45,47%	2,13	-53,97%
Volum aplicat dreta (L)	4,52	2,96	-34,55%	2,62	-41,96%	2,38	-47,37%
<b>Volum total aplicat (L)</b>	<b>9,15</b>	<b>5,57</b>	<b>-39,07%</b>	<b>5,15</b>	<b>-43,74%</b>	<b>4,51</b>	<b>-50,71%</b>
Volum d'aplicació unitari esquerra (L/ha)	240	137		131		110	
Volum d'aplicació unitari dret (L/ha)	234	155		136		123	
<b>Volum d'aplicació unitari total (L/ha)</b>	<b>473</b>	<b>292</b>		<b>266</b>		<b>233</b>	
Coef. aplicació esquerra (L/m <sup>3</sup> )	0,048	0,027		0,026		0,022	
Coef. aplicació dret (L/m <sup>3</sup> )	0,042	0,027		0,024		0,022	
<b>Coef. aplicació total (L/m<sup>3</sup>)</b>	<b>0,045</b>	<b>0,027</b>		<b>0,025</b>		<b>0,022</b>	

\* Lletres diferents impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.

A la Figura 8.17 s'observa el diagrama on es representen els semivolums de vegetació dels dos costats de la fila així com els volums polvoritzats en cada tractament. Les corbes de volums aplicats en mode variable no se solapen de manera acurada degut a variacions en la velocitat d'execució dels tractaments o, fins i tot, durant els mateixos tractaments. Aquest fet no ha afectat excessivament el resultat del tractament en qüestió sinó la seva representació gràfica. Tanmateix, es pot apreciar que les corbes de cabal responen tant a la microvariabilitat com a la macrovariabilitat que ha presentat la vegetació del tram de fila tractat. També s'observa, malgrat la manca de sincronització, que els volums aplicats en el TV90 han estat inferiors als aplicats en el TV70 i el TV50.

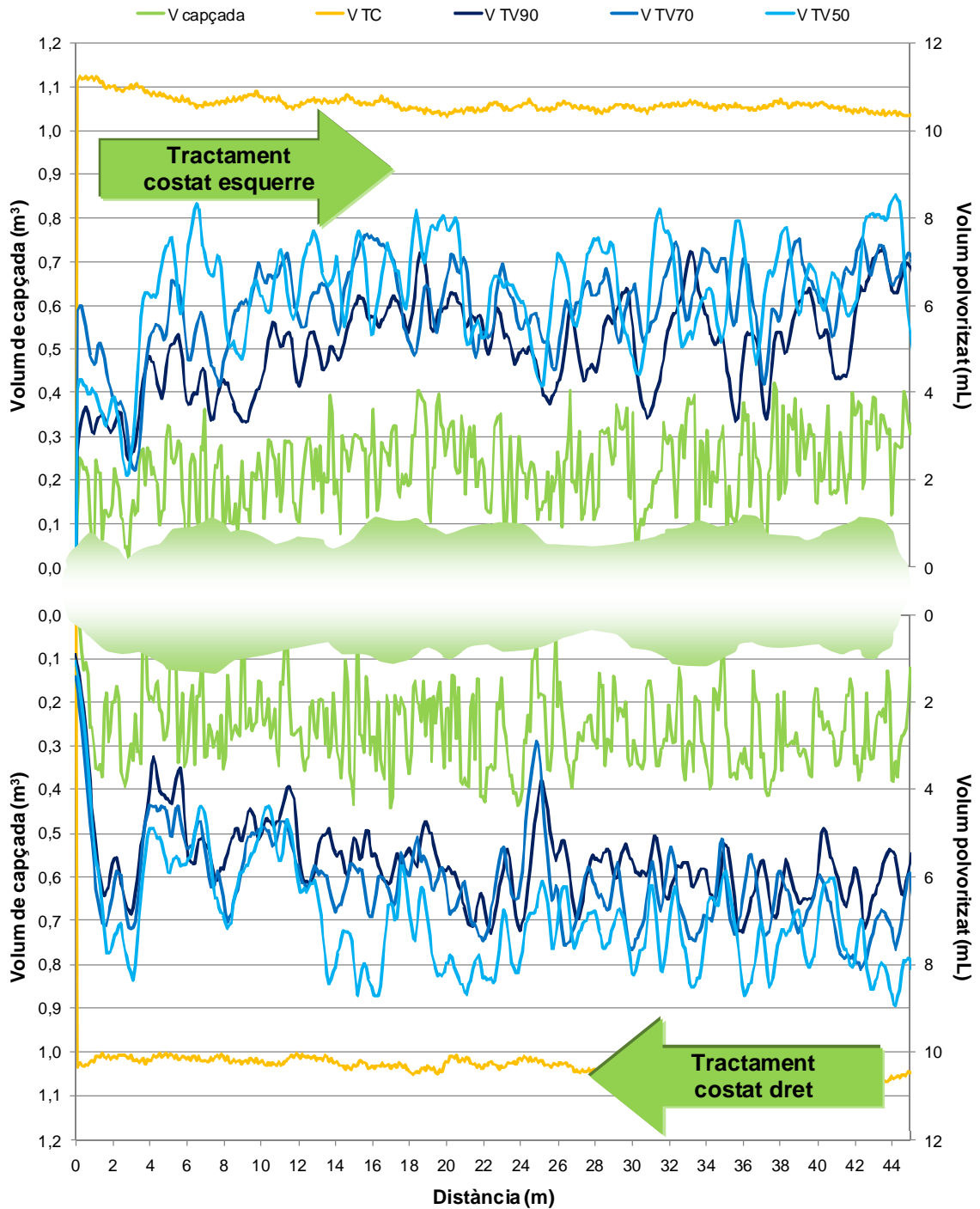


Figura 8.17.- Diagrames de dispersió dels volums de capçada i dels volums polvoritzats en el tram de fila on es realitza l'assaig amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002.

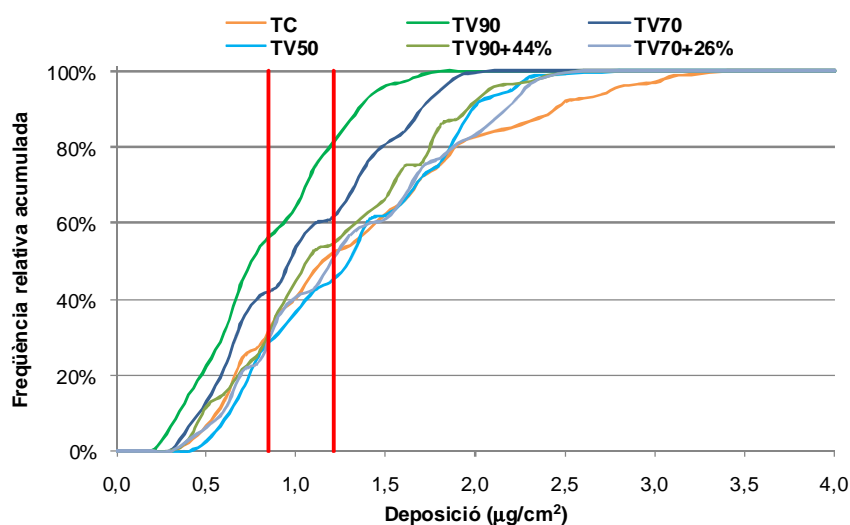
### 8.3.2.3 Anàlisi de la deposició foliar

L'anàlisi dels volums aplicats ha indicat una important reducció en el volum de brou fitosanitari aplicat (Taula 8.16). En aquest apartat s'ha analitzat la deposició foliar aconseguida en els tractaments realitzats i s'ha comprovat que la reducció del brou aplicat amb dosificació variable no hagi representat una disminució de la qualitat de l'aplicació respecte del tractament convencional.

A la Taula 8.17 s'observa que el percentil corresponent al valor de la deposició òptima mínima dels tractaments variables TV70 i TV90 ha estat superior a l'aconseguit pel tractament convencional. Per aquest motiu, s'han majorat les deposicions per a aconseguir el mateix percentil simulant un increment del 26% i del 44%, respectivament, de la concentració del brou al dipòsit en aquests tractaments. El tractament TV50 ha obtingut uns resultats més favorables en referència al nombre de mostres per sota del llindar inferior de la deposició òptima sense que l'hagin afectat, per tant, les condicions meteorològiques més severes. Tanmateix, el nombre de mostres per sobre de la deposició òptima superior ha estat major que en el tractament convencional i, per tant, no ha aconseguit dipositar tantes mostres a la zona òptima. El tractament majorat TV90+44%, en canvi, és el que ha aconseguit més deposicions dins l'interval òptim. Com s'aprecia a la Figura 8.18, la corba acumulada del tractament TV90+44% és la que pren un major pendent després d'igualar-la a la TC en la deposició òptima mínima; aquest fet confereix al tractament TV90+44% un comportament més favorable en les deposicions aconseguides.

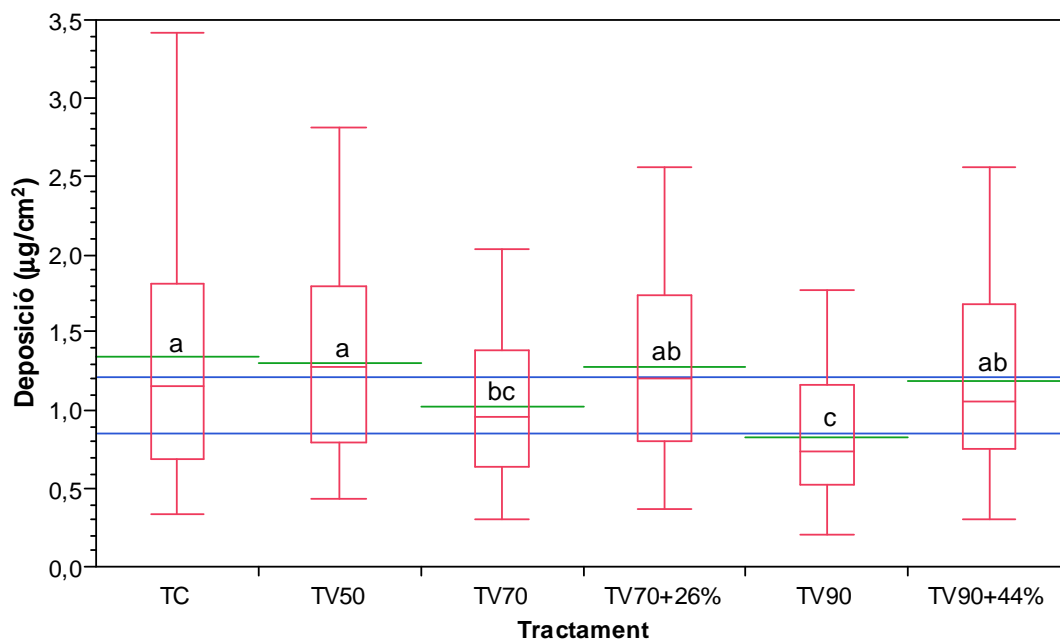
**Taula 8.17.-** Percentils i freqüències relatives acumulades de les mostres de deposició foliar dels tractaments convencional (TC), variables (TV50, TV70 i TV90) i variables majorats (TV70+26% i TV90+44%) a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002.

Tractament	TC	TV50	TV70	TV70+26%	TV90	TV90+44%
Percentil corresponent a 100 gotes/cm <sup>2</sup>	52,30%	45,40%	61,60%	51,20%	81,70%	54,50%
Percentil corresponent a 70 gotes/cm <sup>2</sup>	29,50%	29,00%	42,10%	29,00%	54,60%	29,50%
Deposicions dins l'interval òptim	<b>22,80%</b>	<b>16,40%</b>	<b>19,50%</b>	<b>22,20%</b>	<b>27,10%</b>	<b>25,00%</b>
Deposicions majors que l'òptima	<b>47,70%</b>	<b>54,60%</b>	<b>38,40%</b>	<b>48,80%</b>	<b>18,30%</b>	<b>45,50%</b>
Deposicions menors que l'òptima	<b>29,50%</b>	<b>29,00%</b>	<b>42,10%</b>	<b>29,00%</b>	<b>54,60%</b>	<b>29,50%</b>



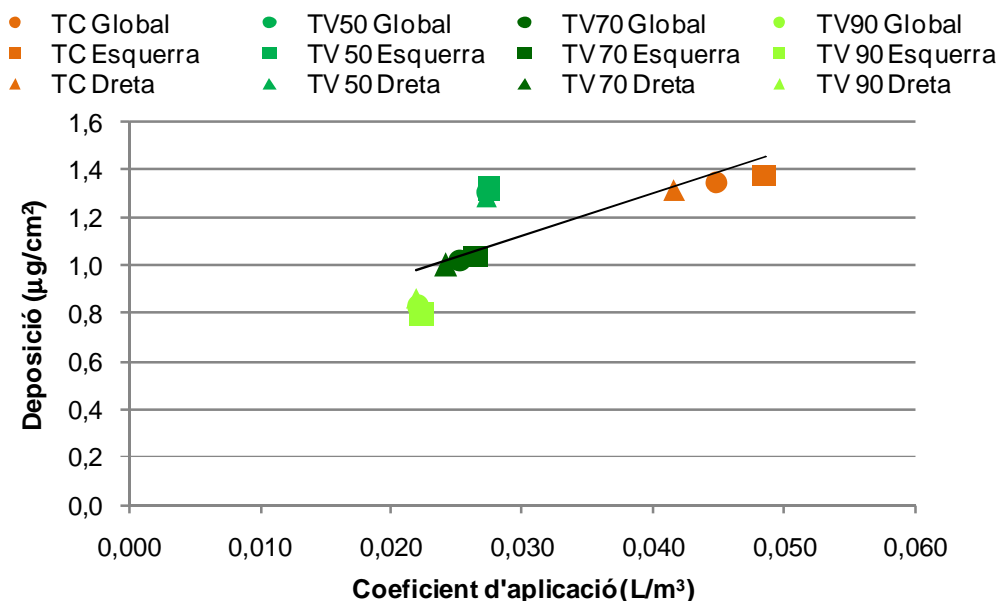
**Figura 8.18.-** Freqüències relatives acumulades de les deposicions corresponents als tractaments de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002. Les línies roges verticals representen les deposicions òptimes mínima i màxima.

Les mostres de deposicions obtingudes es representen en diagrames de caixa a la Figura 8.19. S'observa que el tractament convencional presenta major dispersió en les deposicions que la resta. El tractament variable TV50 presenta una mitjana similar amb una distribució de les mostres amb menor dispersió. A mesura que canvia la semiampçada màxima de capçada considerada i els factors de reducció de l'algorisme del Mètode 1 de dosificació variable esdevenen més estrictes, la deposició mitjana aconseguida és menor. Una vegada corregides les concentracions, l'únic tractament que aconsegueix situar la mitjana dins de la zona òptima és el TV90+44% tot i que sense que el seu valor presenti diferències significatives amb la resta.



**Figura 8.19.-** Diagrames de caixa de les mostres de deposició foliar obtingudes a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les blaves delimiten la zona de deposició òptima. Lletres diferents impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.

De la relació entre les deposicions mitjanes globals i de cada costat amb els corresponents coeficients d'aplicació (Figura 8.20), cal destacar dos factors interessants. Per un costat, ressaltar que tots els tractaments variables aconseguen coeficients molt similars en els dos costats de la fila. Aquest fet respon a que la seva dosificació s'adapta correctament a les variacions de volum de capçada. D'altra banda, el model obtingut presenta un ajust moderat possiblement degut a que els tractaments variables sembla que tinguin una relació diferent a la proposada quan es té en compte el tractament convencional.

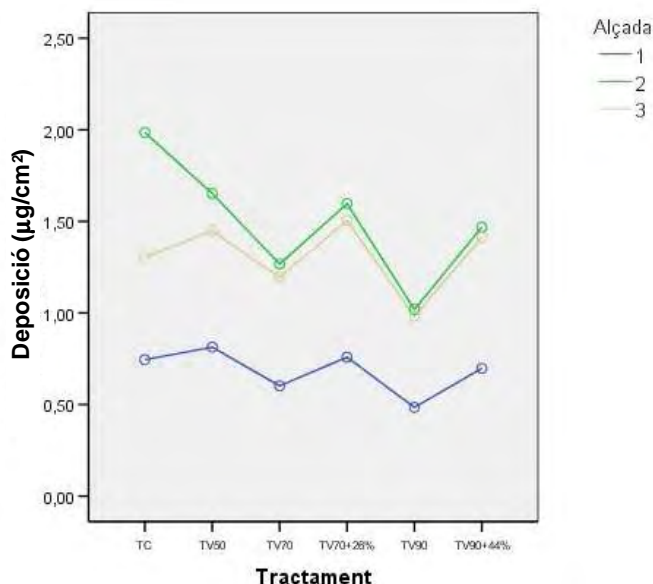


**Figura 8.20.-** Diagrama de dispersió de les deposicions foliars en funció dels coeficients d'aplicació a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002. El coeficient de determinació del model de regressió lineal simple ajustat és  $R^2=0,56$ .

### 8.3.2.3.1 Anàlisi de la variància del conjunt de mostres de deposició foliar

A diferència de l'assaig anterior, en aquest assaig i en els següents s'afegeix el factor *Zona* de mostratge, corresponent a la presa de mostres a la zona del tronc i d'entretroncs de manera diferenciada. El resultat de la prova d'anàlisi de la variància de les mostres de deposició de tots els tractaments indica que els efectes dels factors principals *Tractament*, *Zona*, *Alçada* i *Profunditat* són significatius. També ho són totes les interaccions entre factors a excepció de la que es produeixen entre el factor *Tractament* i els factors *Costat*, *Zona* i *Profunditat*. D'aquesta anàlisi només interessa l'efecte del factor *Tractament* i les seves interaccions en cas que aquestes siguin degudes a efectes negatius introduïts pels tractaments variables. El comportament de la resta de factors s'ha analitzat per al cas del tractament convencional i del tractament variable TV50 per tal de verificar si els seus efectes són deguts al mètode de dosificació o bé a característiques del propi polvoritzador (aquest darrer cas fora de l'abast de la tesi).

En tot cas, sí que hi ha una interacció significativa entre el factor *Tractament* i l'*Alçada* de la capçada. Per tal d'analitzar-la, s'han representat les mitjanes de cada tractament en cada alçada. A la Figura 8.21 s'observa clarament que la significació de la interacció entre factors és atribuïble al diferent comportament que presenta la deposició del tractament TC en l'alçada 2. Tal com s'aprecia, la resta de tractaments aconseguen una deposició similar entre les alçades 2 i 3 a excepció del tractament TC i, en menor grau, del tractament TV50. En tots els casos, la deposició en l'alçada 1, encara que inferior, manté una relació similar amb les altres alçades. Si assumim com a suficients les deposicions de les alçades 1 i 2, el tractament TC aplica una quantitat de traçador excessiva en l'alçada 2, que els altres tractaments variables aconseguen controlar.

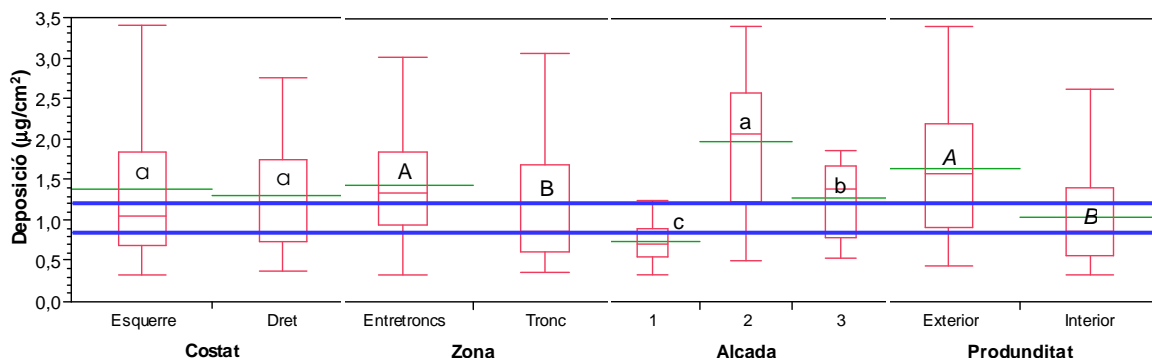


**Figura 8.21.-** Deposició mitjana obtinguda en cada Alçada de mostratge en cadascun dels tractaments de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002.

### 8.3.2.3.2 Anàlisi de la variància de les deposicions foliars del tractament TC

Els factors considerats en aquest assaig són el *Costat* de la fila, la *Zona* de mostratge, l'*Alçada* de la capçada i la *Profunditat* de mostratge. A la Figura 8.22 es mostren els diagrames de caixa de les

deposicions en funció del factor analitzat. En contra del que es podia esperar, la diferència en el volum de la capçada de cada costat de la fila no ha comportat una diferència significativa en la deposició de traçador assolida. La resta de factors sí que presenten efectes significatius donat que les mitjanes de les diferents Zones de mostratge, Alçades i Profunditats són diferents.



**Figura 8.22.-** Diagrames de caixa de les mostres de deposició foliar obtingudes en el tractament convencional de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les blaves delimiten la zona de deposició òptima. Lletres diferents amb el mateix estil impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$ .

A la Taula 8.18 es relacionen els diferents valors-*p* obtinguts en la prova d'anàlisi de la variància. Els diferents valors-*p* ens permetran comparar els efectes dels factors en aquest tractament i en tractament variable TV50. A més de la significació dels efectes principals esmentats, s'observa que les interaccions del factor *Profunditat* amb els factors *Zona* i *Alçada* presenten efectes significatius.

**Taula 8.18.-** Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzada a les mostres de deposició foliar del tractament convencional de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002.

Factors	Valor- <i>p</i> <sup>1</sup>
Model	0,000
Intersecció	0,000
<i>Costat</i>	0,514
<i>Zona</i>	0,019
<i>Alçada</i>	0,000
<i>Profunditat</i>	0,000
<i>Costat</i> * <i>Zona</i>	0,061
<i>Costat</i> * <i>Alçada</i>	0,108
<i>Zona</i> * <i>Alçada</i>	0,210
<i>Costat</i> * <i>Profunditat</i>	0,709
<i>Zona</i> * <i>Profunditat</i>	0,046
<i>Alçada</i> * <i>Profunditat</i>	0,034

<sup>1</sup> Valors-*p* per sota el nivell de significació ( $\alpha=0,05$ ) impliquen significació del factor o interacció.

L'efecte significatiu de la interacció entre els factors *Zona* i *Alçada* i entre els factors *Alçada* i *Profunditat* indica el comportament diferent de la deposició segons els casos que es poden donar de cada factor. A la Figura 8.23 esquerra, s'aprecia que la relació entre la mitjana de les deposicions interiors i la de les exteriors no es manté en els dos casos que pot presentar el factor *Zona*. A la *Zona Entretroncs* hi ha poca diferència entre la deposició a les mostres exteriors i a les interiors mentre que a la *Zona Tronc* la diferència és major. Aquest fet respon a que a les Zones



Entretroncs hi ha menys vegetació (amplada de la capçada) que a les Zones Tronc; això té com a conseqüència que la deposició a les Zones Entretroncs interiors sigui major que a les Zones Tronc essent la deposició exterior pràcticament la mateixa. A la Figura 8.23 dreta, la relació entre les deposicions interiors i exteriors tampoc es manté en les diferents alçades en que s'ha dividit la capçada. L'Alçada central (Alçada 2) és la que presenta més volum de capçada però també és la que rep més quantitat de polvorització, degut a la seva posició i a la configuració del polvoritzador. La deposició interior és la més elevada de les tres alçades i, tanmateix, la diferència amb la deposició exterior és la més gran. Caldria aclarir quina de les dues alçades restants seria la que presenta més volum de vegetació donat que no és possible establir-ho a partir de les mesures realitzades. En tot cas, l'Alçada 1 és la que rep menys deposició a les mostres exterior i, malgrat això, és la que difereix menys de la deposició interior.

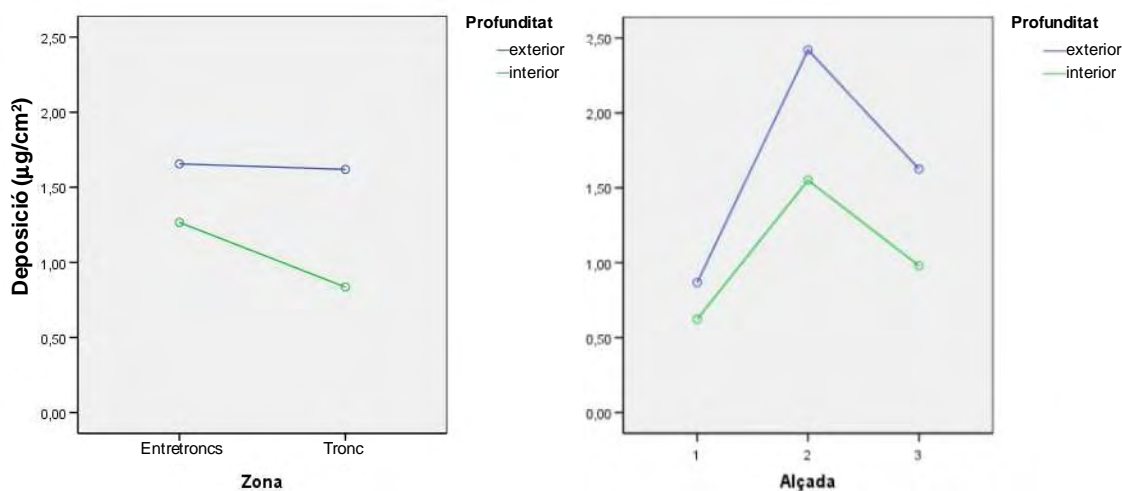


Figura 8.23.- Depositions mitjanes obtingudes a diferents Profunditats de mostratge segons els diferents valors dels factors Zona (esquerra) i Alçada (dreta) en el tractament convencional de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002.

### 8.3.2.3.3 Anàlisi de la variància de les deposicions foliars del tractament TV50

El tractament dut a terme a partir del Mètode 1 de dosificació variable TV50 presenta uns resultats equivalents o, fins i tot més favorables, que el tractament convencional (Figura 8.24).

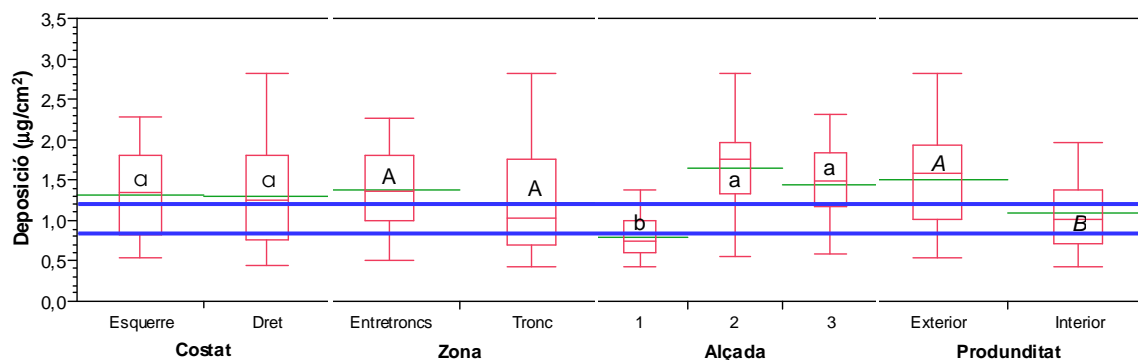


Figura 8.24.- Diagrames de caixa de les mostres de deposició foliar obtingudes en el tractament variable TV50 de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les blaves delimiten la zona de deposició òptima. Lletres diferents amb el mateix estil impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$ .

Els valors mitjans de deposició segons els casos del factor *Costat* de la fila són pràcticament iguals. Com en el cas del tractament convencional, l'efecte del factor *Costat* no ha estat significatiu.

En referència al factor *Zona*, en el tractament convencional la mitjana de la *Zona Tronc* i la de la *Zona Entretroncs* presenten diferències significatives mentre que en el tractament amb el prototipus amb dosificació variable, no. La polvorització diferenciada duta a terme en aquestes zones ha adaptat les deposicions i ha reduït la variabilitat de les mostres aconseguint una deposició més homogènia en ambdues zones.

Pel que fa al factor *Alçada*, el prototipus Fluxpro 1 ha aconseguit augmentar la deposició en l'*Alçada* 3, situant-la al nivell de l'assolida en l'*Alçada* 2, si bé la deposició de l'alçada inferior no ha variat significativament.

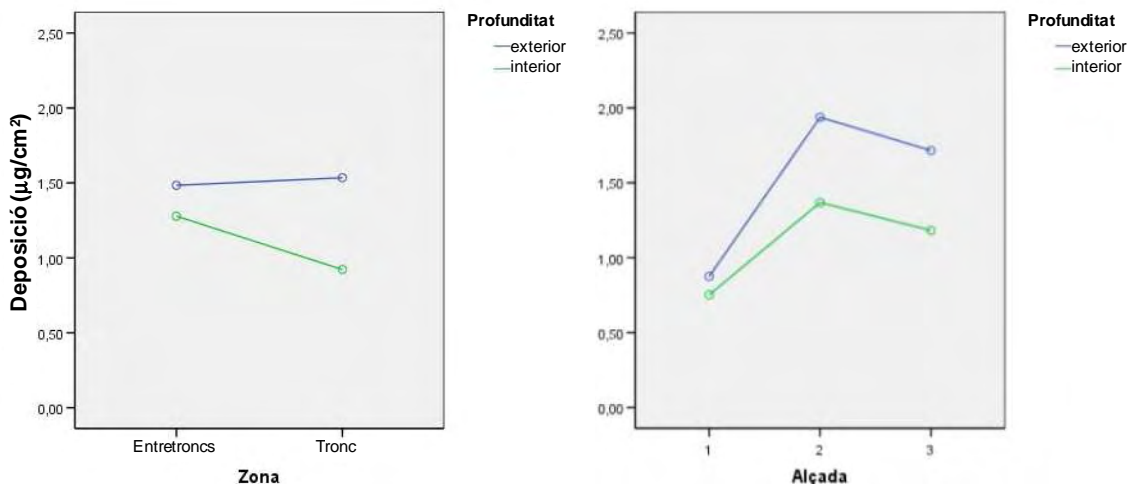
Quant al factor *Profunditat*, es torna a observar un efecte significatiu com en el cas del tractament convencional.

**Taula 8.19.-** Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzada a les mostres de deposició foliar del tractament amb dosificació variable TV50 de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002.

Factors	Valor-p <sup>1</sup>
Model	0,000
Intersecció	0,000
<i>Costat</i>	0,697
<i>Zona</i>	0,071
<i>Alçada</i>	0,000
<i>Profunditat</i>	0,000
<i>Costat</i> * <i>Zona</i>	0,662
<i>Costat</i> * <i>Alçada</i>	0,408
<i>Zona</i> * <i>Alçada</i>	0,369
<i>Costat</i> * <i>Profunditat</i>	0,257
<i>Zona</i> * <i>Profunditat</i>	0,018
<i>Alçada</i> * <i>Profunditat</i>	0,060

<sup>1</sup> Valors-p per sota el nivell de significació ( $\alpha=0,05$ ) impliquen significació del factor o interacció.

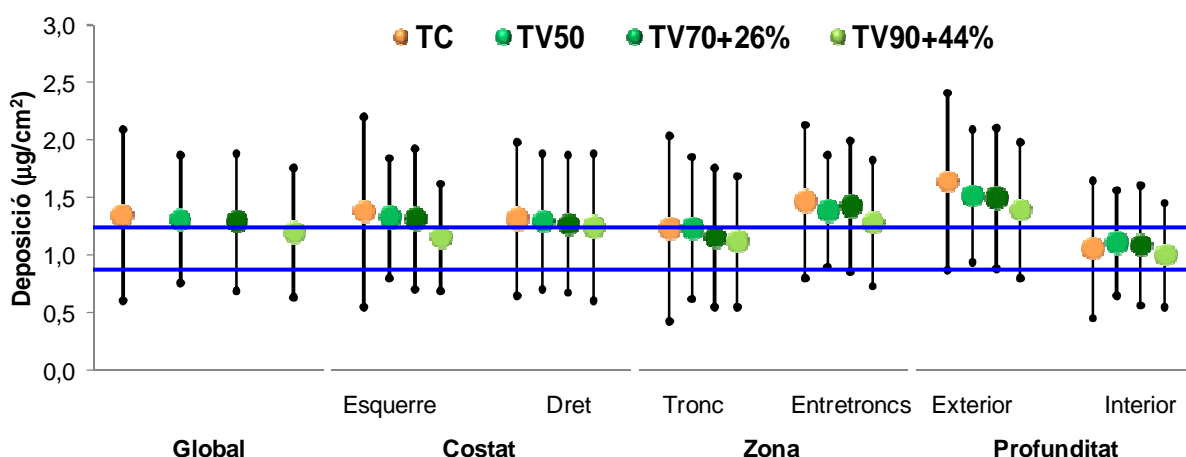
Una altra millora és que l'efecte de la interacció entre els factors *Alçada* i *Profunditat* ha deixat de ser significativa. Tanmateix, l'efecte de la interacció entre el factor *Zona* i el factor *Profunditat* ha obtingut un valor-p encara més significatiu a l'obtingut en el tractament convencional. Tot i això, analitzant amb detall la Figura 8.25, corresponent al tractament TV50, i comparant-la amb la Figura 8.23, corresponent al tractament convencional, es dedueix que el tractament variable es comporta més favorablement. Com en el tractament convencional, les deposicions exteriors són pràcticament iguals a les *Zones Tronc* i *Entretroncs* tot i que les aconseguides amb el tractament TV50 són menors en els dos casos. La deposició interior a la *Zona Entretroncs* del tractament TV50 és semblant a l'assolida amb el tractament convencional mentre que en el cas de la *Zona Tronc*, és major en el cas TV50. Aquest comportament podria respondre a la variació de cabals aplicats amb el prototipus Fluxpro 1 per a compensar les diferències en la capçada. El comportament dels valors-p és degut a que les diferències relatives entre deposicions exteriors i interiors són majors en el cas del tractament TV50 tot i que en termes absoluts el comportament hagi estat més satisfactori.



**Figura 8.25.-** Deposicions mitjanes obtingudes a diferents profunditats de mostreig segons els diferents valors dels factors *Zona* (esquerra) i *Alçada* (dreta) en el tractament variable TV50 de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002.

### 8.3.2.3.4 Resum gràfic de la deposició foliar

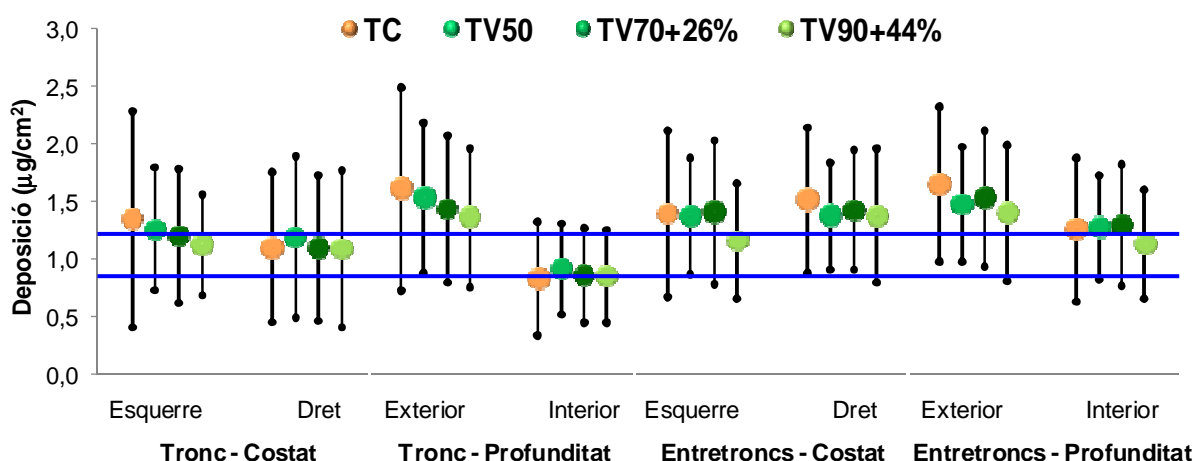
Com a resum de l'anàlisi de les deposicions foliars es presenta la Figura 8.26. En ella es mostren les deposicions globals mitjanes i les desviacions estàndard corresponents al tractament convencional i als tractaments variables (Figura 8.26 esquerra) i les mitjanes parcials per als factors *Costat*, *Zona* i *Profunditat* (Figura 8.26 dreta). El tractament variable TV50 no ha estat majorat i és el que presenta una variabilitat més reduïda. En totes les situacions ha presentat una deposició més propera a l'òptima que el tractament convencional a excepció de la *Profunditat* interior, on ha aconseguit dipositar més traçador. La majoració de la resta de tractaments variables ha implicat un increment de les seves deposicions mitjanes però aquestes sempre han romàs similars o per sota de la mitjana del tractament convencional. La variabilitat de les deposicions és sensiblement menor en tots els tractaments variables realitzats amb el prototipus Fluxpro 1, tot i veure's incrementada en els tractaments majorats.



**Figura 8.26.-** Gràfiques de deposicions foliars globals mitjanes (esquerra) i de les mitjanes parcials en funció dels factors *Zona*, *Costat* i *Profunditat* (dreta) aconseguïdes amb el tractament convencional (TC) i els tractaments variables (TV50, TV70+26%, TV90+44%) realitzats amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002. Les barres negres indiquen la desviació estàndard de cada mostra. Les línies blaves delimiten la zona de deposició òptima.

En termes generals, tots els tractaments han dipositat més traçador a les zones amb menys vegetació (*Costat Esquerre* i *Zona Entretroncs*) o amb més fàcil accés (*Profunditat exterior*). Tanmateix, els tractaments variables han reduït l'excés de producte en aquestes zones reduint les diferències que ha presentat el tractament convencional.

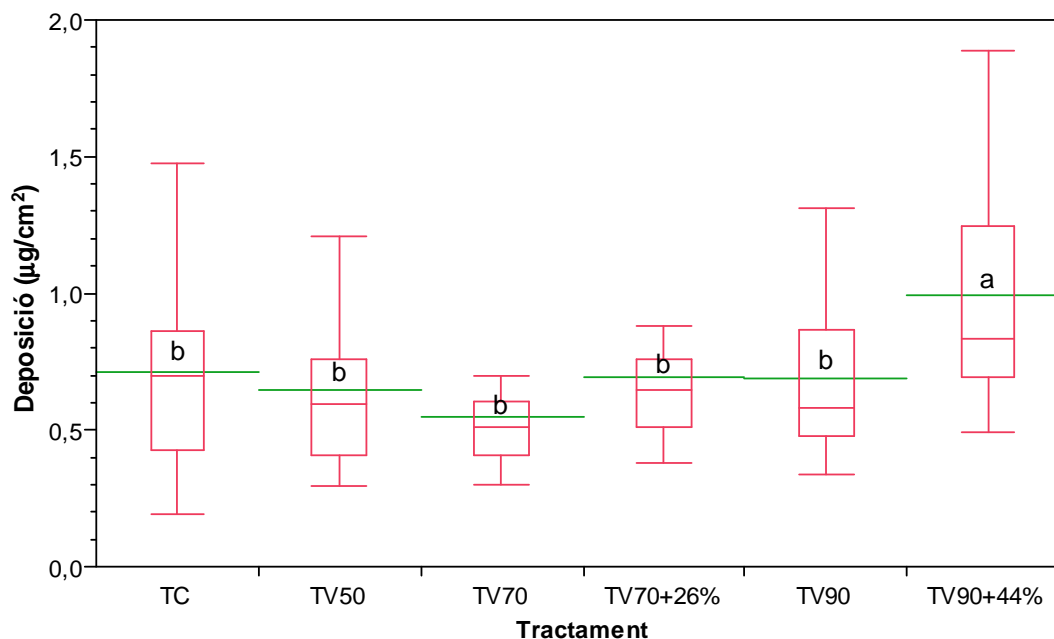
Una representació gràfica que mostra amb més detall l'efecte del factor *Zona* (*Tronc* i *Entretroncs*) és la que s'observa a la Figura 8.27. Les dues gràfiques de l'esquerra mostren l'ocorregut a la *Zona Tronc* mentre que les altres dues representen la *Zona Entretroncs*. Semblantment a l'anàlisi global, s'observa que, en tots els casos, els tractaments variables aconseguixen reduir les diferències entre les deposicions mitjanes parcials de cada factor i la seva variabilitat, tot apropant-se a la zona de deposicions òptimes. De forma coherent, la major dificultat en la penetració del traçador a la capçada es manifesta a la *Zona Tronc*, on hi ha més volum de vegetació. L'anàlisi de la *Zona Entretroncs* posa de manifest que, si bé la deposició a la *Profunditat exterior* és similar a la *Zona Tronc*, la deposició a la zona interior és molt més alta en tots els tractaments.



**Figura 8.27.-** Gràfiques de deposicions foliars mitjanes parcials a la *Zona Tronc* (esquerra) i *entretroncs* (dreta) aconseguïdes amb el tractament convencional (TC) i els tractaments variables (TV50, TV70+26%, TV90+44%) realitzats amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002. Les barres negres indiquen la desviació estàndard de cada mostra. Les línies blaves delimiten la zona de deposició òptima.

### 8.3.2.4 Anàlisi de la deposició a terra

En aquest apartat s'analiza la fracció de traçador que, no dipositant-se en la capçada, ho fa al terra de la plantació en forma de pèrdues. A la Figura 8.28 es mostren els diagrames de caixa corresponents a les mostres de deposició on es fa patent l'alta dispersió de les dades del tractament convencional i del tractament TV90+44%, aquesta darrera deguda a la majoració del tractament TV90.



**Figura 8.28.-** Diagrames de caixa de les mostres de deposició a terra obtingudes a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals. Lletres diferents impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.

A la Taula 8.20 es mostren els estadístics que descriuen les mostres de deposicions obtingudes. A excepció del tractament variable majorat TV90+44%, les mitjanes no presenten diferències significatives. També a excepció del tractament TV90+44%, els tractaments variables han reduït la variabilitat de les mostres de deposicions a terra.

**Taula 8.20.-** Estadístics descriptius de les mostres de deposició a terra obtingudes a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002.

Tractament	TC	TV50	TV70	TV70+26%	TV90	TV90+44%
Deposició mitjana ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	0,71 b	0,64 b	0,55 b	0,69 b	0,69 b	0,99 a
Desviació estàndard ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	0,32	0,29	0,21	0,26	0,28	0,40
Observacions	36	36	36	36	36	36

\* Lletres diferents en files impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.

### 8.3.2.5 Anàlisi de les dosis aplicades

Les dosis reals aplicades en cada tractament es poden apreciar a la Taula 8.21. Lògicament, els tractaments amb un valor de semiamplicitud màxima introduïda en l'algorisme de regulació (TV90, TV70 i TV50, respectivament) han aconseguit majors reduccions de dosi que el tractament convencional. Tanmateix, s'ha demostrat que la seva qualitat ha estat menor en els casos dels tractaments TV90 i TV70. Per tal de poder comparar les dosis aplicades en condicions equivalents de qualitat, a la Taula 8.22 es mostren les dosis aconseguides pels tractaments majorats. Tot i l'increment de producte aplicat que implica la sobreconcentració del brou, les dosis aconseguides continuen essent menors que la del tractament convencional. Una vegada garantida la equivalència de qualitat respecte del tractament convencional, el tractament que aconsegueix més

estalvi de producte és el tractament TV50, sense necessitat d'incrementar la concentració del brou.

**Taula 8.21.-** Dosis de traçador aplicades en els diferents tractaments de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002.

Tractament	TC	TV50	Dif. TC-TV50	TV70	Dif. TC-TV70	TV90	Dif. TC-TV90
Concentració dipòsit (mg/L)	3.000	3.000	-	3.000	-	3.000	-
Dosi aplicada esquerra (g/ha)	719	412	-42,69%	392	-45,47%	331	-53,97%
Dosi aplicada dreta (g/ha)	701	465	-33,64%	407	-41,96%	369	-47,37%
Dosi aplicada total (g/ha)	1.419	877	-38,22%	799	-43,74%	700	-50,71%

**Taula 8.22.-** Dosis de traçador aplicada (TC) i simulades (TV70+26% i TV90+44%) en els diferents tractaments de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002.

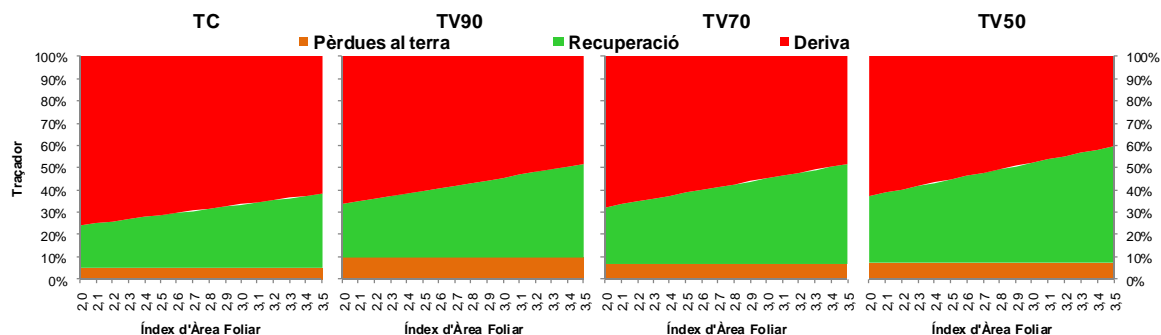
Tractament	TC	TV70+26%	Dif. TC-TV70 +26%	TV90+44%	Dif. TC-TV90 +44%
Concentració dipòsit (mg/L)	3.000	3.780	+26,00%	4.320	+44,00%
Dosi aplicada esquerra (g/ha)	719	494	-31,30%	476	-33,71%
Dosi aplicada dreta (g/ha)	701	512	-26,87%	531	-24,22%
Dosi aplicada total (g/ha)	1.419	1.006	-29,11%	1.007	-29,03%

### 8.3.2.6 Anàlisi de l'eficiència d'aplicació i les pèrdues dels tractaments

A la Taula 8.23 es mostren els valors d'eficiència d'aplicació en funció del valor d'índex d'àrea foliar i de les pèrdues de traçador a terra relatives en cada tractament. Com es pot apreciar, l'eficiència d'aplicació dels tractaments variables augmenta a mesura que el prototipus és menys restrictiu en l'aplicació de cabals, arribant a ser més del doble que la convencional en el tractament TV50. A la Figura 8.29 es representa la distribució relativa del traçador total aplicat en un rang de valors d'IAF en el que es troba el de la plantació assajada.

**Taula 8.23.-** Valors d'eficiències d'aplicació i pèrdues relatives obtinguts en els tractaments convencional i variables a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002.

	TC	TV50	TV70	TV90
$\epsilon_{ap}$ (adimensional)	0,095-IAF	0,149-IAF	0,128-IAF	0,118-IAF
$\Delta\epsilon_{ap}$ respecte a TC		+57,13%	+35,03%	+25,04%
Pèrdues a terra relatives (adim.)	0,050	0,074	0,069	0,098
$\Delta$ Pèrdues a terra respecte a TC		+46,85%	+37,01%	+96,57%
Pèrdues per deriva relatives (adim.)	0,950-0,095-IAF	0,926-0,149-IAF	0,931-0,128-IAF	0,902-0,118-IAF
$\Delta$ Pèrdues per deriva respecte a TC		-17,31% a -34,41%	-11,16% a -21,77%	-12,59% a -21,24%
Pèrdues totals relatives (adim.)	1-0,095-IAF	1-0,149-IAF	1-0,128-IAF	1-0,118-IAF
$\Delta$ Pèrdues totals respecte a TC		-5,85% a -12,41%	-8,18% a -17,36%	-13,35% a -28,32%



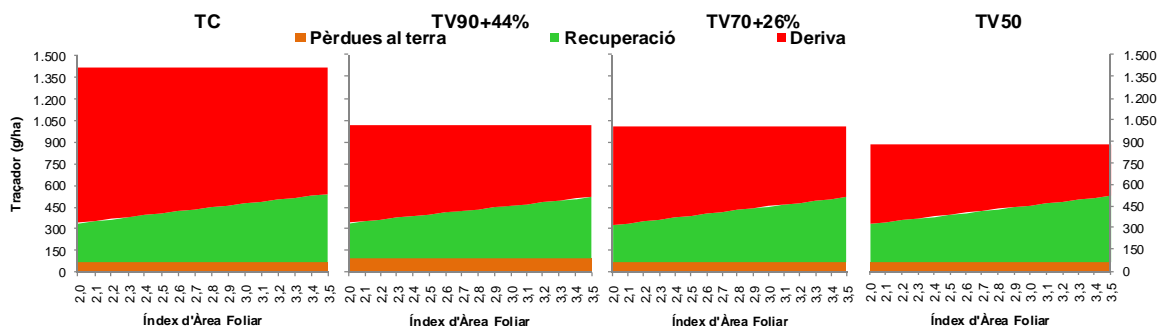
**Figura 8.29.-** Gràfiques de la distribució relativa del traçador aplicat en el tractament convencional (TC) i en els successius tractaments variables (TV90, TV70 i TV50) a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002.

Tanmateix, els tractaments variables apliquen quantitats de traçador menors que el tractament convencional en termes absoluts. Les quantitats de traçador recollides a les fulles, en funció de l'IAF, i als col·lectors artificials del terra a l'assaig realitzat es mostren a la Taula 8.24.

**Taula 8.24.-** Valors de recuperació i pèrdues absolutes obtinguts en els tractaments convencional i variable a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002.

	TC	TV50	TV70+26%	TV90+44%
<b>Recuperació (g/ha)</b>	134,41·IAF	130,48·IAF	128,65·IAF	119,28·IAF
<b>ΔRecuperació respecte a TC</b>		-2,93%	-4,28%	-11,26%
<b>Pèrdues a terra (g/ha)</b>	71,07	64,48	69,03	99,16
<b>ΔPèrdues a terra respecte a TC</b>		-9,28%	-2,87%	+39,52%
<b>Pèrdues per deriva (g/ha)</b>	1.347,93- 134,41·IAF	812,52- 130,48·IAF	936,97- 128,65·IAF	907,84- 119,28·IAF
<b>ΔPèrdues per deriva respecte a TC</b>		-48,92% a -59,48%	-37,02% a -44,54%	-37,96% a -44,10%
<b>Pèrdues per deriva (g/ha)</b>	1.419-134,41·IAF	877-130,48·IAF	1.006-128,65·IAF	1.007-119,28·IAF
<b>ΔPèrdues per deriva respecte a TC</b>		-46,47% a -55,72%	-34,91% a -41,42%	-33,18% a -37,84%

Tots els tractaments variables comporten una reducció de la fracció de traçador dipositat en la capçada sense que això comporti una disminució de la qualitat del tractament. Tanmateix, la reducció més important es la que es dona en les pèrdues per deriva, tal com s'aprecia a la Figura 8.30.



**Figura 8.30.-** Gràfiques de la distribució absoluta del traçador aplicat en el tractament convencional (TC) i en els successius tractaments variables (TV90+44%, TV70+26% i TV50) a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 1 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Golden Delicious' l'any 2002.

### 8.3.3 ASSAIG 3 realitzat a la cultivar 'Conference' l'any 2005

L'assaig que es comenta en aquest apartat correspon al realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2005. Aquest assaig ha consistit en comparar el resultat de tractament convencional (TC) amb els dels tractaments variables TV35 i TV40.

#### 8.3.3.1 Dades meteorològiques

Les dades meteorològiques enregistrades durant l'assaig mostren petites diferències entre els tres tractaments (Taula 8.25). Malgrat que les diferències de temperatura, humitat relativa i velocitat i direcció del vent poden haver introduït una certa variabilitat addicional a l'assaig, es considera que no han d'alterar la comparació dels tractaments.

**Taula 8.25.-** Dades meteorològiques obtingudes durant l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2005.

TRACTAMENT	PARÀMETRE	TEMPERATURA (°C)	HUMITAT RELATIVA (%)	VELOCITAT DEL VENT (m/s)	DIRECCIÓ DEL VENT (°)*
VARIABLE TV35	Mitjana	21,23	68,87	1,63	113
	Màxim	21,48	72,20	3,21	158
	mínim	21,04	66,72	0,35	51
CONVENCIONAL	Mitjana	22,32	66,17	0,56	152
	Màxim	22,81	69,17	1,51	263
	mínim	21,82	63,42	0,02	34
VARIABLE TV40	Mitjana	22,56	67,65	1,04	101
	Màxim	22,88	69,63	2,10	154
	mínim	22,30	64,75	0,06	20

\* La direcció del vent es considera respecte l'orientació de l'eix de la fila.

#### 8.3.3.2 Anàlisi de la capçada i dels volums aplicats

Les mesures de la capçada indiquen diferències significatives entre els semivolums dels dos costats de la fila tractada fet que ha generat una resposta diferenciada del prototipus (Taula 8.26).

**Taula 8.26.-** Volums de capçada i característiques de les aplicacions realitzades en els tractaments convencional (TC) i variables (TV35 i TV40) de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2005.

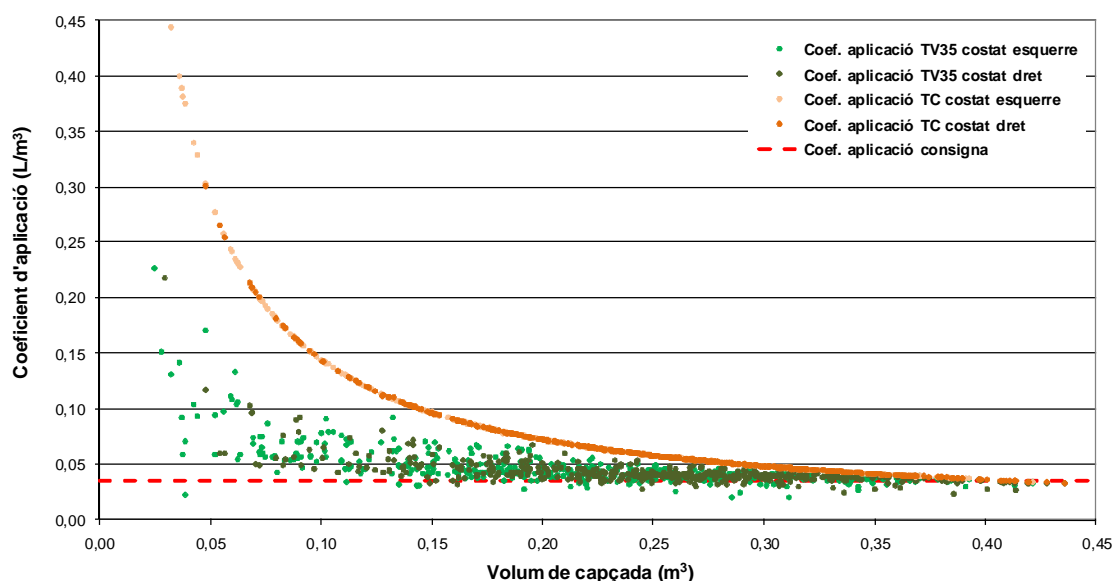
PARÀMETRE	TC	TV35	Dif. TC-TV35	TV40	Dif. TC-TV40
Volum de capçada esquerre (m <sup>3</sup> )			105,75 b		
Volum de capçada dret (m <sup>3</sup> )			120,27 a		
<b>Volum total de capçada (m<sup>3</sup>)</b>			<b>226,01</b>		
Volum aplicat esquerra (L)	7,22	4,63	-35,87%	4,76	-34,09%
Volum aplicat dret (L)	7,22	5,11	-29,21%	5,12	-29,08%
<b>Volum total aplicat (L)</b>	<b>14,44</b>	<b>9,74</b>	<b>-32,54%</b>	<b>9,88</b>	<b>-31,59%</b>
Volum d'aplicació unitari esquerre (L/ha)	361	231		238	
Volum d'aplicació unitari dret (L/ha)	361	256		256	
<b>Volum d'aplicació unitari total (L/ha)</b>	<b>722</b>	<b>487</b>		<b>494</b>	
Coef. aplicació esquerra (L/m <sup>3</sup> )	0,068	0,043		0,045	
Coef. aplicació dret (L/m <sup>3</sup> )	0,060	0,040		0,043	
<b>Coef. aplicació total (L/m<sup>3</sup>)</b>	<b>0,064</b>	<b>0,041</b>		<b>0,044</b>	

\* Lletres diferents impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.



Mentre en el tractament convencional el polvoritzador ha aplicat el mateix volum de brou a ambdós costats de la fila, els dos tractaments variables han aplicat quantitats diferents de manera directament proporcional a la quantitat de vegetació estimada. Tot i que els dos tractaments han basat les seves aplicacions en coeficients d'aplicació consigna diferents, d'acord amb el Mètode 2 de dosificació variable en temps real, els volums aplicats presenten poques diferències. La consigna del tractament TV35 era un 12,5% menor que la del tractament TV40 però els coeficients obtinguts en el primer només han estat un 6,82% menors de mitjana. Aquest fet es podria atribuir a la manca de repetibilitat de les mesures electròniques de la capçada si no es realitzen amb un sistema d'ajut al guiatge que ajudi el conductor a passar exactament pel centre del carrer en tots els tractaments.

Analizant els coeficients d'aplicació mitjans resultants, s'observa que tant un tractament com l'altre presenten coeficients majors als de consigna. Tanmateix això s'explica per la sobredosificació de seguretat que es realitza en volums de capçada petits per a garantir una correcta formació del raig de polvorització als broquets (Figura 7.37). Tot i això, els coeficients d'aplicació mitjans aconseguits són entre un 31% i un 36% menors que els del tractament convencional. A la Figura 8.31 i a la Figura 8.32 s'observen els diagrames de dispersió dels coeficients d'aplicació instantanis de cada tractament en funció dels semivolums de capçada estimats electrònicament.

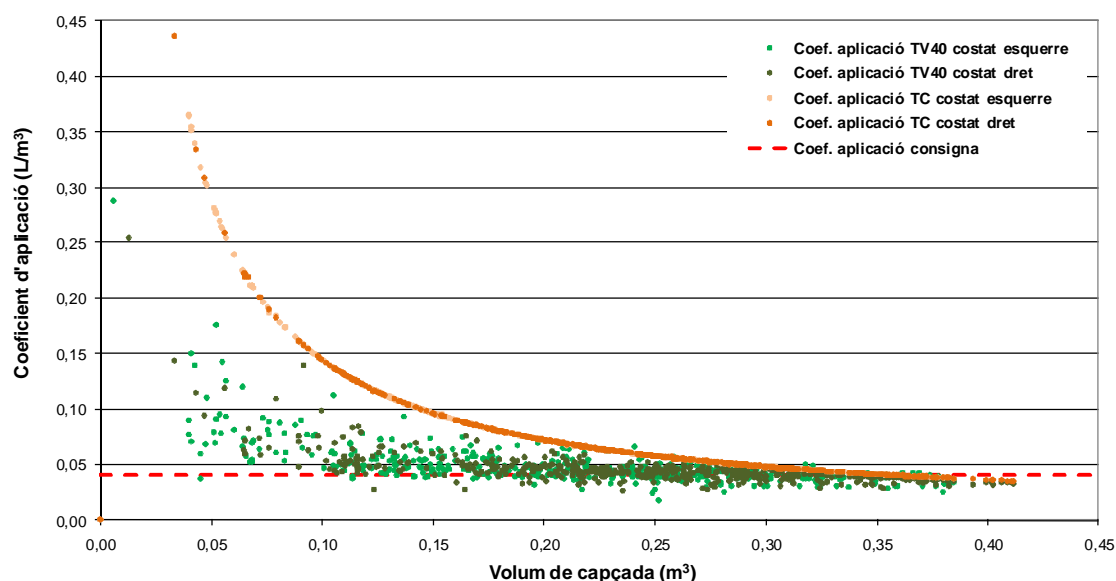


**Figura 8.31.-** Diagrama de dispersió dels coeficients d'aplicació aconseguits en els tractaments convencional TC i variable TV35 en funció del volum de capçada estimat a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2005. La línia roja discontinua representa el coeficient d'aplicació consigna.

En el cas del tractament TV35 (Figura 8.31), s'aprecia que els coeficients d'aplicació resten molt més pròxims al coeficient de consigna que el tractament convencional fins, aproximadament, els 0,15 m<sup>3</sup> de semivolum de capçada. En el cas de polvorització de volums menors, els coeficients difereixen en major mesura de la consigna pel sobrecabal de seguretat descrit anteriorment. Els coeficients d'aplicació corresponents al tractament convencional tan sols s'aproximen a la consigna en els casos de màxima vegetació. Els tractaments convencionals estan dissenyats per a dosificar correctament les zones més desfavorables (amb major volum de vegetació) i, en conseqüència, sobredosifiquen en la resta de situacions. El tractament variable, en canvi, aconsegueix reduir les zones sobredosificades i confinar-les a volums de capçada menors, per qüestions de seguretat i eficàcia del tractament. Tanmateix, en el tractament TV40 hi ha un cert

nombre d'observacions que queden per sota del valor de consigna. A la Taula 8.27 es mostren els resultats de l'anàlisi de freqüències realitzat amb les tres mostres de coeficients d'aplicació corresponents als tractaments convencional, al tractament variable TV35 i al tractament variable TV40. Els coeficients d'aplicació menors que la consigna són l'11,30% del total de coeficients instantanis tot i que aquest percentatge es redueix al 3,20% o fins al 0,60% si considerem un marge de seguretat del 10% o del 25% en la consigna, respectivament. Aquest fet podria indicar que les electrovàlvules treballen amb cabals propers al seu màxim i podria ser que en algun punt de la capçada no es pogués aplicar el volum necessari. D'altra banda, cal ressaltar que el tractament convencional obté percentatges molt elevats de coeficients d'aplicació per sobre del 150% i dels 200% de la consigna. El tractament TC manté una sobredosificació considerable.

En referència a la comparació entre el tractament convencional i el tractament variable TV40 (Figura 8.32), el comportament és similar al cas anterior en termes de coeficient d'aplicació. En aquesta ocasió, però, l'increment de la consigna del tractament variable no ha comportat un augment proporcional dels coeficients d'aplicació instantanis obtinguts: el 27,90% han quedat per sota del valor desitjat. Tanmateix aquest percentatge es redueix al 10,50% o fins al 1,90% en cas de considerar un marge de seguretat del 10% o 25% de la consigna. Igual que en l'anàlisi anterior, s'ha arribat a la conclusió que una majoració de la consigna introduïda al dispositiu de regulació de l'equip variable podria solucionar aquest problema.

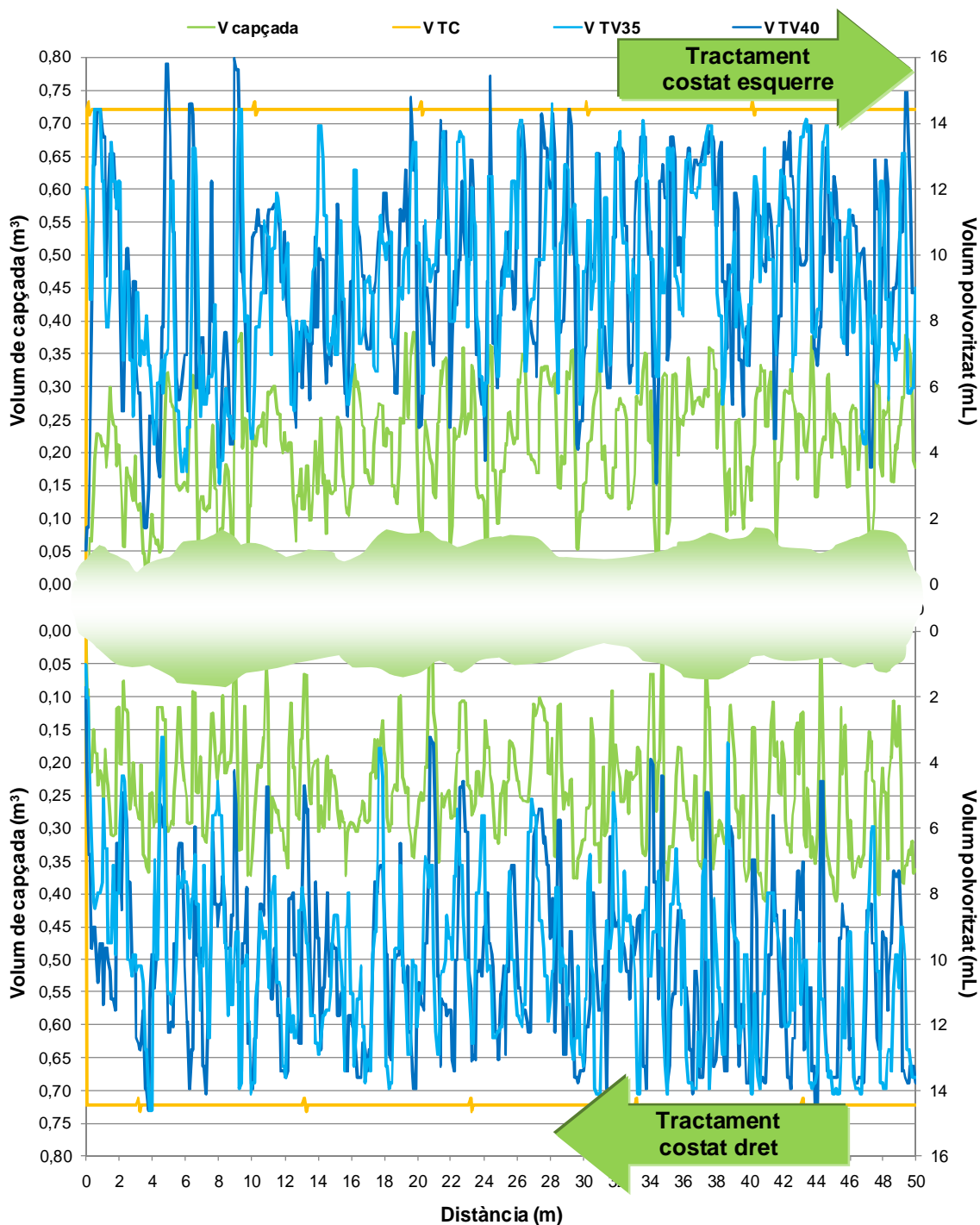


**Figura 8.32.-** Diagrama de dispersió dels coeficients d'aplicació aconseguits en els tractaments convencional TC i variable TV40 en funció del volum de capçada estimat a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2005. La línia roja discontinua representa el coeficient d'aplicació consigna.

**Taula 8.27.-** Freqüències relatives acumulades de les mostres de coeficients d'aplicació obtingudes en els tractaments convencional (TC) i variables (TV35 i TV40) a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2005.

Tractament	TV35	TC	TV40	TC
Consigna	0,035 L/m <sup>3</sup>		0,040 L/m <sup>3</sup>	
Mostres inferiors a la consigna	11,30%	0,90%	27,90%	4,90%
Mostres inferiors al 90% de la consigna	3,20%	0,00%	10,50%	0,60%
Mostres inferiors al 75% de la consigna	0,60%	0,00%	1,90%	0,00%
Mostres superiors al 150% de la consigna	16,00%	65,80%	12,00%	53,30%
Mostres superiors al 200% de la consigna	5,20%	36,80%	4,10%	30,30%

A la Figura 8.33 s'observa el diagrama on es representen els semivolums de vegetació dels dos costats de la fila així com els volums polvoritzats en cada tractament. S'observa que les corbes de volum polvoritzat dels tractaments TV35 i TV40 pràcticament són coincidents degut a la poca diferència que s'ha donat entre ells. Tanmateix, la tendència és que totes dues són directament proporcionals tant a la microvariabilitat com a la macrovariabilitat de la corba de volums de capçada.



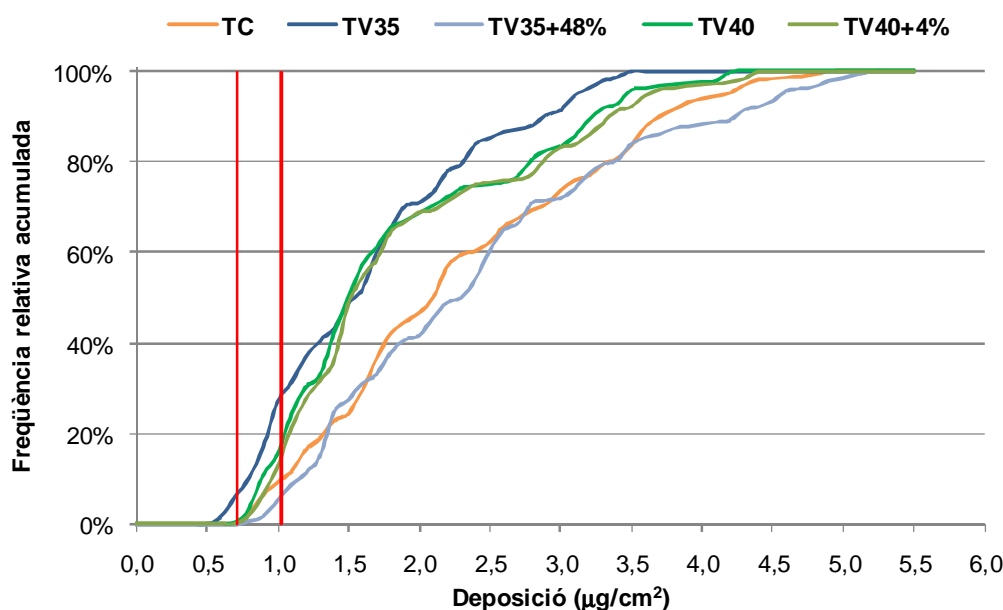
**Figura 8.33.-** Diagrames de dispersió dels volums de capçada i dels volums polvoritzats en el tram de fila on es realitza l'assaig amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2005.

### 8.3.3.3 Anàlisi de la deposició foliar

L'anàlisi dels volums aplicats indica una reducció considerable del volum de brou aplicat. En aquest apartat s'analiza la deposició foliar aconseguida en els tractaments realitzats i es comprova que la reducció del brou aplicat amb dosificació variable no representi una disminució de la qualitat respecte del tractament convencional. A la Taula 8.28 i a la Figura 8.34 es pot apreciar que totes les deposicions aconseguides en el tractament TC estan per sobre del llindar inferior de la deposició òptima. Per tal que als tractaments variables succeeixi el mateix, cal incrementar virtualment la concentració de brou al dipòsit en un 48% en el cas del tractament TV35 i en tan sols un 4% en el cas del tractament TV40. La necessitat d'incrementar en un 48% la concentració del brou al tractament TV35 respon a la presència de mostres individuals de fulles amb deposicions aproximadament un 31% inferiors a la deposició òptima mínima. Aquest fet podria ser degut a la disminució del cabal pulveritzat que implica tractar amb un coeficient d'aplicació consigna de 0,035 L/m<sup>3</sup> en comptes d'un de 0,040 L/m<sup>3</sup>. Si bé els volums mitjans aplicats no difereixen massa entre ells podria ser que aquesta reducció del coeficient d'aplicació comportés el risc d'aconseguir deposicions individuals massa reduïdes. Després de la majoració, el tractament que aconseguix un major nombre de deposicions dins l'interval òptim és el tractament TV40+4%, seguit dels tractaments TC i TV35+48%.

**Taula 8.28.-** Percentils i freqüències relatives acumulades de les mostres de deposició foliar dels tractaments convencional (TC), variables (TV35 i TV40) i variables majorats (TV35+48% i TV40+4%) a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2005.

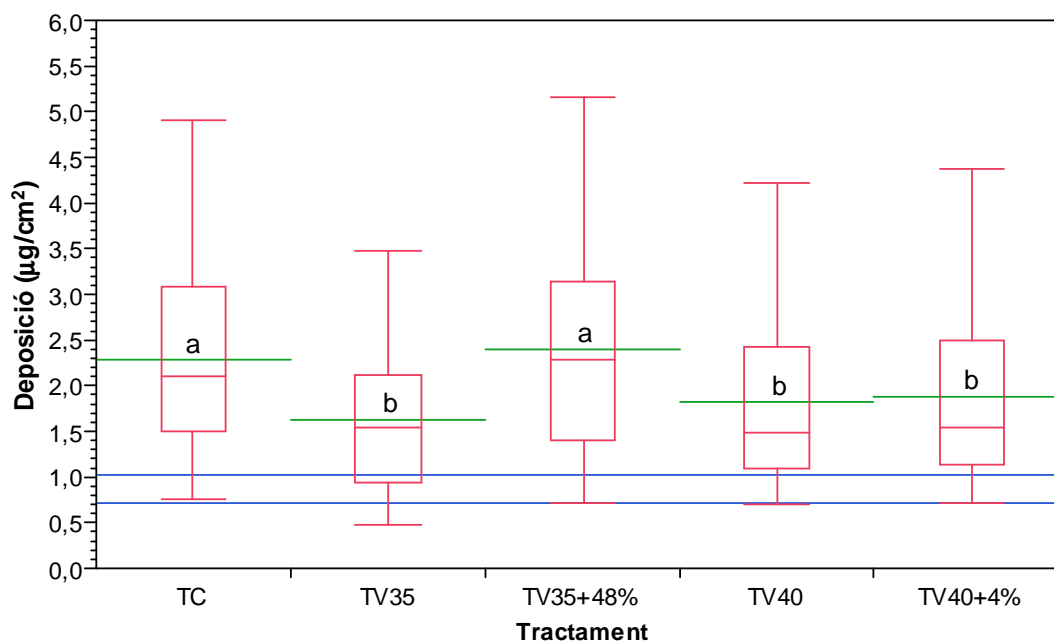
Tractament	TC	TV35	TV35+48%	TV40	TV40+4%
Percentil corresponent a 100 gotes/cm <sup>2</sup>	9,50%	27,60%	5,70%	18,50%	13,60%
Percentil corresponent a 70 gotes/cm <sup>2</sup>	0,00%	6,80%	0,00%	0,40%	0,00%
Deposicions dins l'interval òptim	9,50%	20,80%	5,70%	18,10%	13,60%
Deposicions majors que l'òptima	90,50%	72,40%	94,30%	81,50%	86,40%
Deposicions menors que l'òptima	0,00%	6,80%	0,00%	0,40%	0,00%



**Figura 8.34.-** Freqüències relatives acumulades de les deposicions corresponents als tractaments de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2005. Les línies roges verticals representen les deposicions òptimes mínima i màxima.

A la representació gràfica de les freqüències relatives acumulades de cada tractament, s'aprecia que el tractament TV35 resulta ser el més afectat després de la majoració mentre que el tractament TV40+4% difereix poc del TV40. Aquest presenta un pendent més pronunciat a la zona de deposicions òptimes i, per tant, té més bon comportament que el tractament TC.

Les mostres de deposicions obtingudes es representen en diagrames de caixa a la Figura 8.35. S'observa que el tractament convencional i el tractament TV35+48% presenten mitjanes equivalents i major dispersió de les deposicions que la resta.

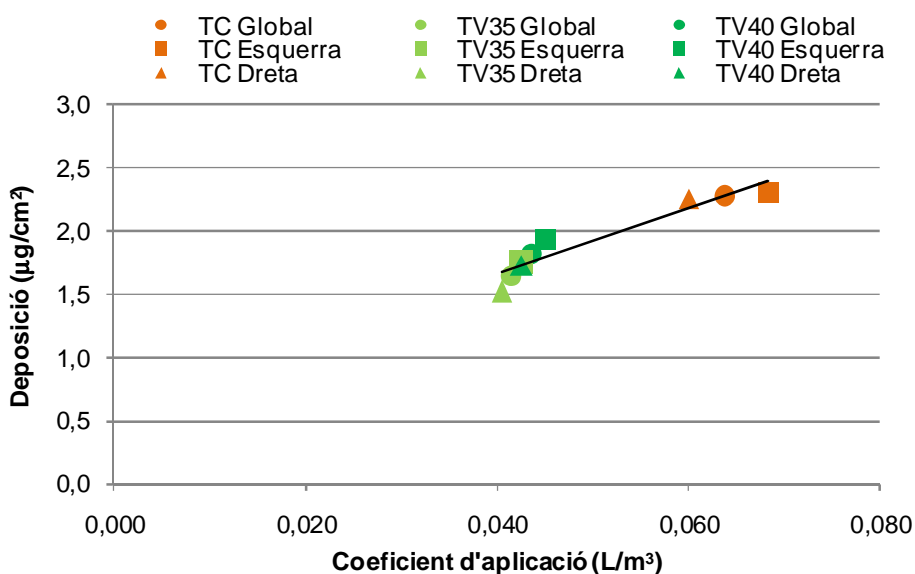


**Figura 8.35.-** Diagrames de caixa de les mostres de deposició foliar obtingudes a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2005. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les barres delimiten la zona de deposició òptima. Lletres diferents impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.

A la representació gràfica de les deposicions mitjanes en funció dels coeficients d'aplicació de la Figura 8.36 s'aprecia que hi ha una certa correlació entre les dues variables. Tot i que hi ha poques diferències, les deposicions aconseguïdes amb el tractament TV40 són superiors a les del TV35. Malgrat que el model de regressió lineal simple retorni un coeficient de determinació elevat, les dades estan molt estructurades en dos blocs i sembla que la correlació entre dades dels tractaments variables segueixi una tendència diferent a la de les dades del tractament convencional.

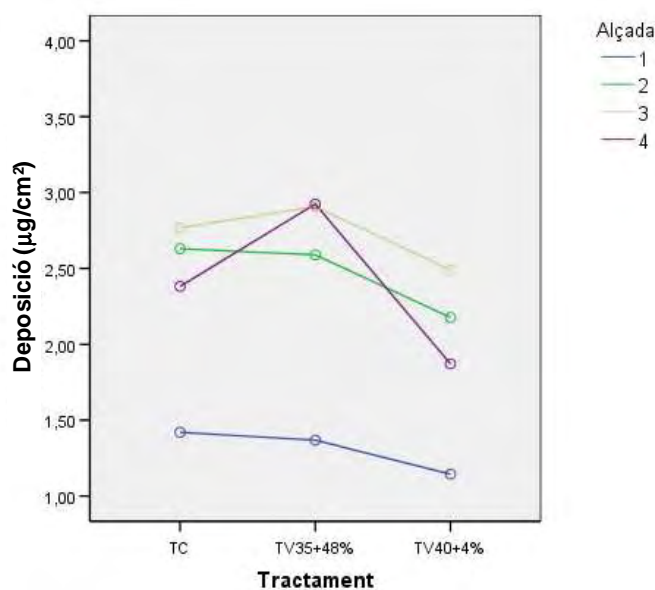
### 8.3.3.3.1 Anàlisi de la variància del conjunt de mostres de deposició foliar

El resultat de la prova d'anàlisi de la variància de les mostres de deposició de tots els tractaments indica que els efectes dels factors principals *Tractament*, *Costat*, *Alçada* i *Profunditat* són significatius. De la mateixa manera, esdevenen significatius els efectes de les interaccions del factor *Alçada* amb els factors *Tractament*, *Costat*, *Zona* i *Profunditat* així com el de la interacció entre *Zona* i *Profunditat*. Com en els casos anteriors, aquesta anàlisi només té com a finalitat detectar diferències entre les mitjanes de deposició dels diferents tractaments i la identificació d'interaccions negatives atribuïbles als tractaments variables.



**Figura 8.36.-** Diagrama de dispersió de les deposicions foliars en funció dels coeficients d'aplicació a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2005. El coeficient de determinació del model de regressió lineal simple ajustat és  $R^2=0,91$ .

A diferència dels dos assajos anteriors, el factor *Alçada* s'ha estudiat en quatre casos diferents per tal de representar amb més detall el que succeeix en la capçada en els diferents tractaments. A la Figura 8.37 s'observa que, per algun motiu, el comportament del tractament TV35+48% en l'*Alçada* 4 és diferent a la resta de tractaments. Aquesta és la raó per la qual la prova d'anàlisi de la variància considera significatiu l'efecte de la interacció dels factors *Tractament* i *Alçada*. A continuació s'estudiaran els tres tractaments per separat amb sengles proves d'anàlisi de la variància.



**Figura 8.37.-** Deposicions mitjanes obtingudes en cada *Alçada* de mostreig en cadascun dels tractaments de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2005.

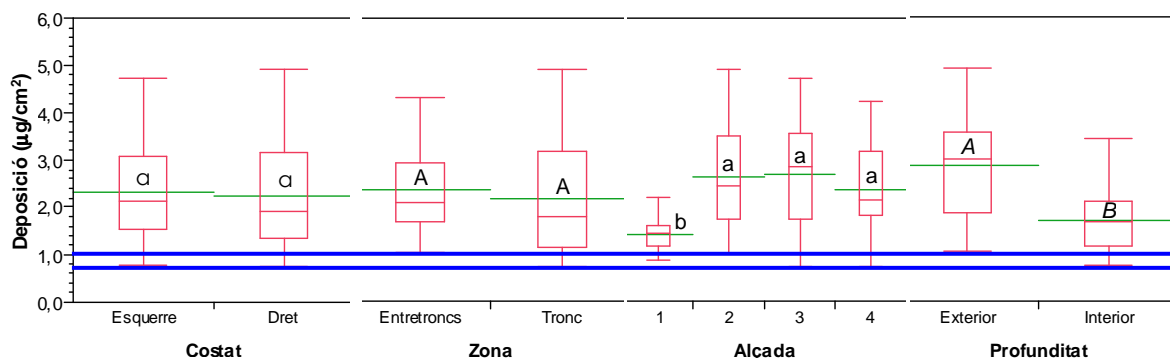
### 8.3.3.3.2 Anàlisi de la variància de les deposicions foliar del tractament TC

La prova d'anàlisi de la variància realitzada a la mostra de deposicions del tractament convencional posa de manifest l'efecte significatiu dels factors principals *Alçada* i *Profunditat* (Taula 8.29). Els resultats obtinguts en funció del factor *Costat* i del factor *Zona* són equivalents en termes de deposicions mitjanes aconseguides (Figura 8.38).

**Taula 8.29.-** Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzada a les mostres de deposició foliar del tractament convencional de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2005.

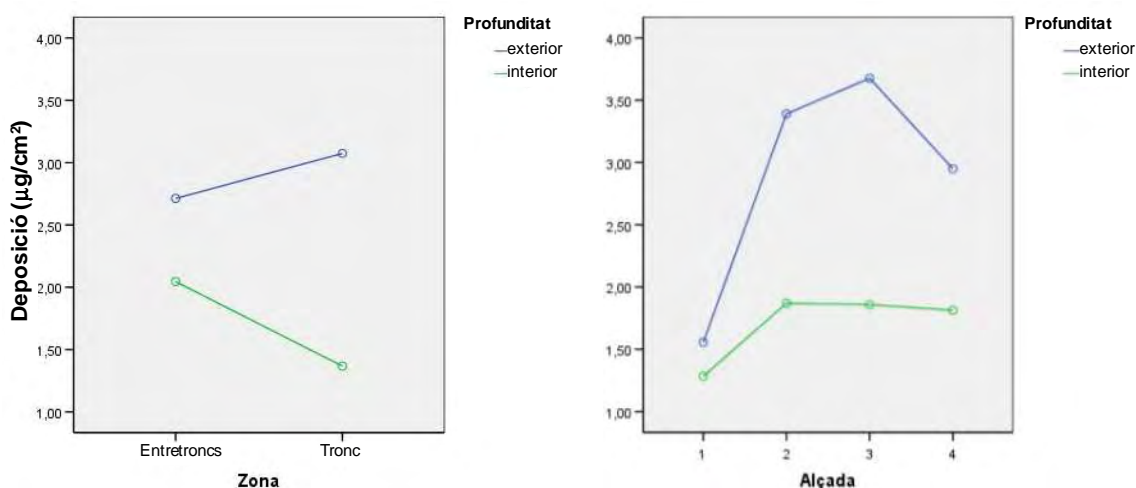
Factors	Valor-p <sup>1</sup>
Model	0,000
Intersecció	0,000
<i>Costat</i>	0,454
<i>Zona</i>	0,201
<i>Alçada</i>	0,000
<i>Profunditat</i>	0,000
<i>Costat</i> * <i>Zona</i>	0,841
<i>Costat</i> * <i>Alçada</i>	0,764
<i>Zona</i> * <i>Alçada</i>	0,852
<i>Costat</i> * <i>Profunditat</i>	0,500
<i>Zona</i> * <i>Profunditat</i>	0,000
<i>Alçada</i> * <i>Profunditat</i>	0,000

<sup>1</sup> Valors-p per sota el nivell de significació ( $\alpha=0,05$ ) impliquen significació del factor o interacció.



**Figura 8.38.-** Diagrames de caixa de les mostres de deposició foliar obtingudes en el tractament convencional de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2005. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les blaves delimiten la zona de deposició òptima. Lletres diferents amb el mateix estil impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$ .

En referència a les interaccions entre els factors, n'hi ha dues que presenten efectes significatius: la que es dona entre els factors *Zona* i *Profunditat* i la que es dona entre els factors *Alçada* i *Profunditat*. D'acord amb el que es mostra a la Figura 8.39, la primera interacció té certa coherència (Figura 8.39 esquerra). Les Zones *Entretroncs* són zones amb menys vegetació que les Zones *Tronc*; això implica que quan es polvoritza la mateixa quantitat de brou a la Zona *Entretroncs* hi ha més quantitat de producte que aconseguix penetrar la capçada i dipositar-se en la Profunditat interior. A la Zona *Tronc*, en canvi, la Profunditat exterior reté més traçador i evita que aquest arribi en la mateixa mesura a la Profunditat interior. La segona interacció (Figura 8.39 dreta) indica que la relació entre deposicions a la Profunditat exterior i a la interior no es manté constant en cada alçada. Es pot observar que a l'Alçada 1 i a l'Alçada 4 hi ha menys diferència entre les dues Profunditats que a les Alçades centrals. Donat que les Alçades extremes presenten menys vegetació que les centrals, es dona un cas similar a la interacció anterior: quanta més vegetació té una capçada, més diferència hi haurà entre la deposició interior i l'exterior.



**Figura 8.39.-** Deposicions mitjanes obtingudes a diferents Profunditats de mostratge segons els diferents valors dels factors *Zona* (esquerra) i *Alçada* (dreta) en el tractament convencional de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2005.

### 8.3.3.3 Anàlisi de la variància de les deposicions foliars del tractament TV35+48%

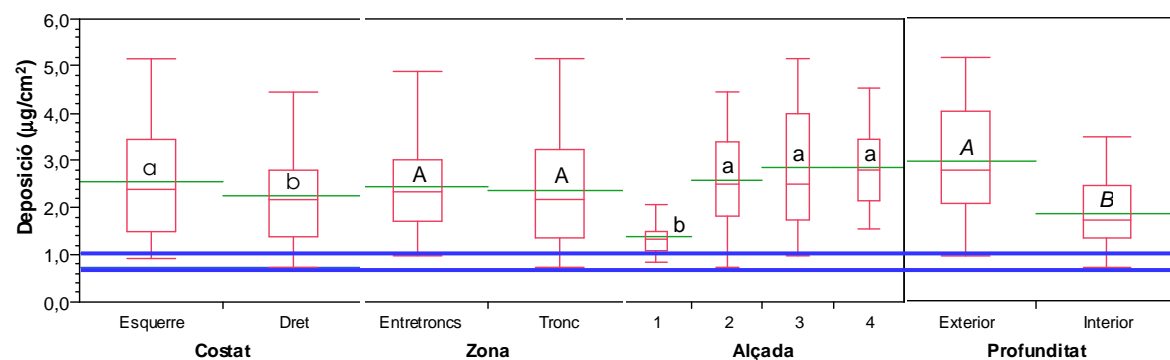
La prova d'anàlisi de la variància del tractament variable TV35+48% indica que, en general, el tractament TV35+48% és menys satisfactori que el tractament convencional TC des del punt de vista de la separació de mitjanes. Els diferents valors-*p* dels factors principals i de les seves interaccions indiquen els mateixos efectes significatius que el tractament TC (*Alçada* i *Profunditat*) a més del corresponent al factor *Costat* (Taula 8.30). A la Figura 8.40 es pot observar que la deposició mitjana del *Costat Esquerre* de la fila és significativament major que la del *Costat Dret*. A la Taula 8.26 s'indica que el costat que ha presentat major semivolum de capçada ha estat el dret. El prototipus Fluxpro 2 no ha aconseguit reduir la quantitat de traçador aplicada a les zones de menor volum de capçada. Tanmateix sí que ha estat possible disminuir la deposició a les zones de més vegetació sense comprometre la qualitat del tractament.

**Taula 8.30.-** Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzada a les mostres de deposició foliar del tractament amb dosificació variable TV35+48% de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2005.

Factors	Valor- <i>p</i> <sup>1</sup>
Model	0,000
Intersecció	0,000
<i>Costat</i>	0,006
<i>Zona</i>	0,649
<i>Alçada</i>	0,000
<i>Profunditat</i>	0,000
<i>Costat</i> * <i>Zona</i>	0,735
<i>Costat</i> * <i>Alçada</i>	0,255
<i>Zona</i> * <i>Alçada</i>	0,045
<i>Costat</i> * <i>Profunditat</i>	0,276
<i>Zona</i> * <i>Profunditat</i>	0,006
<i>Alçada</i> * <i>Profunditat</i>	0,000

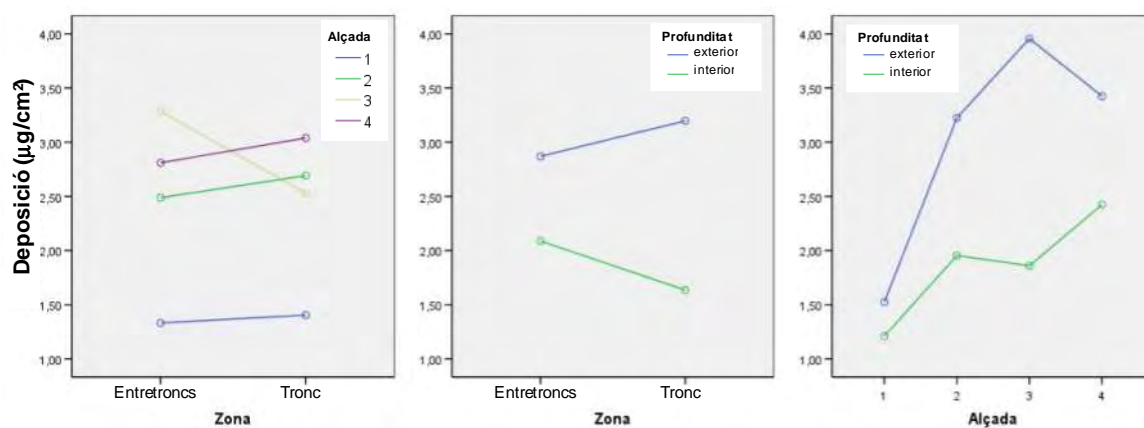
<sup>1</sup> Valors-*p* per sota el nivell de significació ( $\alpha=0,05$ ) impliquen significació del factor o interacció.





**Figura 8.40.-** Diagrames de caixa de les mostres de deposició foliar obtingudes en el tractament variable TV/35+48% de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2005. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les claus delimiten la zona de deposició òptima. Lletres diferents amb el mateix estil impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$ .

En referència a les interaccions entre factors, les que presenten un efecte significatiu sobre les deposicions són les mateixes que en tractament convencional més la que es dona entre els factors *Zona* i *Alçada*. A la Figura 8.41 s'observa que les interaccions amb el factor *Profunditat* tenen un comportament similar a les del tractament TC i, per tant, la mateixa justificació. Pel que fa a la interacció entre *Zona* i *Alçada*, el comportament de la deposició a l'Alçada 3 no segueix el comportament de les altres alçades sense tenir un motiu que expliqui aquest fenomen.



**Figura 8.41.-** Deposicions mitjanes obtingudes a diferents Alçades i Profunditats de mostratge segons els diferents valors dels factors *Zona* (esquerra i centre) i *Alçada* (dreta) en el tractament convencional de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2005.

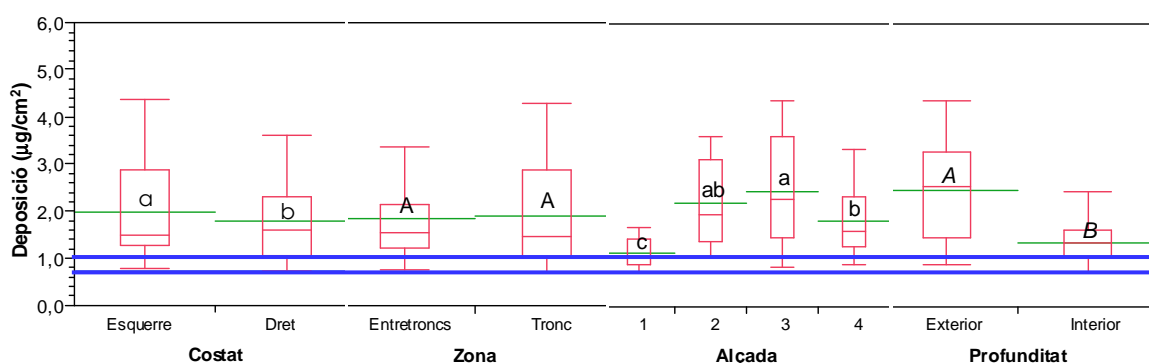
### 8.3.3.3.4 Anàlisi de la variància de les deposicions foliars del tractament TV40+4%

Els resultats de la prova d'anàlisi de la variància del tractament TV40+4% són pràcticament els mateixos que els obtinguts en el tractament TV35+48% (Taula 8.31). A la Figura 8.42 s'observa que la deposició mitjana de l'Alçada 4 disminueix respecte els altres tractaments i es situa entre la de les Zones centrals i la de la Zona inferior.

**Taula 8.31.-** Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzada a les mostres de deposició foliar del tractament amb dosificació variable TV40+4% de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2005.

Factors	Valor-p <sup>1</sup>
Model	0,000
Intersecció	0,000
Costat	0,009
Zona	0,410
Alçada	0,000
Profunditat	0,000
Costat * Zona	0,423
Costat * Alçada	0,051
Zona * Alçada	0,004
Costat * Profunditat	0,561
Zona * Profunditat	0,000
Alçada * Profunditat	0,000

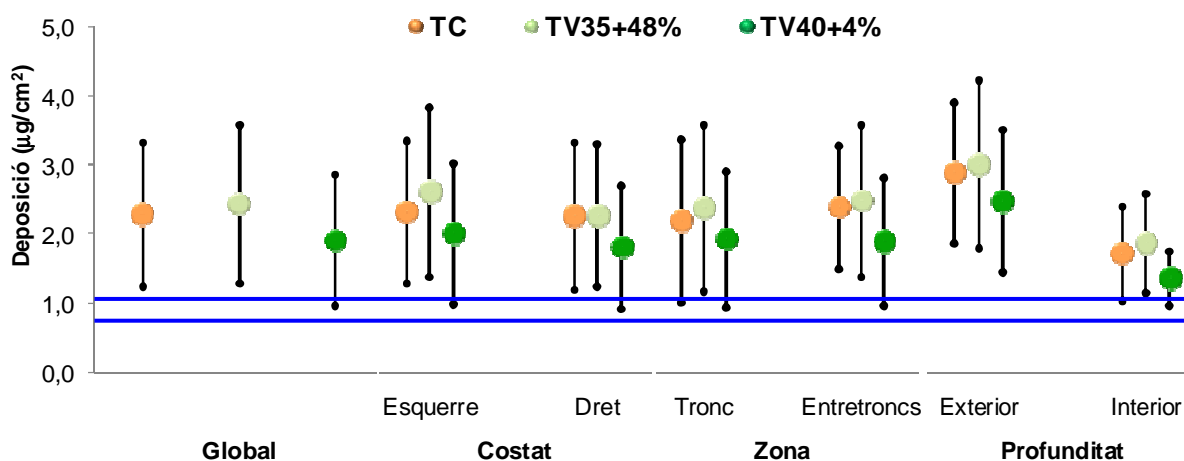
<sup>1</sup> Valors-p per sota el nivell de significació ( $\alpha=0,05$ ) impliquen significació del factor o interacció.



**Figura 8.42.-** Diagrames de caixa de les mostres de deposició foliar obtingudes en el tractament variable TV40+4% de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2005. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les línies blaves delimiten la zona de deposició òptima. Lletres diferents amb el mateix estil impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$ .

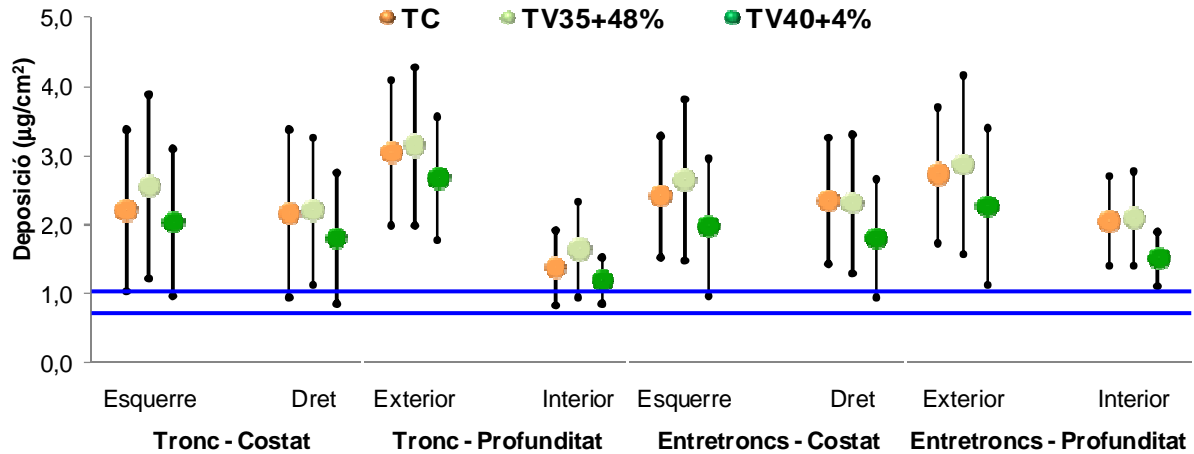
### 8.3.3.3.5 Resum gràfic de la deposició foliar

Com a resum de les anàlisis de les deposicions foliar es presenta la Figura 8.43. En ella es representen les deposicions mitjanes i les desviacions estàndard corresponents al tractament convencional i als tractaments variables majorats. Els valors mostrats corresponen a les deposicions mitjanes globals (Figura 8.43 esquerra) i a les deposicions mitjanes parcials en funció dels diferents factors estudiats. Com es pot observar, el tractament TV35, que necessita una majoració del 48% de la concentració de brou, aconsegueix unes deposicions excessives en tots els casos. El fet que el tractament TV40 només requereixi una majoració del 4% fa que les deposicions continuïn essent menors que les dels tractament TC assolint una eficàcia teòrica equivalent. A nivell global, el tractament que ha presentat menys dispersió de les seves deposicions ha estat el tractament variable TV40+4%. El tractament variable TV35 també presentava una desviació estàndard menor al tractament convencional però la majoració de les deposicions ha invertit el resultat.



**Figura 8.43.-** Gràfiques de deposicions foliar globals mitjanes (esquerra) i de les mitjanes parcials en funció dels factors *Zona*, *Costat* i *Profunditat* (dreta) aconseguides amb el tractament convencional (TC) i els tractaments variables majorats (TV35+48% i TV40+4%) realitzats amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2005. Les barres negres indiquen la desviació estàndard de cada mostra. Les línies blaves delimiten la zona de deposició òptima.

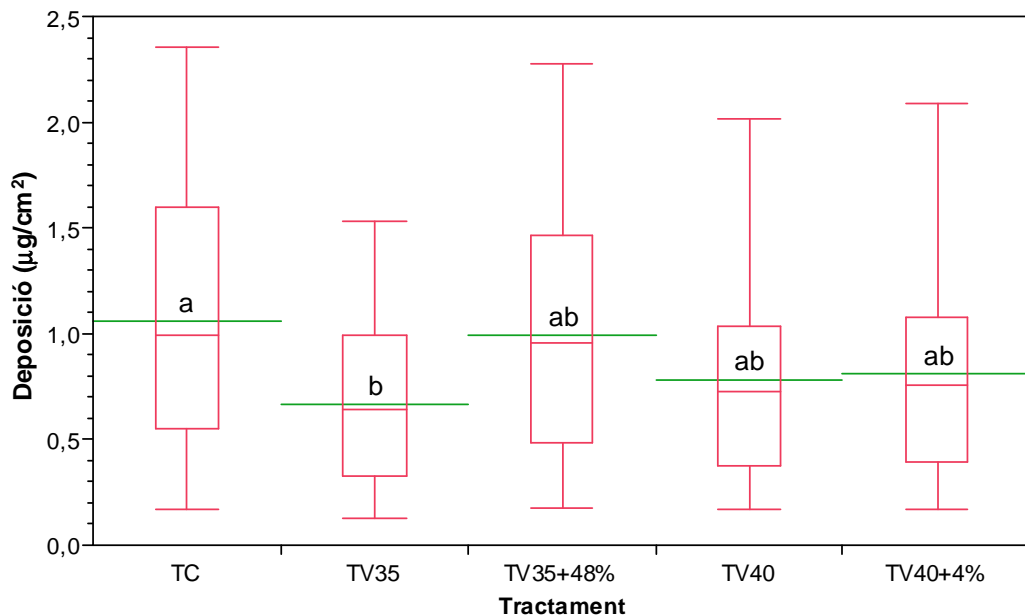
Una representació gràfica més detallada del que succeeix a les dues Zones estudiades (tronc i entretroncs) és la que s'observa a la Figura 8.44. Les dues gràfiques de l'esquerra mostren l'ocorregut a la *Zona Tronc* mentre que les altres dues representen la *Zona Entretroncs*. Tot i que les mitjanes obtingudes als *Costats Dret* i *Esquerre* de fila haurien de ser similars, el tractament TV40+4% aconsegueix una reducció de la deposició a les zones de més volum de vegetació (*Costat Dret*) però no al *Costat* amb menys vegetació (*Costat Esquerre*). Aquest fet es dona tant a la *Zona Tronc* com a la *Zona Entretroncs*. S'observa també que mentre el tractament TC diposita més traçador en ambdós costats de la fila a la *Zona Entretroncs*, el tractament TV40+4% manté les deposicions similars a les obtingudes a la *Zona Tronc*. En totes les situacions, el tractament que més s'aproxima a la zona de les deposicions òptimes és el tractament variable TV40+4% i, en la majoria de situacions, és també el que presenta menys variabilitat en les deposicions.



**Figura 8.44.-** Gràfiques de deposicions foliars mitjanes parcials a la Zona Tronc (esquerra) i entretroncs (dreta) aconseguides amb el tractament convencional (TC) i els tractaments variables majorats (TV35+48% i TV40+4%) realitzats amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2005. Les barres negres indiquen la desviació estàndard de cada mostra. Les línies blaves delimiten la zona de deposició òptima.

### 8.3.3.4 Anàlisi de la deposició a terra

En aquest apartat s'analitza la fracció de traçador que, no dipositant-se en la capçada, ho fa al terra de la plantació en forma de pèrdues. A la Figura 8.45 es mostren els diagrames de caixa corresponents a les mostres de deposició on es fa patent l'alta dispersió de les dades del tractament convencional i del tractament TV35+48%, aquesta darrera deguda a la majoració de la concentració del brou.



**Figura 8.45.-** Diagrames de caixa de les mostres de deposició a terra obtingudes a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2005. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals. Lletres diferents impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.

A la Taula 8.32 es mostren els estadístics que descriuen les mostres de deposicions obtingudes. A excepció del tractament variable TV35, les mitjanes no presenten diferències significatives tot i que les dels tractaments TV40 i la seva majoració són sensiblement menors que la del tractament TC. En tots els tractaments variables, la variabilitat de les mostres ha estat inferior a la del tractament convencional.

**Taula 8.32.-** Estadístics descriptius de les mostres de deposició a terra obtingudes a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2005.

Tractament	TC	TV35	TV35+48%	TV40	TV40+4%
Deposició mitjana ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	1,06 a	0,67 b	0,99 ab	0,78 ab	0,81 ab
Desviació estàndard ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	0,61	0,38	0,57	0,49	0,51
Observacions	36	36	36	36	36

\* Lletres diferents en files impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.

### 8.3.3.5 Anàlisi de les dosis aplicades

Les dosis reals aplicades en cada tractament es poden apreciar a la Taula 8.33 i les resultants dels tractaments majorats a la Taula 8.34. Tot i que la màxima reducció de dosi s'havia aconseguit amb el tractament TV35, una vegada majorat, la dosi obtinguda seria pràcticament la mateixa que la del tractament convencional. El resultat del tractament TV40+4% és una reducció del producte final aplicat del 28,85% respecte del tractament convencional TC.

**Taula 8.33.-** Dosis de traçador aplicades en els diferents tractaments (TC, TV35 i TV40) de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2005.

Tractament	TC	TV35	Dif. TC-TV35	TV40	Dif. TC-TV40
Concentració dipòsit (mg/L)	1.500	1.500	-	1.500	-
Dosi aplicada esquerra (g/ha)	541	347	-35,87%	357	-34,09%
Dosi aplicada dreta (g/ha)	541	383	-29,21%	384	-29,08%
Dosi aplicada total (g/ha)	<b>1.083</b>	<b>730</b>	<b>-32,54%</b>	<b>741</b>	<b>-31,59%</b>

**Taula 8.34.-** Dosis de traçador aplicades (TC) i simulades (TV35+48% i TV40+4%) en els diferents tractaments de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2005. Els tractaments variables s'han majorat per a igualar el tractament convencional en el nombre de mostres subdosificades.

Tractament	TC	TV35+48%	Dif. TC-TV35	TV40+4%	Dif. TC-TV40
Concentració dipòsit (mg/L)	1.500	2.220	+48,00%	1.560	+4,00%
Dosi aplicada esquerra (g/ha)	541	514	-5,08%	371	-31,46%
Dosi aplicada dreta (g/ha)	541	567	+4,77%	399	-26,24%
Dosi aplicada total (g/ha)	<b>1.083</b>	<b>1.081</b>	<b>-0,16%</b>	<b>770</b>	<b>-28,85%</b>

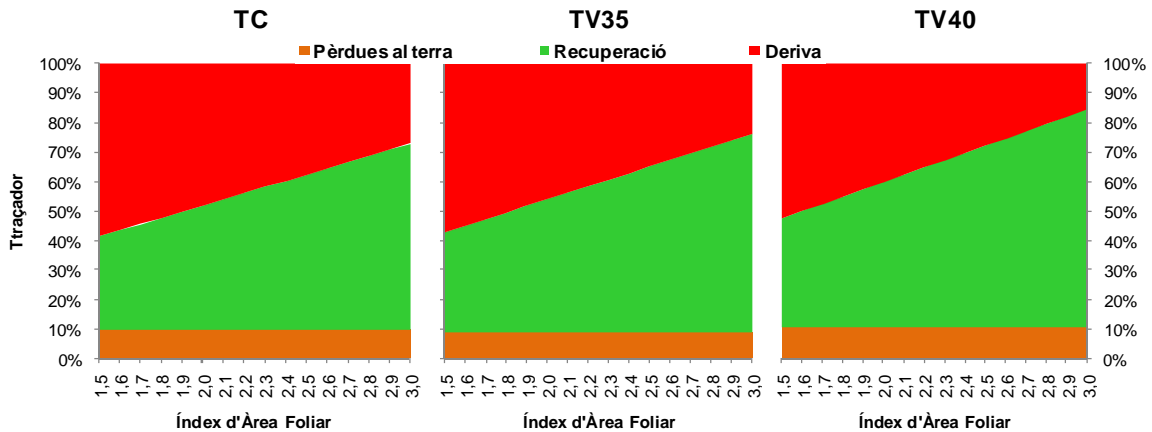
### 8.3.3.6 Anàlisi de les eficiències d'aplicació

A la Taula 8.35 es mostren els valors d'eficiència d'aplicació en funció del valor d'índex d'àrea foliar i de les pèrdues de traçador a terra relatives en cada tractament. Com es pot apreciar, l'eficiència d'aplicació és major en els tractaments variables. Les pèrdues a terra són molt similars en els tres tractaments i, per tant, les diferències no afecten excessivament la distribució final. A la Figura 8.46 es representa la distribució relativa del traçador total aplicat en un rang de valors d'IAF

en el que es troba el de la plantació assajada. Els dos tractaments variables assolixen major percentatge de traçador a la capçada amb una reducció important de la fracció de deriva.

**Taula 8.35.-** Valors d'eficiències d'aplicació i pèrdues relatives obtinguts en els tractaments convencional i variables a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2005.

	TC	TV35	TV40
$\epsilon_{ap}$ (adimensional)	0,211·IAF	0,224·IAF	0,247·IAF
$\Delta\epsilon_{ap}$ respecte a TC		+6,52%	+17,07%
Pèrdues a terra relatives (adimensional)	0,098	0,092	0,105
$\Delta$ Pèrdues a terra respecte a TC		-6,47%	+7,45%
Pèrdues per deriva relatives (adimensional)	0,902-0,211·IAF	0,908-0,224·IAF	0,895-0,247·IAF
$\Delta$ Pèrdues per deriva respecte a TC		-2,43% a -12,88%	-10,44% a -42,60%
Pèrdues totals relatives (adimensional)	1-0,211·IAF	1-0,224·IAF	1-0,247·IAF
$\Delta$ Pèrdues totals respecte a TC		-3,01% a -11,18%	-7,88% a -29,29%

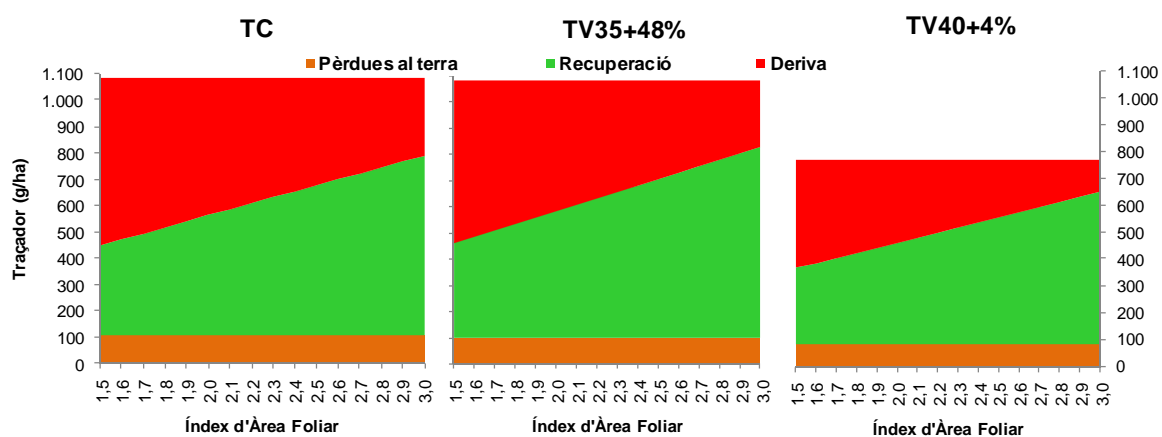


**Figura 8.46.-** Gràfiques de la distribució relativa del traçador aplicat en el tractament convencional (TC) i en els successius tractaments variables (TV35 i TV40) a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2005.

Tanmateix, el tractament variable TV40+4% aplica menor dosi de traçador que el tractament convencional i el tractament TV35+48% en termes absoluts. Les quantitats de traçador recollides a les fulles, en funció de l'IAF, i als col·lectors artificials del terra a l'assaig realitzat es mostren a la Taula 8.36. A la Figura 8.47 es mostren les gràfiques de la distribució absoluta de les fraccions de traçador per a diferents valors de IAF.

**Taula 8.36.-** Valors de recuperació i pèrdues absolutes obtinguts en els tractaments convencional i variable a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2005.

	TC	TV35+48%	TV40+4%
Recuperació (g/ha)	228,04·IAF	242,52·IAF	189,95·IAF
$\Delta$ Recuperació respecte a TC		+6,35%	-16,71%
Pèrdues a terra (g/ha)	106,03	99,01	81,06
$\Delta$ Pèrdues a terra respecte a TC		-6,62%	-23,55%
Pèrdues per deriva (g/ha)	976,81-228,04·IAF	982,13-242,52·IAF	689,38-189,95·IAF
$\Delta$ Pèrdues per deriva respecte a TC		-2,58% a -13,02%	-36,28% a -59,16%
Pèrdues totals (g/ha)	1.083-228,04·IAF	1.081-242,52·IAF	770-189,95·IAF
$\Delta$ Pèrdues per deriva respecte a TC		-3,16% a -11,32%	-34,46% a -49,69%



**Figura 8.47.-** Gràfiques de la distribució absoluta del traçador aplicat en el tractament convencional (TC) i en els successius tractaments variables majorats (TV35+48% i TV40+4%) a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2005.

El tractament variable TV40+4% és el que assoleix una recuperació foliar suficient amb la major reducció de les pèrdues a terra i de la deriva sense disminuir la qualitat de la distribució del tractament convencional TC.

### 8.3.4 ASSAIG 4 realitzat a la cultivar 'Top red' l'any 2005

L'assaig que es comenta en aquest apartat correspon al realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. Aquest assaig ha consistit en comparar el resultat del tractament convencional (TC) amb els dels tractaments variables TV30 i TV40.

#### 8.3.4.1 Dades meteorològiques

Les dades meteorològiques enregistrades durant l'assaig mostren diferències reduïdes entre els tres tractaments (Taula 8.37). Malgrat que les diferències de temperatura, humitat relativa i velocitat i direcció del vent poden haver introduït una certa variabilitat addicional a l'assaig, es considera que no han d'alterar la comparació dels tractaments.

**Taula 8.37.-** Dades meteorològiques obtingudes durant l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005.

TRACTAMENT	PARÀMETRE	TEMPERATURA (°C)	HUMITAT RELATIVA (%)	VELOCITAT DEL VENT (m/s)	DIRECCIÓ DEL VENT (°)*
VARIABLE TV30	Mitjana	10,75	73,22	0,93	85
	Màxim	11,02	78,30	1,80	150
	mínim	10,42	69,54	0,00	1
CONVENCIONAL	Mitjana	11,38	70,25	0,90	129
	Màxim	11,68	72,70	1,71	209
	mínim	11,22	67,88	0,04	80
VARIABLE TV40	Mitjana	13,61	62,89	1,41	2
	Màxim	13,83	67,79	3,14	358
	mínim	13,25	59,22	0,24	47

\* La direcció del vent es considera respecte l'orientació de l'eix de la fila.

#### 8.3.4.2 Anàlisi de la capçada i dels volums aplicats

Les mesures de la capçada indiquen diferències significatives entre els semivolums dels dos costats de la fila tractada fet que ha generat una resposta diferenciada del prototipus (Taula 8.38).

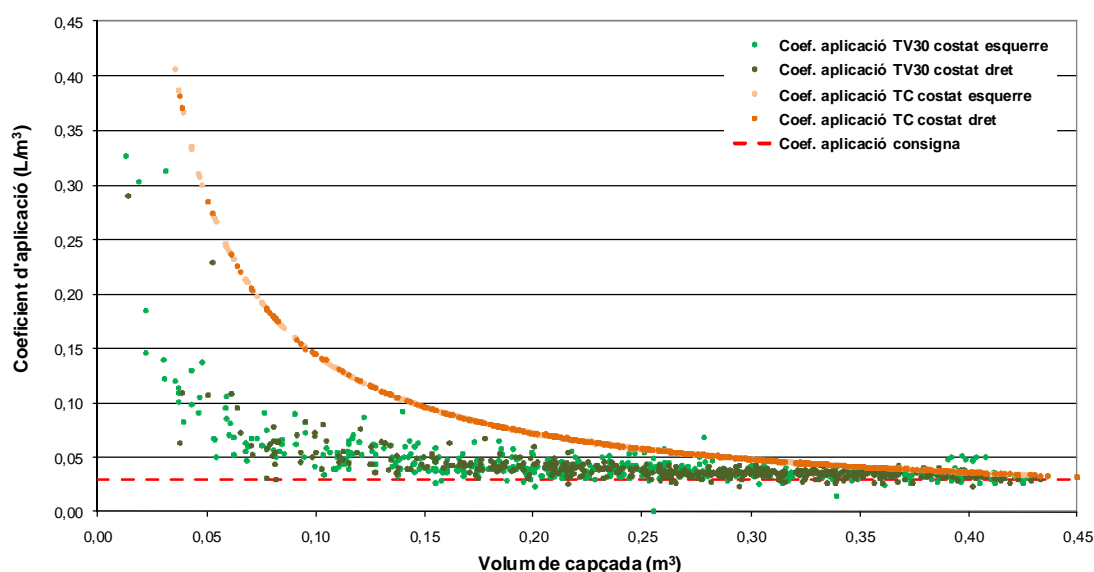
**Taula 8.38.-** Volums de capçada i característiques de les aplicacions realitzades en els tractaments convencional (TC) i variables (TV30 i TV40) de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005.

PARÀMETRE	TC	TV30	Dif. TC-TV30	TV40	Dif. TC-TV40
Volum de capçada esquerre (m <sup>3</sup> )			122,84 a		
Volum de capçada dret (m <sup>3</sup> )			143,01 b		
<b>Volum total de capçada (m<sup>3</sup>)</b>			<b>265,85</b>		
Volum aplicat esquerra (L)	7,22	4,50	-37,59%	5,18	-28,30%
Volum aplicat dret (L)	7,22	4,93	-31,64%	5,82	-19,32%
<b>Volum total aplicat (L)</b>	<b>14,44</b>	<b>9,44</b>	<b>-34,62%</b>	<b>11,00</b>	<b>-23,81%</b>
Volum d'aplicació unitari esquerre (L/ha)	361	225		259	
Volum d'aplicació unitari dret (L/ha)	361	247		291	
<b>Volum d'aplicació unitari total (L/ha)</b>	<b>722</b>	<b>472</b>		<b>550</b>	
Coef. aplicació esquerra (L/m <sup>3</sup> )	0,059	0,039		0,042	
Coef. aplicació dret (L/m <sup>3</sup> )	0,050	0,037		0,041	
<b>Coef. aplicació total (L/m<sup>3</sup>)</b>	<b>0,054</b>	<b>0,036</b>		<b>0,041</b>	

\* Lletres diferents impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.



Mentre en el tractament convencional el polvoritzador ha aplicat el mateix volum de brou a ambdós costats de la fila, els dos tractaments variables han aplicat quantitats diferents de manera directament proporcional a la quantitat de vegetació estimada. El tractament TV40, amb major coeficient d'aplicació de consigna, ha aplicat més brou que el tractament TV30. En el tractament TV30, la diferència entre la consigna i el coeficient mitjà final ha estat d'un 20%. Aquest fet és degut a la sobredosificació de seguretat que es realitza en volums de capçada reduïts. En capçades amb volums de vegetació majors a 0,10 m<sup>3</sup>, els coeficients d'aplicació instantanis obtinguts són molt més propers al de consigna (Figura 8.48). El comportament dels coeficients d'aplicació instantanis del tractament convencional és el mateix que a l'assaig realitzat a la cultivar 'Conference' el mateix any i no es repetiran les explicacions (veure apartat 8.3.3.2).

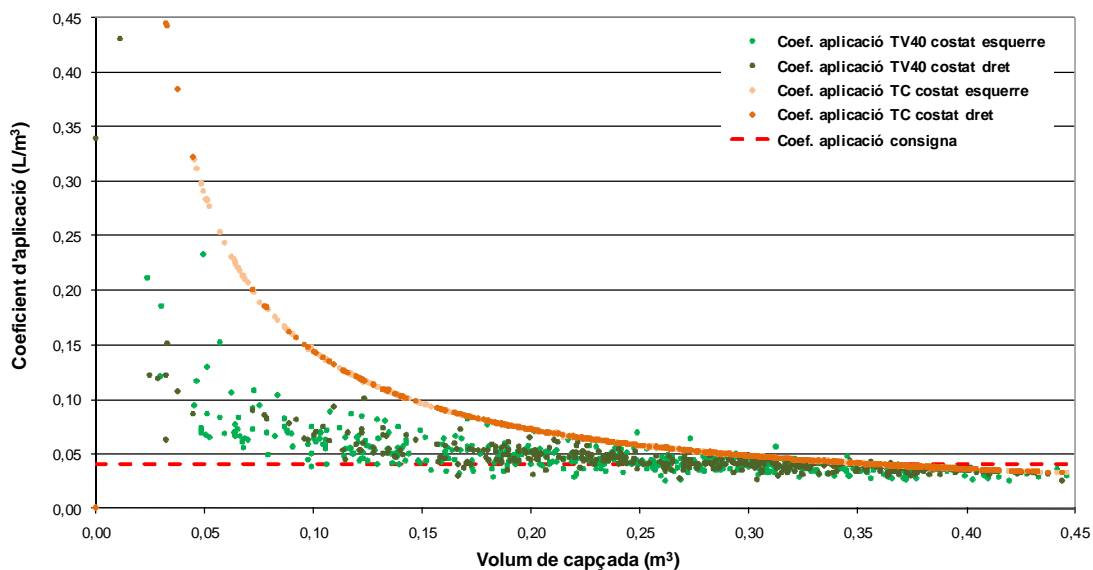


**Figura 8.48.-** Diagrama de dispersió dels coeficients d'aplicació aconseguits en els tractaments convencional TC i variable TV30 en funció del volum de capçada estimat a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. La línia roja discontinua representa el coeficient d'aplicació consigna.

El coeficient d'aplicació mitjà resultant del tractament variable TV40, en canvi, ha estat molt proper al de consigna (Taula 8.38). Tanmateix, a la Figura 8.49 s'observa que això és degut a que hi ha una quantitat important de valors instantanis per sota del coeficient d'aplicació consigna. Aquest fet podria indicar que les electrovàlvules treballen a la zona de cabals propers al seu màxim i podria ser que en algun punt de la capçada no es pogués aplicar el volum necessari. A la Taula 8.39 es mostra un resum de l'anàlisi de freqüències dels valors de coeficients d'aplicació on s'observa clarament que els tractaments TC i TV40 no poden assolir els coeficients d'aplicació en un nombre elevat de casos. Tanmateix, el 75% de la consigna del tractament TV40 és la consigna del tractament TV30 i, per tant, els resultats haurien de ser equivalents.

**Taula 8.39.-** Freqüències relatives acumulades de les mostres de coeficients d'aplicació obtingudes en els tractaments convencional (TC) i variables (TV30 i TV40) a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005.

Tractament	TV30	TC	TV40	TC
Consigna	0,030 L/m <sup>3</sup>		0,040 L/m <sup>3</sup>	
Mostres inferiors a la consigna	6,40%	0,00%	41,20%	21,90%
Mostres inferiors al 90% de la consigna	2,40%	0,00%	20,30%	6,80%
Mostres inferiors al 75% de la consigna	0,20%	0,00%	3,30%	0,20%
Mostres superiors al 150% de la consigna	22,30%	71,80%	12,00%	38,20%
Mostres superiors al 200% de la consigna	10,80%	44,70%	4,60%	21,30%

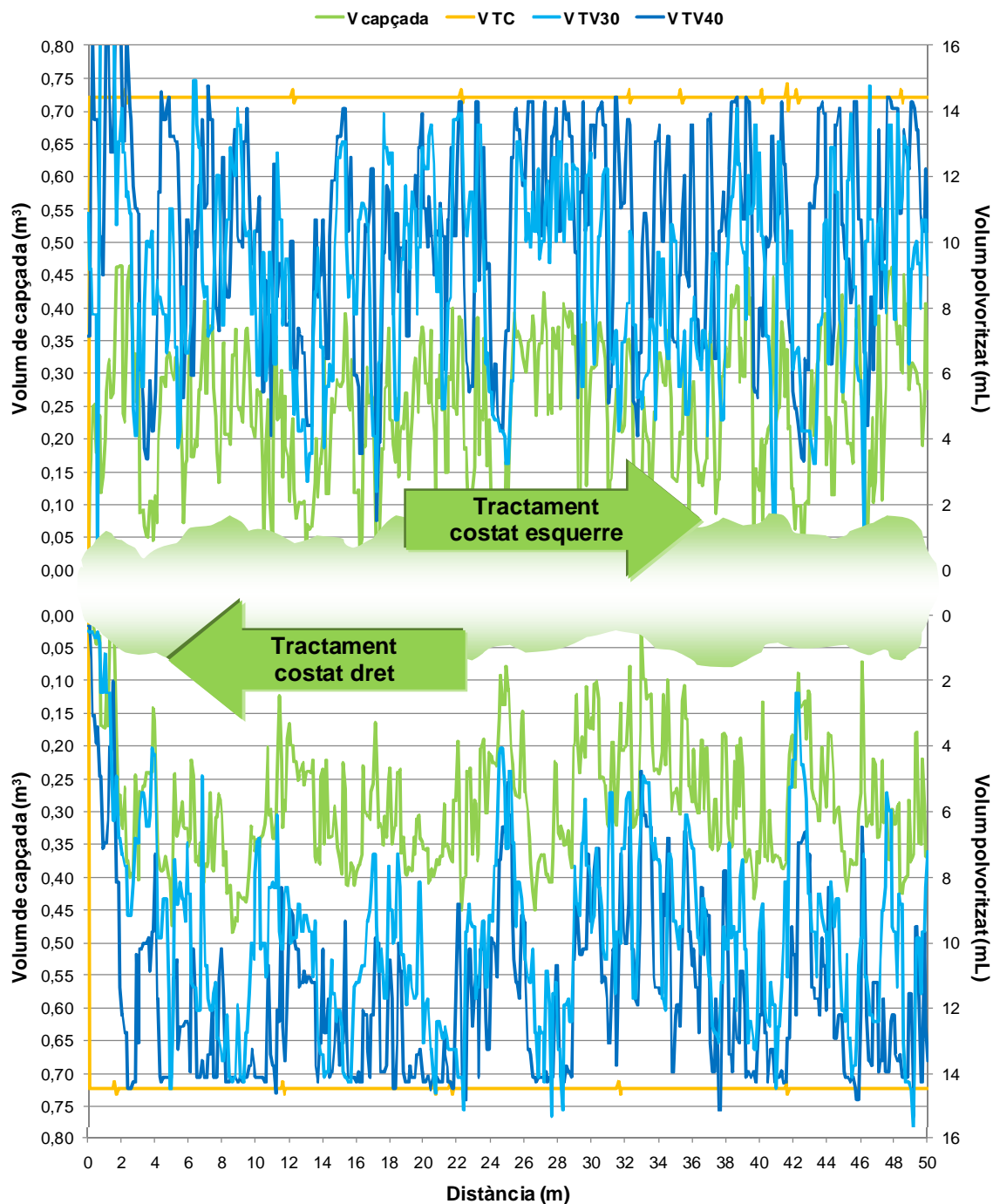


**Figura 8.49.-** Diagrama de dispersió dels coeficients d'aplicació aconseguits en els tractaments convencional TC i variable TV40 en funció del volum de capçada estimat a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. La línia roja discontinua representa el coeficient d'aplicació consigna.

A la Figura 8.50 es mostren els volums de capçada instantanis així com els volums de brou pulveritzats de forma gràfica en cada punt del tram de fila estudiat. S'observa que, en molts casos, el volum aplicat amb els tractaments variables ha estat similar a l'aplicat amb el tractament convencional. Aquesta circumstància és deguda a l'elevat volum de vegetació que presentava la capçada d'aquesta cultivar. Si a aquest fet hi afegim la limitació de cabal que presenten les electrovàlvules, el resultat són els baixos coeficients d'aplicació aconseguits. Els volums aplicats amb el sistema variables han estat proporcionals tant a la microvariabilitat com a la macrovariabilitat de la vegetació.

### 8.3.4.3 Anàlisi de la deposició foliar

L'anàlisi dels volums aplicats indica una reducció considerable del volum de brou fitosanitari aplicat. En aquest apartat s'analitza la deposició foliar aconseguida en els tractaments realitzats i es comprova que la reducció del brou aplicat amb dosificació variable no representi una disminució de la qualitat respecte del tractament convencional. A la Taula 8.40 es pot apreciar que totes les deposicions aconseguides en el tractament TC estan per sobre del llindar inferior de la deposició òptima. Per tal que als tractaments variables succeeixi el mateix cal incrementar virtualment la concentració de brou al dipòsit en un 46% en el cas del tractament TV30 i en un 468% en el cas del tractament TV40. Aquest increment desmesurat de la concentració del brou en el tractament TV40, així com la necessitat d'incrementar en un 46% la concentració del brou al tractament TV30, respon a la presència de mostres individuals de fulles amb deposicions reduïdes. En concret, el tractament TV40 obté una deposició de  $0,126 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  en una mostra situada al Bloc II, al Costat Esquerre, Alçada 1 i en la Profunditat exterior. Per algun motiu, la deposició en aquesta zona ha estat més baixa en els tres tractaments però especialment en el TV40. El mateix tractament TV40, a la mateixa zona del Bloc I obté una deposició de  $0,611 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  (insuficient però 5 vegades major) i al Bloc III de  $1,277 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  (per sobre de la deposició òptima màxima). Tanmateix, el tractament TV40 obté altres deposicions molt reduïdes. En un apartat posterior s'han proposat algunes hipòtesis per a donar explicació d'aquest comportament.

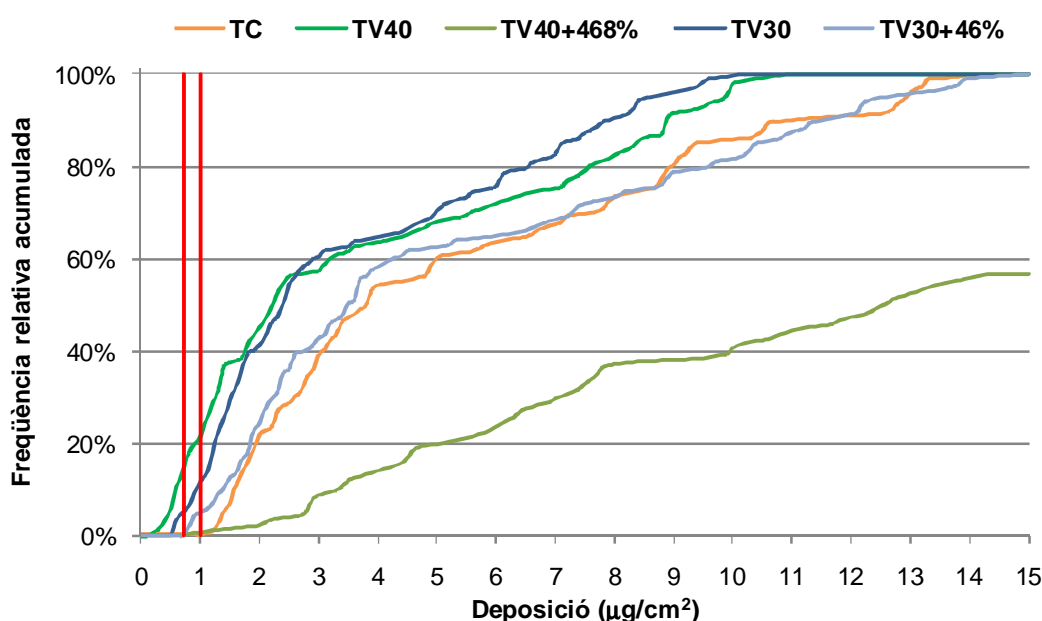


**Figura 8.50.-** Diagrames de dispersió dels volums de capçada i dels volums polvoritzats en el tram de fila on es realitza l'assaig amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005.

Tanmateix, el tractament TV40 obté d'altres deposicions inferiors a l'òptima en un percentatge del 14,10% mentre que el tractament TV30 n'obté 5,10%. Una vegada majorats, el tractament variable TV30+46% és el que aconseguix més mostres dins l'interval òptim de deposicions, amb un 5% de les mostres. A la Figura 8.51 es representen gràficament les freqüències relatives acumulades de cadascuna de les mostres.

**Taula 8.40.-** Percentils i freqüències relatives acumulades de les mostres de deposició foliar dels tractaments convencional i variables a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. Els tractaments variables s'han majorat per a igualar el tractament convencional en el nombre de mostres subdosificades.

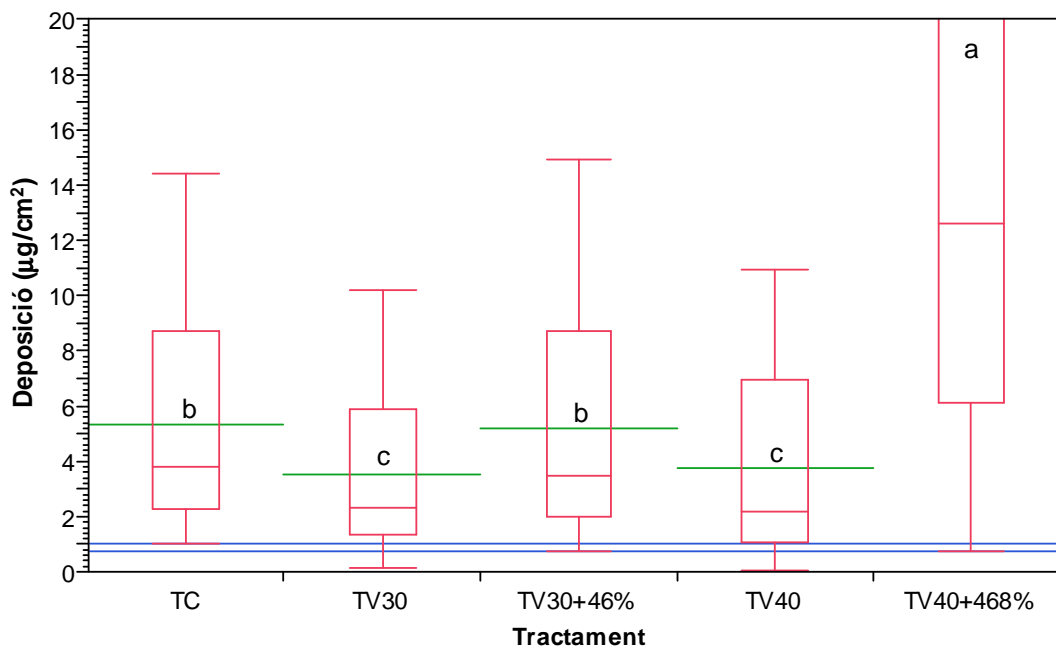
Tractament	TC	TV30	TV30+46%	TV40	TV40+468%
Percentil corresponent a 100 gotes/cm <sup>2</sup>	0,00%	12,20%	5,00%	22,10%	0,60%
Percentil corresponent a 70 gotes/cm <sup>2</sup>	0,00%	5,10%	0,00%	14,10%	0,00%
Deposicions dins l'interval òptim	0,00%	7,10%	5,00%	8,00%	0,60%
Deposicions majors que l'òptima	100,00%	87,80%	95,00%	77,90%	99,40%
Deposicions menors que l'òptima	0,00%	5,10%	0,00%	14,10%	0,00%



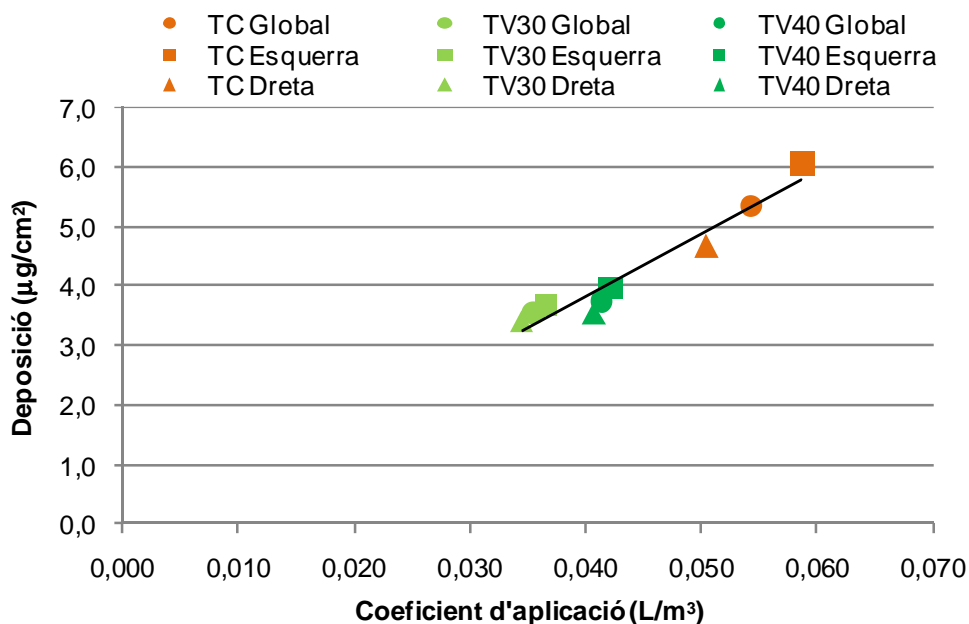
**Figura 8.51.-** Freqüències relatives acumulades de les deposicions corresponents als tractaments de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. Les línies roges verticals representen les deposicions òptimes mínima i màxima.

Les mostres de deposicions obtingudes es representen en diagrames de caixa a la Figura 8.52. Com es pot observar, l'excessiva majoració del tractament TV40 aconsegueix que cap mostra estigui per sota el llindar mínim de deposició òptima però, en contraposició, incrementa excessivament la resta de deposicions que ja eren suficients. El tractament variable TV30+46% aconsegueix una deposició mitjana similar a la del tractament TC amb un cert increment de la dispersió degut a la majoració de les deposicions.

A la representació gràfica de les deposicions mitjanes en funció dels coeficients d'aplicació de la Figura 8.53 s'aprecia que hi ha una certa correlació entre les dues variables. Tot i que hi ha certes diferències entre els tractaments convencionals, els sis punts estan molt concentrats, a diferència del que succeeix amb el tractament convencional TC. En aquest assaig sembla que no hi ha tanta estructuració de les dades com en d'altres assajos.



**Figura 8.52.-** Diagrames de caixa de les mostres de deposició foliar obtingudes a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les blaves delimiten la zona de deposició òptima. Lletres diferents impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.

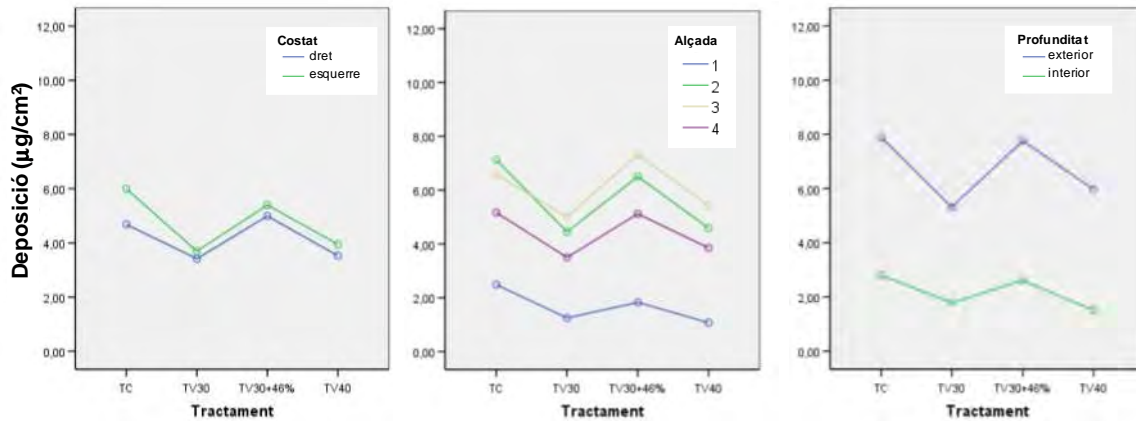


**Figura 8.53.-** Diagrama de dispersió de les deposicions foliars en funció dels coeficients d'aplicació a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. El coeficient de determinació del model de regressió lineal simple ajustat és  $R^2=0,94$ .

### 8.3.4.3.1 Anàlisi de la variància del conjunt de mostres de deposició foliar

En la prova d'anàlisi de la variància del conjunt de mostres de deposició foliar s'ha exclòs el tractament TV40+468% donat que el seu sobredimensionament afecta negativament els resultats. En l'anàlisi conjunta s'han tingut en compte tan sols les deposicions del tractament TV40.

Els resultats de la prova d'anàlisi de la variància indiquen que els factors principals *Tractament*, *Costat*, *Alçada* i *Profunditat* tenen efectes significatius sobre la deposició així com totes les seves interaccions de segon ordre a excepció de la que es dona entre *Tractament* i *Zona*. Tanmateix, en l'anàlisi conjunta només s'han analitzat les interaccions on hi intervé el factor *Tractament* per tal d'analitzar possibles efectes negatius dels tractaments variables. L'efecte de cadascun dels factors en les deposicions aconseguides s'ha analitzat en les proves individuals d'anàlisi de la variància. A la Figura 8.54 es mostren les gràfiques de les interaccions del factor *Tractament* amb els factors *Costat*, *Alçada* i *Profunditat*.



**Figura 8.54.-** Deposicions mitjanes en funció dels factors *Costat*, *Alçada* i *Profunditat* obtingudes en cada tractament de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005.

Com es pot observar, la interacció entre els factors *Tractament* i *Alçada* té un efecte positiu degut a que en el tractament convencional existeix més diferència entre les deposicions aconseguides a cada costat que en els tractaments variables. Lluny de ser un efecte negatiu, aquest fet demostra el correcte funcionament del prototipus Fluxpro 2. En referència al factor *Alçada*, la significació de la interacció ve donada pel diferent comportament que s'observa en l'Alçada 2 entre el tractament convencional i els variables. Tanmateix, les diferències obtingudes entre les deposicions de l'Alçada 3 i l'Alçada 2 no són molt elevades i, per tant, no han de provocar comportaments negatius en els tractaments variables. Finalment, la significació entre els factors *Tractament* i *Profunditat*, és deguda al diferent comportament del tractament TV30. Una vegada majorat, es pot observar que tant la deposició exterior com la interior prenen valors pràcticament iguals als del tractament TC.

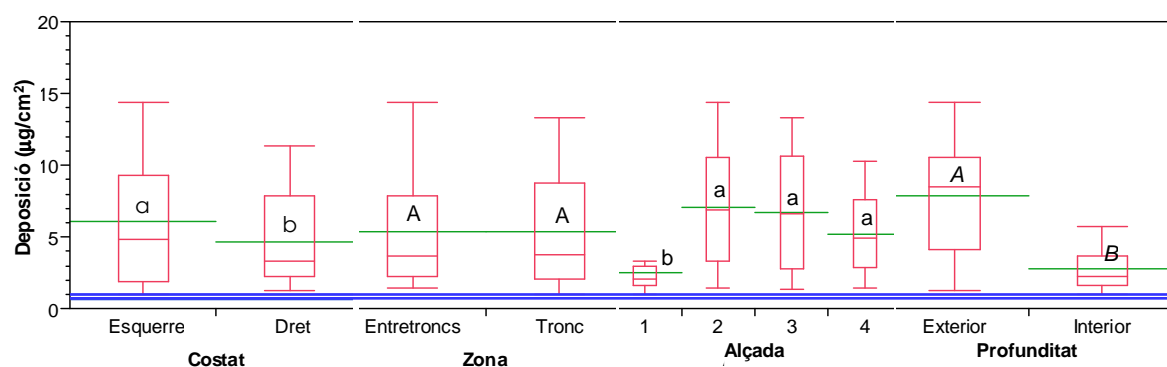
#### 8.3.4.3.2 Anàlisi de la variància de les deposicions foliars del tractament TC

La prova d'anàlisi de la variància realitzada a la mostra de deposicions del tractament convencional posa de manifest l'efecte significatiu dels factors principals *Costat*, *Alçada* i *Profunditat* (Taula 8.41). Les interaccions significatives són les que es donen entre el factor *Profunditat* i els factors *Costat* i *Alçada*. A la Figura 8.55 s'observa que les deposicions a la *Zona Tronc* i entretroncs són pràcticament iguals i que l'Alçada que difereix de la resta és l'Alçada 1.

**Taula 8.41.-** Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzada a les mostres de deposició foliar del tractament convencional de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005.

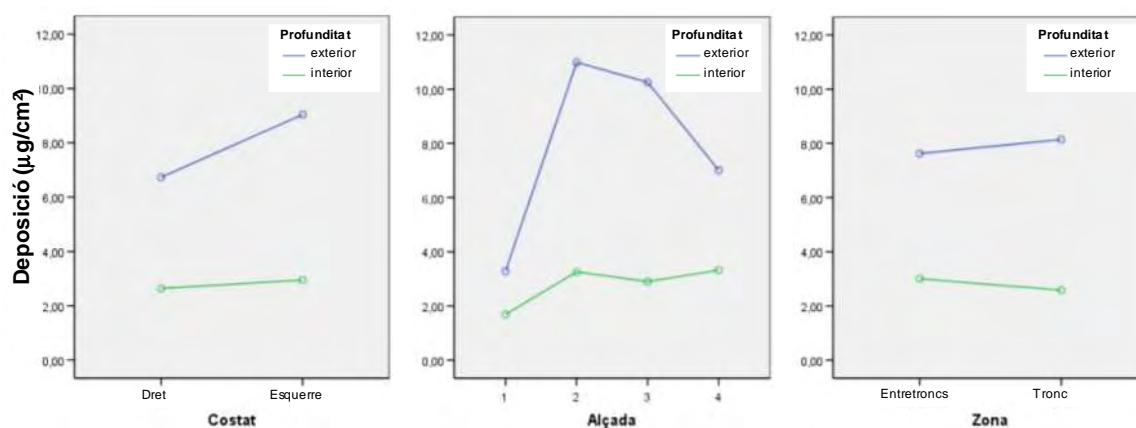
Factors	Valor-p <sup>1</sup>
Model	0,000
Intersecció	0,000
Costat	0,000
Zona	0,875
Alçada	0,000
Profunditat	0,000
Costat * Zona	0,100
Costat * Alçada	0,234
Zona * Alçada	0,695
Costat * Profunditat	0,002
Zona * Profunditat	0,129
Alçada * Profunditat	0,000

<sup>1</sup> Valors-p per sota el nivell de significació ( $\alpha=0,05$ ) impliquen significació del factor o interacció.



**Figura 8.55.-** Diagrames de caixa de les mostres de deposició foliar obtingudes en el tractament convencional de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les claus delimiten la zona de deposició òptima. Lletres diferents amb el mateix estil impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$ .

A la Figura 8.56 es mostren les mitjanes de les parelles de factors analitzades. La interacció entre els factors *Zona* i *Profunditat* (Figura 8.56 dreta) no és significativa però s'afegeix a la figura per a posteriors comparacions amb el tractament variable.



**Figura 8.56.-** Deposicions mitjanes obtingudes a diferents Profunditats segons els diferents valors dels factors *Costat* (esquerra), *Alçada* (centre) i *Zona* (dreta) en el tractament convencional de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005.

### 8.3.4.3.3 Anàlisi de la variància de les deposicions foliars del tractament TV30+46%

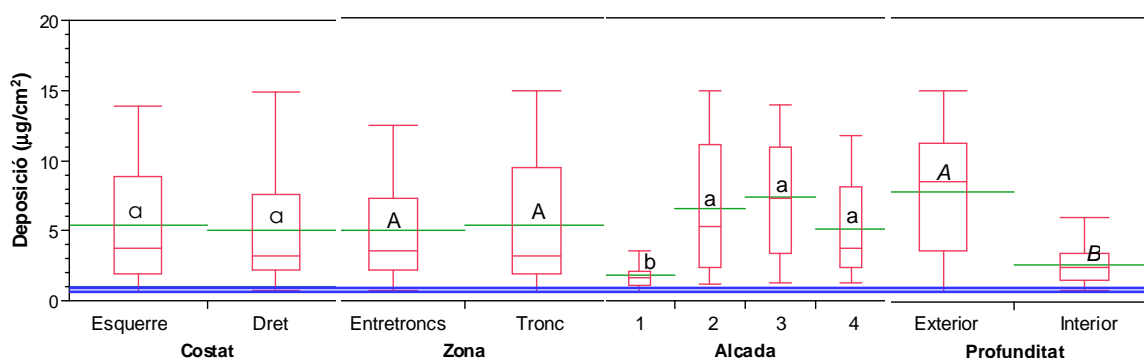
La prova d'anàlisi de la variància realitzada a la mostra de deposicions del tractament variable TV30+46% indica que, a diferència del tractament TC, l'efecte del factor *Costat* deixa de ser significatiu (Taula 8.42 i Figura 8.57). Aquest fet indica que, en aquest assaig, el prototipus Fluxpro 2 té en compte la diferència de semivolúms de capçada que presenten els dos costats de la fila i modifica la quantitat de brou aplicada per tal d'obtenir mitjanes similars a ambdós costats. Una altra millora del tractament variable és la disminució de la deposició mitjana de la Profunditat exterior del *Costat Esquerre*. En el tractament convencional TC, aquesta deposició ha provocat un efecte significatiu entre els factors *Profunditat* i *Costat*, en el tractament variable TV35+46%, en canvi, l'efecte d'aquesta interacció deixa de ser significatiu (Figura 8.58 dreta).

Un aspecte negatiu d'aquest tractament variable és que la interacció entre *Zona* i *Profunditat*, que en el tractament convencional no presentava un efecte significatiu, sí que esdevé significativa (Figura 8.58 esquerra).

**Taula 8.42.-** Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzada a les mostres de deposició foliar del tractament amb dosificació variable TV30+46% de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005.

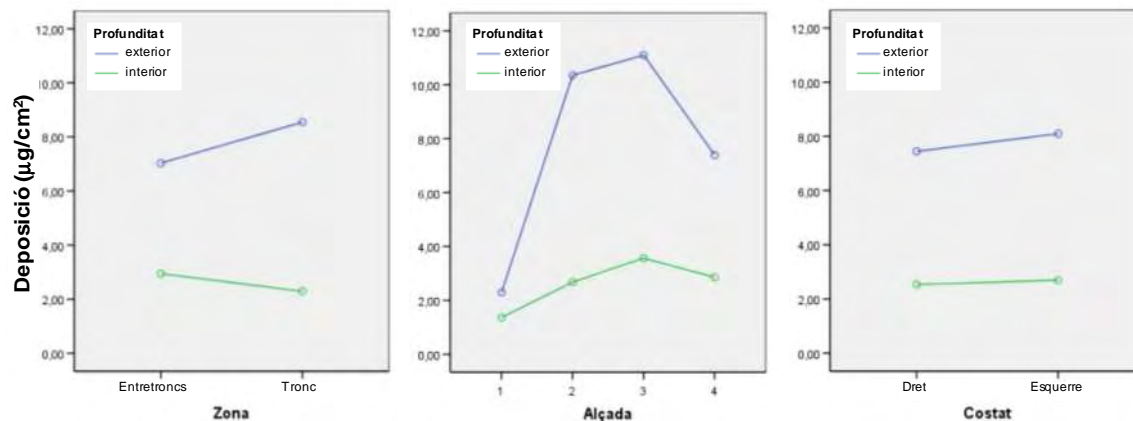
Factors	Valor-p <sup>1</sup>
Model	0,000
Intersecció	0,000
<i>Costat</i>	0,227
<i>Zona</i>	0,198
<i>Alçada</i>	0,000
<i>Profunditat</i>	0,000
<i>Costat</i> * <i>Zona</i>	0,171
<i>Costat</i> * <i>Alçada</i>	0,105
<i>Zona</i> * <i>Alçada</i>	0,298
<i>Costat</i> * <i>Profunditat</i>	0,465
<i>Zona</i> * <i>Profunditat</i>	0,002
<i>Alçada</i> * <i>Profunditat</i>	0,000

<sup>1</sup> Valors-p per sota el nivell de significació ( $\alpha=0,05$ ) impliquen significació del factor o interacció.



**Figura 8.57.-** Diagrames de caixa de les mostres de deposició foliar obtingudes en el tractament variable TV30+46% de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les blaves delimiten la zona de deposició òptima. Lletres diferents amb el mateix estil impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$ .

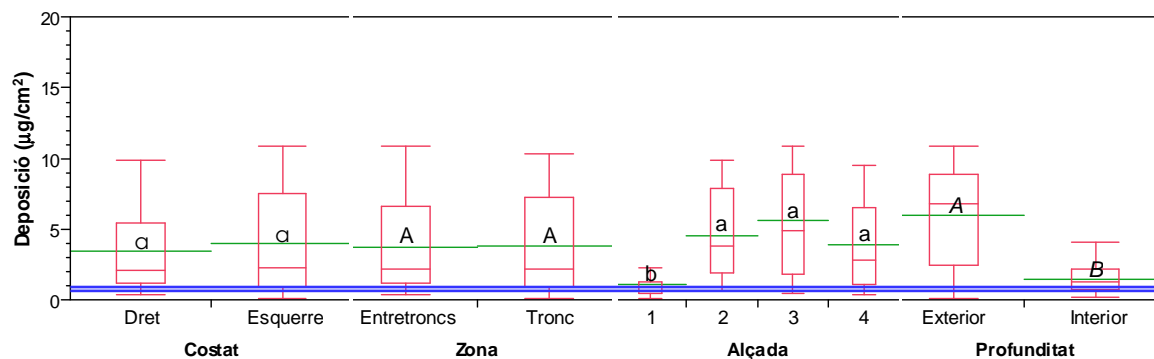




**Figura 8.58.-** Deposicions mitjanes obtingudes a diferents Profunditats segons els diferents valors dels factors Zona (esquerra), Alçada (centre) i Costat (dreta) en el tractament variable TV35+46% de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005.

### 8.3.4.3.4 Anàlisi de la variància de les deposicions foliar del tractament TV40

L'anàlisi de les deposicions del tractament TV40 i la prova d'anàlisi de la variància realitzada indiquen que el comportament del tractament TV40 és similar al del TV30 si bé presenta deposicions més baixes i en major nombre. Com es pot observar a la Figura 8.59, especialment preocupants són les deposicions obtingudes al Costat Esquerra de la Zona Tronc en l'Alçada 1 i en la Profunditat exterior. En la Profunditat interior també es detecten deficiències importants. Aquest fet ha provocat que sigui necessari majorar en un 468% la concentració del brou per tal d'equiparar la seva eficàcia teòrica a la del tractament convencional. Les causes d'aquest comportament es comentaran més endavant. Tanmateix, el tractament queda descartat i no s'ha analitzat amb el detall dels altres.

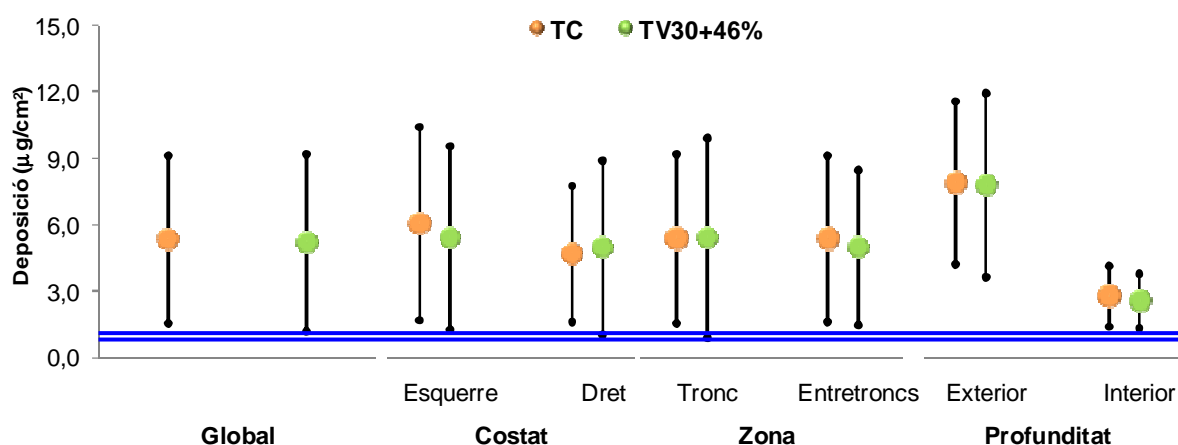


**Figura 8.59.-** Diagrames de caixa de les mostres de deposició foliar obtingudes en el tractament variable TV40 de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals. Lletres diferents amb el mateix estil impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$ .

### 8.3.4.3.5 Resum gràfic de la deposició foliar

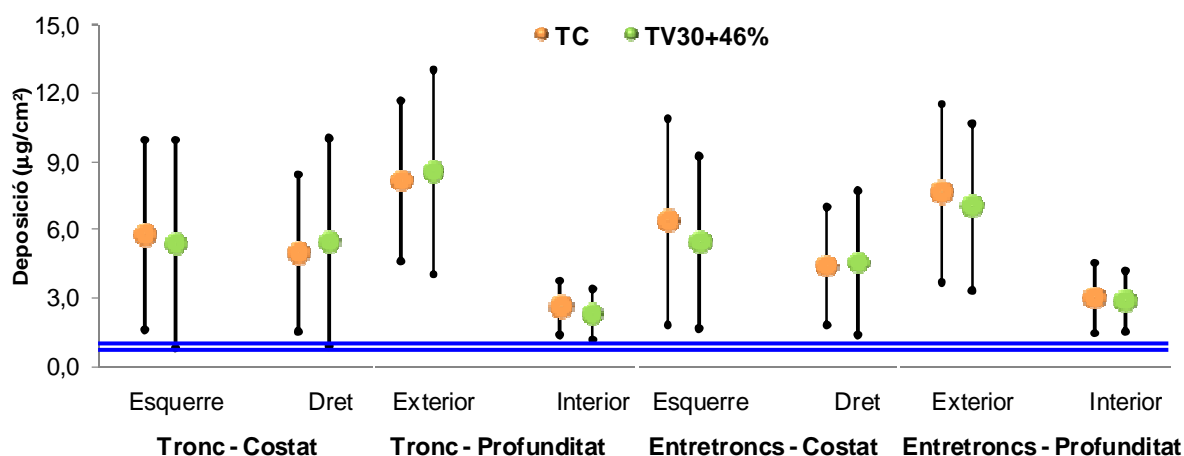
Com a resum de les anàlisis de les deposicions foliar es presenta la Figura 8.60. En ella es representen les deposicions mitjanes i les desviacions estàndard corresponents al tractament convencional i al tractament variable majorat TV30+46% (el tractament TV40+468% s'ha descartat per la desmesurada majoració que ha requerit).

El resultat global mostra un comportament molt similar dels dos tractaments (Figura 8.60 esquerra). Tanmateix, el tractament variable presenta una deposició mitjana lleugerament menor però amb una desviació estàndard major. El fet que les desviacions estàndard siguin, en general, tan elevades es pot atribuir al major volum de capçada i a l'alta densitat de fullatge que presenta aquesta cultivar. En l'anàlisi en funció dels diferents factors considerats (Figura 8.60 dreta), es pot observar que, en general, els resultats no presenten diferències importants. Si bé en el cas del factor *Costat* el tractament variable aconsegueix un major equilibri entre les deposicions mitjanes, en la resta de factors aquest mateix tractament tendeix a reduir les deposicions de les zones amb menys vegetació.



**Figura 8.60.-** Gràfiques de deposicions foliars globals mitjanes (esquerra) i de les mitjanes parcials en funció dels factors *Zona*, *Costat* i *Profunditat* (dreta) aconseguides amb el tractament convencional (TC) i el tractament variable majorat TV30+46% realitzats amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. Les barres negres indiquen la desviació estàndard de cada mostra. Les línies blaves delimiten la zona de deposició òptima.

Si s'analitzen les deposicions en funció del factor *Zona* de mostratge, es poden apreciar algunes diferències en les deposicions aconseguides a la *Zona Tronc* (Figura 8.61 esquerra) i a la *Zona Entretroncs* (Figura 8.61 dreta).

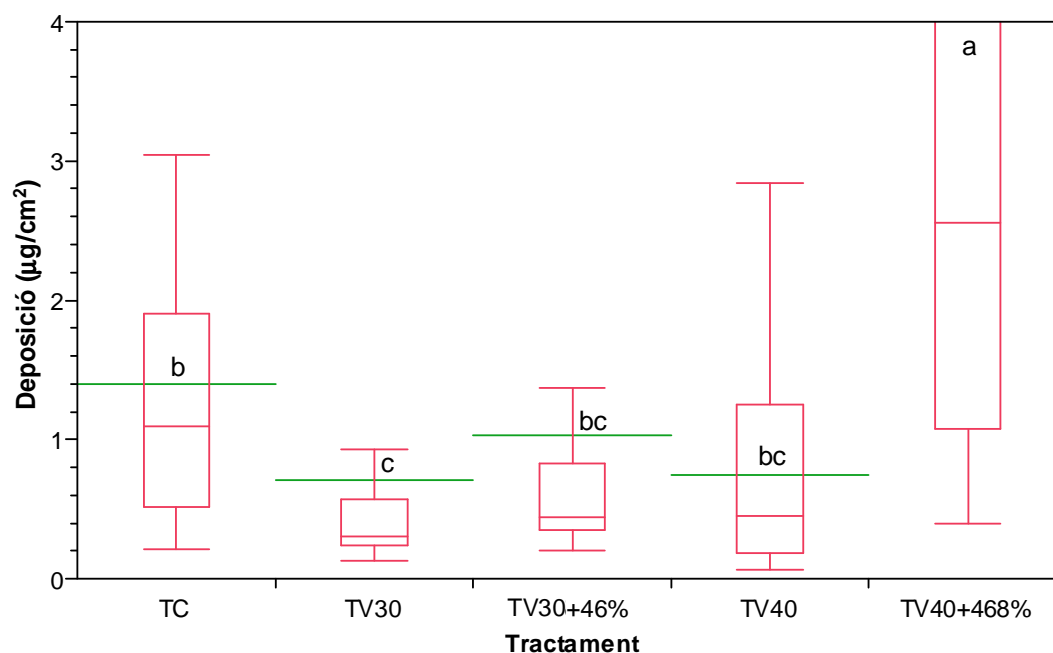


**Figura 8.61.-** Gràfiques de deposicions foliars mitjanes parcials a la *Zona Tronc* (esquerra) i *entretroncs* (dreta) aconseguides amb el tractament convencional (TC) i el tractament variable majorat TV30+46% realitzats amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. Les barres negres indiquen la desviació estàndard de cada mostra. Les línies blaves delimiten la zona de deposició òptima.

A la *Zona Tronc*, amb més vegetació, les diferències entre les deposicions aconseguides al *Costat Dret* i al *Costat Esquerre* pel tractament convencional són menors que a la *Zona Entretroncs*. En aquestes mateixes *Zones*, el tractament variable ajusta una mica més les deposicions aconseguides però introdueix més variabilitat. En referència a la penetració del traçador en la capçada, s'observa clarament que la *Zona Entretroncs* facilita la deposició interior i redueix l'exterior en tots dos tractaments. En aquestes circumstàncies, el tractament variable aconsegueix reduir la variabilitat de les deposicions obtingudes.

#### 8.3.4.4 Anàlisi de la deposició a terra

En aquest apartat s'analitza la fracció de traçador que, no dipositant-se en la capçada, ho fa al terra de la plantació en forma de pèrdues. A la Figura 8.62 es mostren els diagrames de caixa corresponents a les mostres de deposició a terra. Deixant de banda el tractament majorat TV40+468%, el tractament convencional és el que introdueix més variabilitat en les deposicions. A la Taula 8.43 es mostren algun estadístics descriptius de les deposicions aconseguides en cadascun dels tractaments.



**Figura 8.62.-** Diagrames de caixa de les mostres de deposició a terra obtingudes a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals. Lletres diferents impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.

**Taula 8.43.-** Estadístics descriptius de les mostres de deposició a terra obtingudes a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005.

Tractament	TC	TV30	TV30+46%	TV40	TV40+468%
Deposició mitjana ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	1,41 b	0,70 c	1,03 bc	0,75 bc	4,27 a
Desviació estàndard ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	1,40	0,89	1,30	0,75	4,26
Observacions	36	36	36	36	36

\* Lletres diferents en files impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.

### 8.3.4.5 Anàlisi de les dosis aplicades

Les dosis reals aplicades en cada tractament es poden apreciar a la Taula 8.44 i les resultants dels tractaments majorats a la Taula 8.45. Tot i que la màxima reducció de dosi s'ha aconseguit amb el tractament TV30, una vegada majorat, la dosi obtinguda seria tan sols lleugerament inferior a la del tractament convencional. El resultat del tractament TV40+468%, com s'ha dit, mostra una dosi excessiva tot i que el tractament TV40 aconseguia un resultat coherent amb la resta en termes de dosi aplicada.

**Taula 8.44.-** Dosis de traçador aplicades en els diferents tractaments (TC, TV30 i TV40) de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005.

Tractament	TC	TV30	Dif. TC-TV30	TV40	Dif. TC-TV40
Concentració dipòsit (mg/L)	3.000	3.000	0,00%	3.000	0,00%
Dosi aplicada esquerra (g/ha)	1.083	676	-37,59%	776	-28,30%
Dosi aplicada dreta (g/ha)	1.083	740	-31,64%	874	-19,32%
Dosi aplicada total (g/ha)	<b>2.166</b>	<b>1.416</b>	<b>-34,62%</b>	<b>1.650</b>	<b>-23,81%</b>

**Taula 8.45.-** Dosis de traçador aplicades (TC) i simulades (TV30+46% i TV40+468%) pels diferents tractaments de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. Els tractaments variables s'han majorat per a igualar el tractament convencional en el nombre de mostres subdosificades.

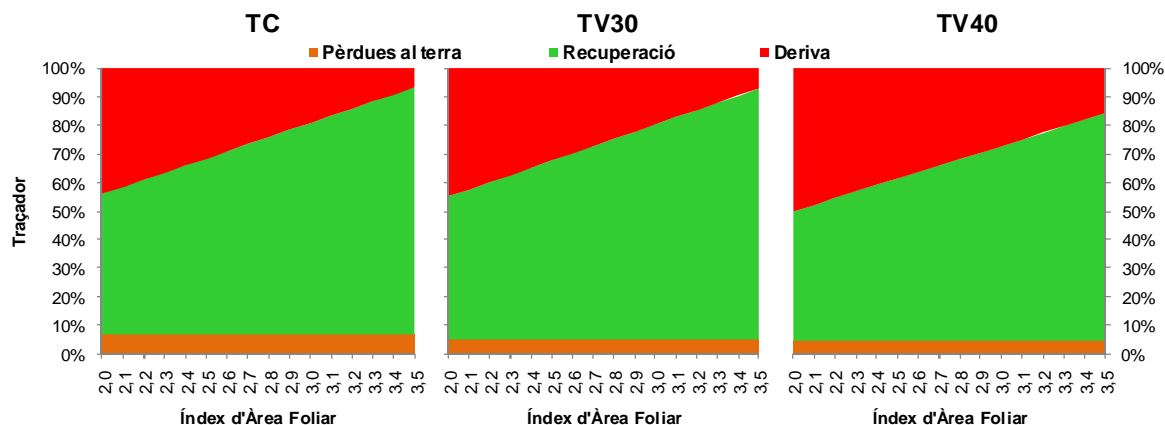
Tractament	TC	TV30+46%	Dif. TC-TV30	TV40+468%	Dif. TC-TV40
Concentració dipòsit (mg/L)	3.000	4.386	+46,20%	17.040	+468,00%
Dosi aplicada esquerra (g/ha)	1.083	988	-8,76%	4.410	+307,24%
Dosi aplicada dreta (g/ha)	1.083	1.082	+0,06%	4.962	+358,24%
Dosi aplicada total (g/ha)	<b>2.166</b>	<b>2.070</b>	<b>-4,41%</b>	<b>9.372</b>	<b>+332,74%</b>

### 8.3.4.6 Anàlisi de les eficiències d'aplicació

A la Taula 8.46 es mostren els valors d'eficiència d'aplicació en funció del valor d'índex d'àrea foliar i de les pèrdues de traçador a terra relatives en cada tractament. Com es pot apreciar, l'eficiència d'aplicació del tractament variable TV30 és major que la dels altres tractaments i la del tractament TV40 és la més baixa de totes. Les pèrdues a terra són molt similars en els tres tractaments i, per tant, les diferències no afecten excessivament la distribució final. A la Figura 8.63 es representa la distribució relativa del traçador aplicat en un rang de valors d'IAF en el que es troba el de la plantació assajada. El comportament dels tractaments TC i TV30 és força similar. Si bé el tractament variable aconsegueix dipositar una mica més de traçador a la capçada i menys a terra, les pèrdues per deriva en ambdós tractaments són pràcticament les mateixes.

**Taula 8.46.-** Valors d'eficiències d'aplicació i pèrdues relatives obtinguts en els tractaments convencional i variables a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005.

	TC	TV30	TV40
$\epsilon_{ap}$ (adimensional)	0,248·IAF	0,251·IAF	0,228·IAF
$\Delta\epsilon_{ap}$ respecte a TC	-	+1,37%	-8,10%
Pèrdues a terra relatives (adimensional)	0,065	0,050	0,046
$\Delta$ Pèrdues a terra respecte a TC	-	-23,49%	-29,74%
Pèrdues per deriva relatives (adimensional)	0,935-0,248·IAF	0,950-0,251·IAF	0,954-0,228·IAF
$\Delta$ Pèrdues per deriva respecte a TC	-	+1,92% a +4,90%	+13,51% a +131,03%
Pèrdues totals relatives (adimensional)	1-0,248·IAF	1-0,251·IAF	1-0,228·IAF
$\Delta$ Pèrdues per deriva respecte a TC	-	-1,35% a -8,93%	+7,95% a +52,70%

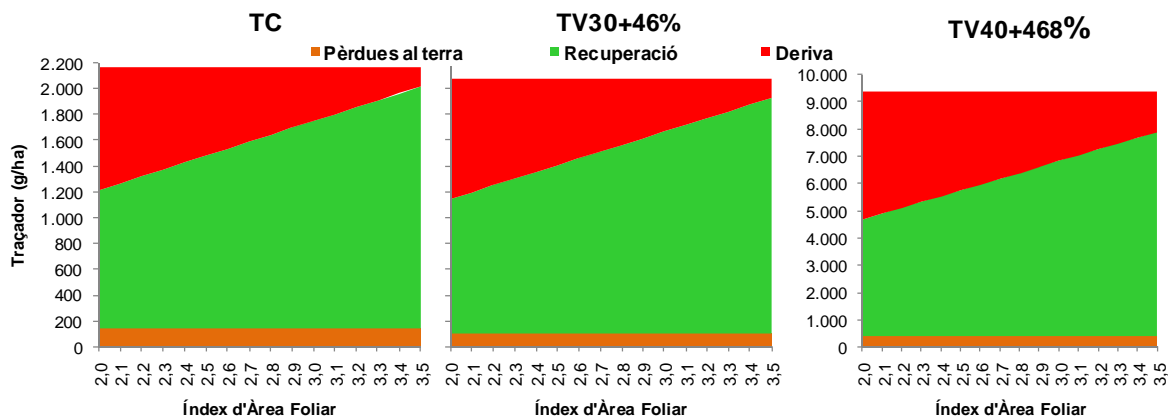


**Figura 8.63.-** Gràfiques de la distribució relativa del traçador aplicat en el tractament convencional (TC) i en els successius tractaments variables (TV30 i TV40) a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005.

A la Taula 8.47 es relacionen els valors absoluts de les diferents fraccions de traçador aplicades, tenint en compte que a l'assaig realitzat ni les dosis aplicades ni les simulades no han estat les mateixes (Taula 8.45). A la Figura 8.64 es mostren les gràfiques que recullen els diferents valors de cada fracció de traçador en funció de l'IAF per a un rang en el que es troba l'IAF de la plantació assajada. Tal com s'indica a la Taula 8.47, la recuperació és, per tots els IAF, un 3,10% menor en el tractament TV30+46% sense que aquest fet afecti la qualitat de la capçada. En referència a les pèrdues totals, el tractament variable ofereix una reducció d'entre el 2,88% i l'1,73% de la dosi total aplicada en el tractament convencional TC.

**Taula 8.47.-** Valors de recuperació i pèrdues absolutes obtinguts en els tractaments convencional i variable a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005.

	TC	TV30+46%	TV40+468%
<b>Recuperació (g/ha)</b>	536,32·IAF	519,71·IAF	2.132,86·IAF
<b>ΔRecuperació respecte a TC</b>		-3,10%	+297,68%
<b>Pèrdues a terra (g/ha)</b>	140,60	102,83	427,47
<b>ΔPèrdues a terra respecte a TC</b>		-26,86%	+204,03%
<b>Pèrdues per deriva (g/ha)</b>	2.025,08-536,32·IAF	1.967,35-519,71·IAF	8.944,24-2.132,86·IAF
<b>ΔPèrdues per deriva respecte a TC</b>		-2,57% a +0,27%	+391,21% a +899,76%
<b>Pèrdues totals (g/ha)</b>	2.166-536,32·IAF	2.070-519,71·IAF	9.372-2.132,86·IAF
<b>ΔPèrdues totals respecte a TC</b>		-5,70% a -12,95%	+367% a +560%



**Figura 8.64.-** Gràfiques de la distribució absoluta del traçador aplicat en el tractament convencional (TC) i en els successius tractaments variables majorats (TV30+46% i TV40+468%) a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005.

### 8.3.4.7 Observacions al tractament variable TV40

El mal comportament del tractament variable TV40 en aquest assaig mereix una reflexió a part. Com s'ha explicat anteriorment, no hi ha una justificació clara del que ha provocat que algunes de les mostres de fulles obtinguessin una deposició excessivament reduïda. A la Taula 8.48 es mostren les deposicions individuals aconseguides amb aquest tractament. Tot i que les deposicions són elevades en diverses zones de la capçada, es detecten diversos punts amb deposicions insuficients. El que crida l'atenció, però, és la dispersió de les zones problemàtiques. La mostra situada a la Profunditat interior de l'Alçada 1 a la *Zona Tronc* ha rebut poc traçador als dos costats de la fila i en els tres Blocs. Al Bloc III, però, es recull una de les deposicions més baixes. Aquest fet sembla lògic perquè aquesta cultivar presentava un volum de capçada considerable i les Alçades 1 de tots els altres tractaments realitzats amb aquest polvoritzador han rebut menys producte que la resta. A la *Zona Entretroncs* aquest fet no es dona més que al Bloc III, suposadament per la presència de menys vegetació en aquesta Zona. En algunes Profunditats interiors de les *Zones Tronc* i *entretroncs* també hi ha hagut problemes a la resta d'Alçades, probablement a causa de les grans dimensions i densitat foliar de la capçada. La deposició més baixa s'ha donat en la Profunditat exterior de l'Alçada 1 del *Costat Esquerre*, a la *Zona Tronc*. La resta de tractaments també ha tingut dificultats en aquest punt però no tan exagerades com en aquest cas.

**Taula 8.48.-** Deposicions individuals aconseguides amb el tractament variable TV40 a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Malus domestica* Borkh. cv. 'Top red' l'any 2005. Les caselles roges indiquen deposició inferior a l'òptima i les caselles verdes indiquen deposició dins l'interval òptim.

Factor Costat	Factor Alçada	Factor Profunditat	Factor <i>Zona Tronc</i>			Factor <i>Zona Entretroncs</i>		
			Bloc I	Bloc II	Bloc III	Bloc I	Bloc II	Bloc III
Dret	1	Exterior	2,280	1,079	1,239	1,788	1,211	2,058
Dret	2	Exterior	8,886	4,845	9,921	7,513	4,417	7,939
Dret	3	Exterior	9,948	7,134	8,279	8,479	4,945	8,885
Dret	4	Exterior	9,458	5,458	5,577	3,513	2,183	6,354
Dret	1	Interior	0,519	0,577	0,494	1,906	0,752	1,313
Dret	2	Interior	1,958	1,029	1,873	2,496	2,158	1,359
Dret	3	Interior	2,083	3,073	0,475	1,758	4,079	1,670
Dret	4	Interior	0,373	1,120	1,322	0,365	0,800	2,369
Esquerre	1	Exterior	0,611	0,126	1,277	0,508	2,999	0,785
Esquerre	2	Exterior	6,059	8,354	9,864	4,625	8,950	7,717
Esquerre	3	Exterior	10,294	8,881	9,563	7,491	9,988	10,941
Esquerre	4	Exterior	5,851	7,328	8,072	7,098	6,570	8,869
Esquerre	1	Interior	1,156	0,600	0,220	0,796	0,981	0,503
Esquerre	2	Interior	3,262	2,324	0,695	1,055	2,233	0,651
Esquerre	3	Interior	1,349	3,597	1,411	1,752	-	2,215
Esquerre	4	Interior	0,827	0,920	2,444	1,110	3,134	1,364

Que el tractament variable TV40 no ha aplicat el volum de brou necessari ho posa de manifest l'anàlisi de freqüències dels coeficients d'aplicació instantanis resumida a la Taula 8.39. El 41,20% dels coeficients d'aplicació aconseguits estan per sota del coeficient d'aplicació consigna. Tanmateix, només el 3,30% està per sota del 75% de la consigna, que equivaldria a un coeficient d'aplicació de 0,030 L/m<sup>3</sup>. Aquest fet indica que, tot i no assolir la consigna de 0,040 L/m<sup>3</sup>, el tractament resultant hauria de ser equivalent o més favorable que el tractament TV30, cosa que no ha estat així.

Davant d'aquests fets es plantegen dues hipòtesis, els efectes de les quals podrien explicar les baixes deposicions observades:

1. El procés d'aplicació de productes fitosanitaris a una plantació fructícola presenta una alta variabilitat de les deposicions assolides atribuïble a factors no controlables ni quantificables. El succeït en aquest tractament podria ser atribuïble a aquesta variabilitat experimental juntament amb la deguda a la major dificultat de penetració d'una capçada tan gran i densa.
2. Tal com s'ha reconegut al Capítol 7, la sincronització de l'emissió de la polvorització per tal de dipositar-la a la zona objectiu de la capçada és de vital importància en aquest tipus de tractaments. Podria succeir que el paràmetre de sincronització del programa de regulació no hagués estat ajustat correctament o que la velocitat d'avanç del tractor durant la realització del tractament no fos la prefixada per a l'assaig. Aquests dos fets provocarien la deposició del núvol de gotes en una zona anterior o posterior a la zona objectiu de la capçada. La conseqüència d'aquesta hipòtesi és l'aparició de mostres subdosificades i sobredosificades amb el consegüent augment de la variabilitat de la mostra de deposicions.

### 8.3.5 ASSAIG 5 realitzat a la cultivar 'Conference' l'any 2006

L'assaig que es comenta en aquest apartat correspon al realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2006. Aquest assaig ha consistit en comparar el resultat de dos tractaments: un realitzat en mode convencional amb dosificació constant (anomenat Tractament Convencional, TC) i l'altre d'acord amb el Mètode 2 de dosificació variable en temps real a partir d'un sensor lidar. Al tractament variable es va assignar un coeficient d'aplicació consigna de 0,125 L/m<sup>3</sup> i es va anomenar Tractament Variable 125, TV125).

#### 8.3.5.1 Dades meteorològiques

Les dades meteorològiques enregistrades durant l'assaig indiquen diferències reduïdes entre els dos tractaments (Taula 8.49). Malgrat que les diferències de temperatura, humitat relativa i velocitat i direcció del vent poden haver introduït una certa variabilitat addicional a l'assaig, es considera que no han d'alterar la comparació dels tractaments.

**Taula 8.49.-** Dades meteorològiques obtingudes durant l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2006.

TRACTAMENT	PARÀMETRE	TEMPERATURA (°C)	HUMITAT RELATIVA (%)	VELOCITAT DEL VENT (m/s)	DIRECCIÓ DEL VENT (°)*
CONVENCIONAL	Mitjana	18,44	54,84	0,86	15
	Màxim	18,71	59,12	1,59	356
	mínim	18,19	51,78	0,16	108
VARIABLE TV125	Mitjana	19,27	54,42	1,22	45
	Màxim	19,51	57,03	2,43	230
	mínim	19,05	51,80	0,02	2

\* La direcció del vent es considera respecte l'orientació de l'eix de la fila.

#### 8.3.5.2 Anàlisi de la capçada i dels volums aplicats

Les mesures de la capçada indiquen diferències significatives entre els semivolums dels dos costats de la fila tractada. Aquest fet que ha generat una resposta diferenciada important, en termes de volum de brou fitosanitari aplicat per part del prototipus (Taula 8.50).

**Taula 8.50.-** Volums de capçada i característiques de les aplicacions realitzades en els tractaments convencional (TC) i variable (TV125) de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2006.

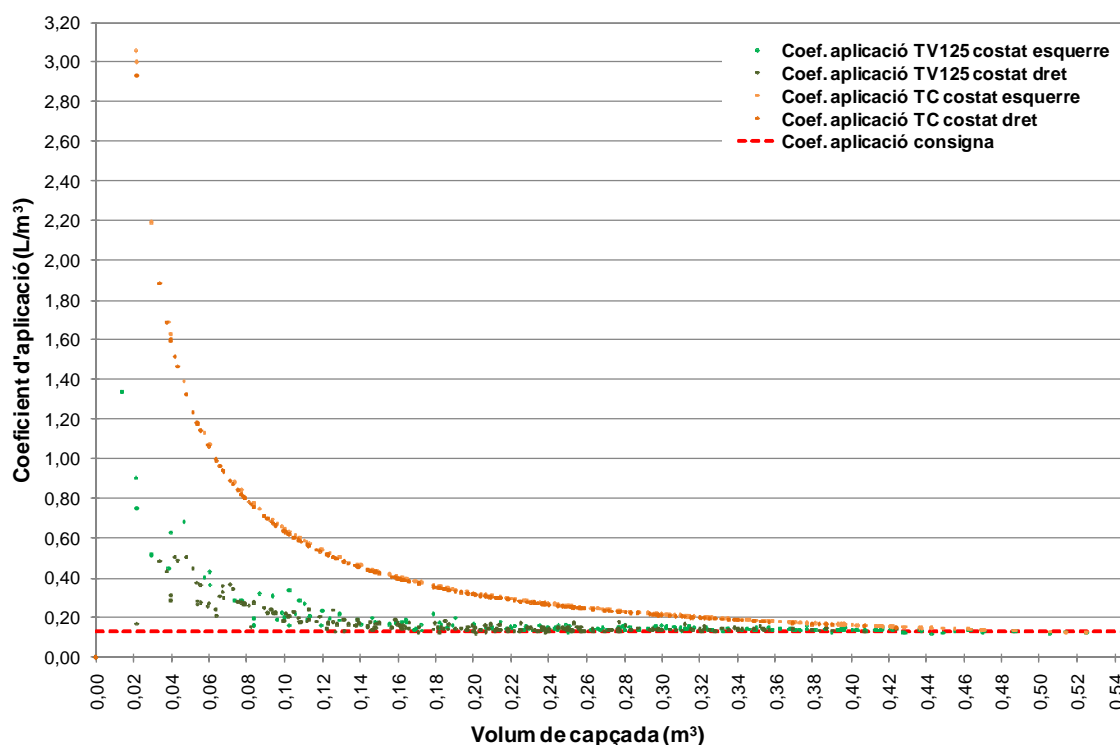
PARÀMETRE	TC	TV125	Diferència TC-TV125
Volum de capçada esquerra (m <sup>3</sup> )		54,78 a	
Volum de capçada dret (m <sup>3</sup> )		39,44 b	
<b>Volum total de capçada (m<sup>3</sup>)</b>		<b>94,23</b>	
Volum aplicat esquerra (L)	12,75	8,09	-36,55%
Volum aplicat dreta (L)	12,75	6,11	-52,08%
<b>Volum total aplicat (L)</b>	<b>25,50</b>	<b>14,20</b>	<b>-44,31%</b>
Volum d'aplicació unitari esquerra (L/ha)	797	506	
Volum d'aplicació unitari dreta (L/ha)	797	382	
<b>Volum d'aplicació unitari total (L/ha)</b>	<b>1594</b>	<b>887</b>	
Coef. aplicació esquerra (L/m <sup>3</sup> )	0,233	0,148	
Coef. aplicació dret (L/m <sup>3</sup> )	0,323	0,155	
<b>Coef. aplicació total (L/m<sup>3</sup>)</b>	<b>0,271</b>	<b>0,151</b>	

\* Lletres diferents impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.



El volum de la capçada estimat en aquest assaig és menor degut a que la caracterització de la vegetació s'ha realitzat amb el sensor lidar que, tal com s'ha descrit al Capítol 6, realitza estimacions molt més precises i ajustades. Per aquest mateix motiu, el coeficient d'aplicació consigna seleccionat ha estat més elevat que en d'altres assajos.

La diferència observada entre els coeficients d'aplicació mitjans dels tractaments es deu al fet que el prototipus Fluxpro 2 aconsegueix que els coeficients instantanis es mantinguin propers al de consigna a partir de volums de capçada de 0,10 m<sup>3</sup> (Figura 8.65). El comportament del tractament convencional és similar al dels altres assajos.



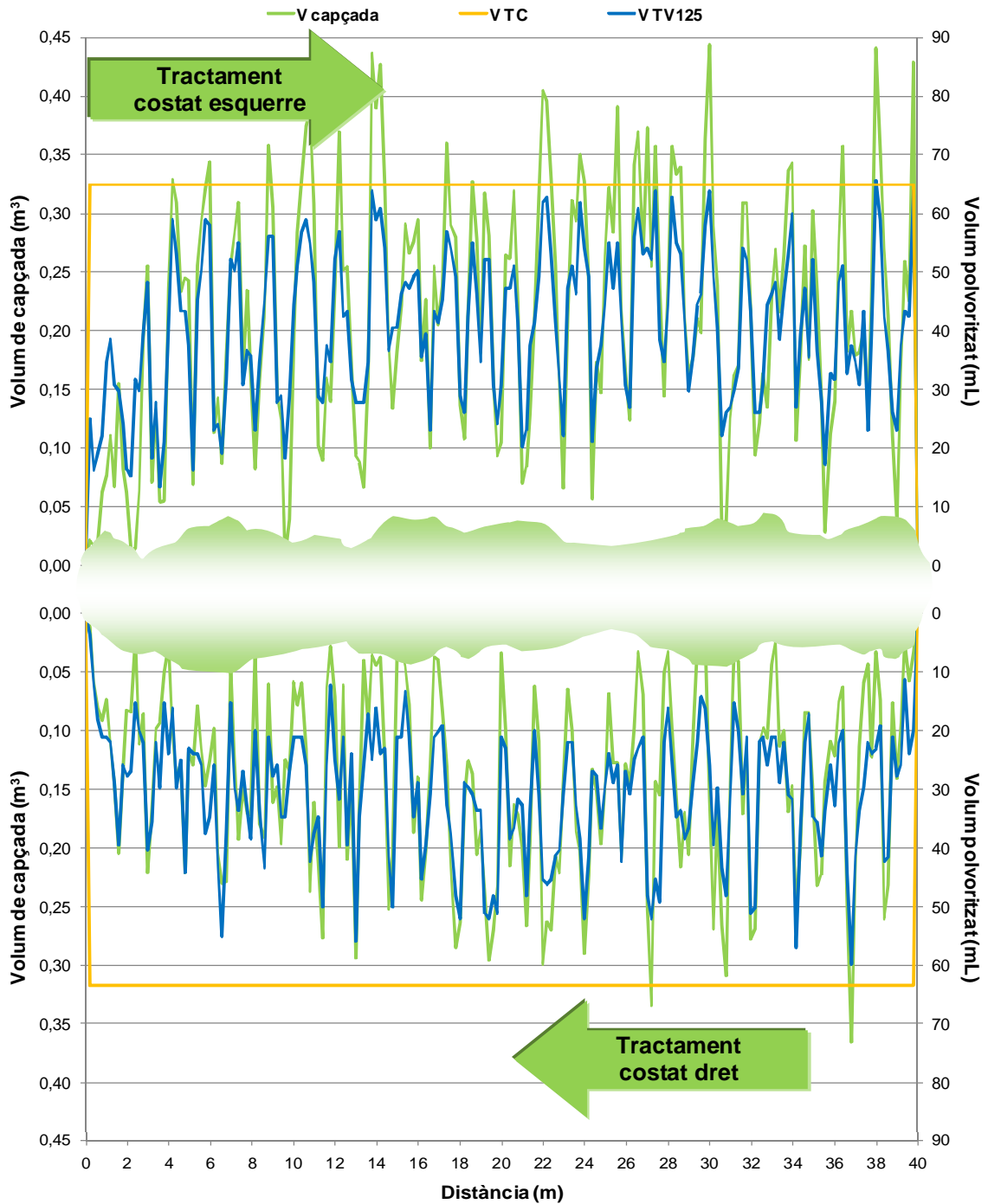
**Figura 8.65.-** Diagrama de dispersió dels coeficients d'aplicació aconseguits en els tractaments convencional TC i variable TV125 en funció del volum de capçada estimat a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2006. La línia roja discontinua representa el coeficient d'aplicació consigna.

A la Taula 8.51 es mostra el resultat de l'anàlisi de freqüències dels coeficients d'aplicació i s'observa que són molt pocs els coeficients menors que el de consigna tant en un tractament com en l'altre. Tanmateix, es manté la tendència del tractament convencional a aplicar coeficients excessius en la major part del tram de fila assajat.

**Taula 8.51.-** Freqüències relatives acumulades de les mostres de coeficients d'aplicació obtingudes en els tractaments convencional (TC) i variable (TV125) a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2006.

Tractament	TV125	TC
Consigna	0,125 L/m <sup>3</sup>	
Mostres inferiors a la consigna	2,70%	0,80%
Mostres inferiors al 90% de la consigna	0,70%	0,70%
Mostres inferiors al 75% de la consigna	0,70%	0,60%
Mostres superiors al 150% de la consigna	18,50%	79,40%
Mostres superiors al 200% de la consigna	11,00%	55,80%

A la Figura 8.66 es mostren els volums de capçada instantanis així com els volums de brou polvoritzats de forma gràfica en cada punt del tram de fila estudiat. El fet de treballar amb el sensor lidar ha limitat la velocitat d'avanç de l'equip i ha reduït la resolució de mostratge fins a 20 cm. Aquest fet es deu a que el dispositiu electrònic de regulació no és capaç de gestionar ràpidament el volum de dades que genera el sensor. La disminució de la resolució de mostratge afecta a la caracterització de la capçada reduint el detall de les mesures. Tanmateix, el volum de producte aplicat ha estat proporcional tant a la microvariabilitat com a la macrovariabilitat de la vegetació.



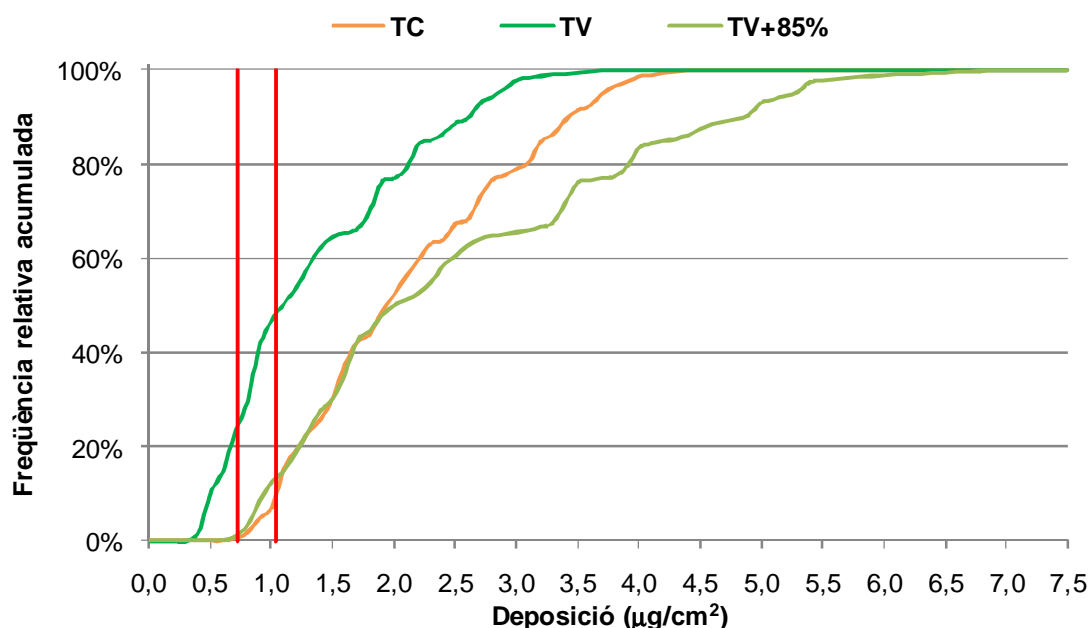
**Figura 8.66.-** Diagrames de dispersió dels volums de capçada i dels volums polvoritzats en el tram de fila on es realitza l'assaig amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2006.

### 8.3.5.3 Anàlisi de la deposició foliar

L'anàlisi dels volums aplicats indica una important reducció del volum líquid aplicat. En aquest apartat s'analiza la deposició foliar aconseguida en els tractaments realitzats i es comprova que la reducció del brou aplicat amb dosificació variable no representi una disminució de la qualitat respecte del tractament convencional. A partir de la Taula 8.52 s'arriba a la conclusió que cal majorar la concentració del brou del tractament variable per tal de reduir el nombre de mostres per sota la deposició òptima mínima i igualar-les al tractament convencional. Després de la majoració, el nombre de mostres dins l'interval òptim de deposició continua essent major en el tractament variable. Aquest fet es justifica pel comportament de la corba de freqüències relatives acumulades de la Figura 8.67.

**Taula 8.52.-** Percentils i freqüències relatives acumulades de les mostres de deposició foliar dels tractaments convencional TC i variable TV125 a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2006. El tractament variable s'ha majorat per a igualar el tractament convencional en el nombre de mostres subdosificades.

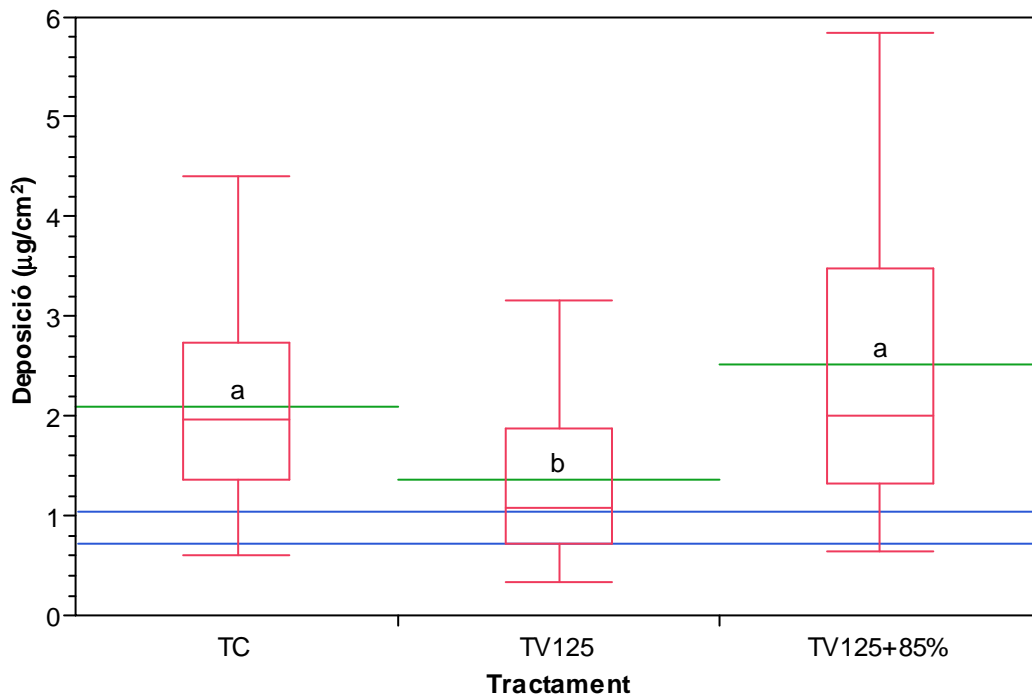
Tractament	TC	TV125	TV125+85%
Percentil corresponent a 100 gotes/cm <sup>2</sup>	8,00%	47,90%	12,40%
Percentil corresponent a 70 gotes/cm <sup>2</sup>	0,80%	25,60%	0,80%
Deposicions dins l'interval òptim	7,20%	22,30%	11,60%
Deposicions majors que l'òptima	92,00%	52,10%	87,60%
Deposicions menors que l'òptima	0,80%	25,60%	0,80%



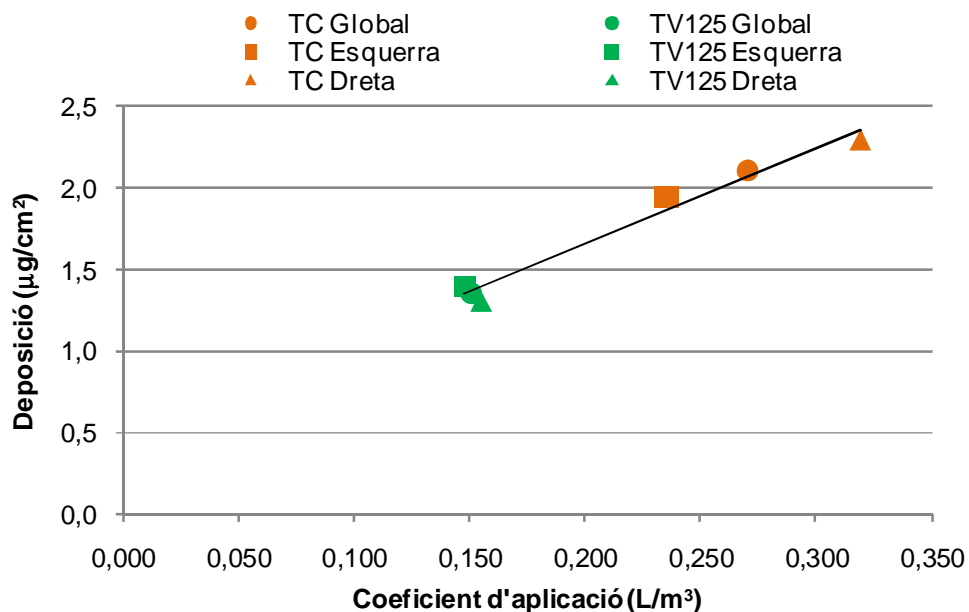
**Figura 8.67.-** Freqüències relatives acumulades de les deposicions corresponents als tractaments de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2006. Les línies roges verticals representen les deposicions òptimes mínima i màxima.

Les mostres de deposicions obtingudes es representen en diagrames de caixa a la Figura 8.68. El tractament TV125 ha donat una deposició mitjana inferior a la del tractament convencional. Tanmateix, després de ser majorat, la deposició del tractament variable ha esdevingut superior i la mostra ha presentat més dispersió. A la Figura 8.69, on es representa la correlació entre deposicions mitjanes i coeficient d'aplicació mitjans, es veu que el tractament variable ha aconseguit mantenir propers els coeficients aplicats a diferents volums de capçada i dipositar

quantitats similar de traçador. S'observa que el model de regressió lineal simple aplicat té un ajust molt bo tot i que, a efectes pràctics, només intervenen quatre parelles de dades.



**Figura 8.68.-** Diagrames de caixa de les mostres de deposició foliar obtingudes a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2006. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les blaves delimiten la zona de deposició òptima. Lletres diferents impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.



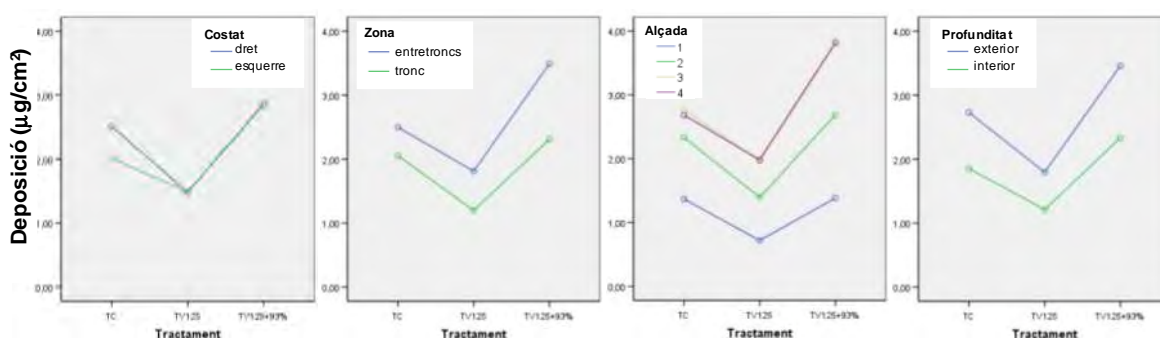
**Figura 8.69.-** Diagrama de dispersió de les deposicions foliar en funció dels coeficients d'aplicació a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2006. El coeficient de determinació del model de regressió lineal simple ajustat és  $R^2=0,98$ .

### 8.3.5.3.1 Anàlisi de la variància del conjunt de mostres de deposició foliar

De la prova d'anàlisi de la variància del conjunt de mostres de deposició de tots els tractaments, el que es detalla són els efectes del factor principal *Tractament* així com els de les seves

interaccions. La resta de factors i interaccions s'han analitzat de forma individual. El factor *Tractament* té, per sí mateix, un efecte significatiu sobre les deposicions aconseguides i, alhora, interacciona amb significació amb la resta de factors.

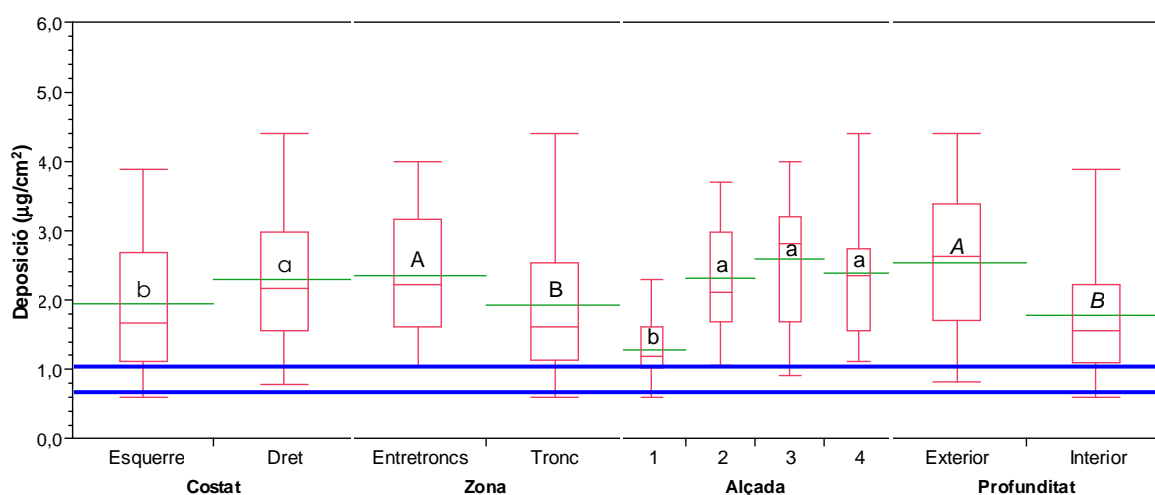
A la Figura 8.70 es mostren les gràfiques de les mitjanes de les interaccions amb els factors *Costat*, *Zona*, *Alçada* i *Profunditat*. L'efecte de la interacció entre *Tractament* i *Costat* resulta significativa a causa del tractament convencional, que obté deposicions diferents en funció del costat de la fila. En referència a la interacció amb el factor *Zona*, s'observa que els dos tractaments introdueixen diferències entre la *Zona Tronc* i la *Zona Entretroncs* malgrat que en el tractament variable majorat són majors. El mateix succeeix en la interacció amb el factor *Alçada*. Tanmateix, en la interacció amb el factor *Profunditat*, l'efecte de la interacció és significatiu a causa del diferent comportament entre els tractaments TV125 i el seu homònim majorat.



**Figura 8.70.-** Deposicions mitjanes obtingudes en funció dels factors *Costat*, *Zona*, *Alçada* i *Profunditat* obtingudes en cada tractament de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2006.

### 8.3.5.3.2 Anàlisi de la variància de les deposicions foliar del tractament TC

La prova d'anàlisi de la variància realitzada a les deposicions del tractament convencional posa de manifest l'efecte significatiu dels factors principals *Costat*, *Zona*, *Alçada* i *Profunditat* (Figura 8.71).



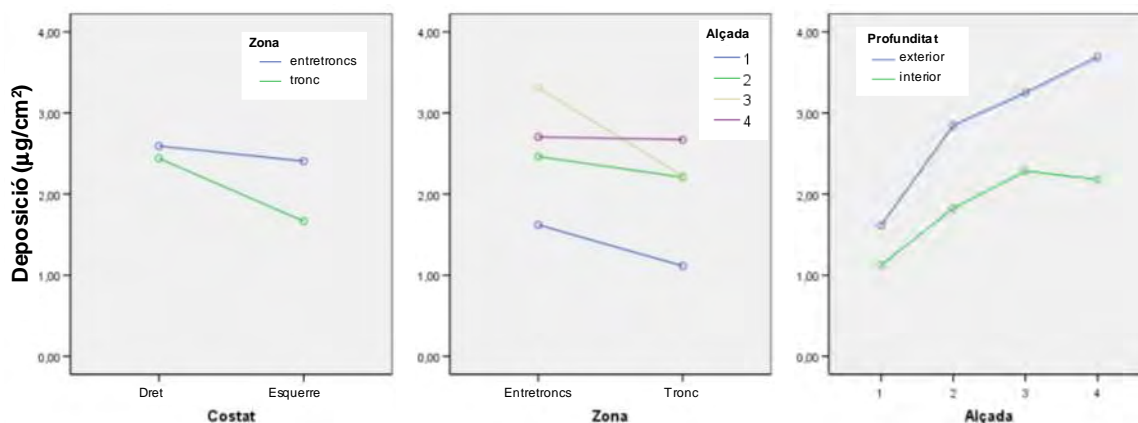
**Figura 8.71.-** Diagrames de caixa de les mostres de deposició foliar obtingudes en el tractament convencional de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2006. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les blaves delimiten la zona de deposició òptima. Lletres diferents amb el mateix estil impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$ .

A la Taula 8.53 s'observa l'alt grau de significació dels efectes principals amb valors-*p* iguals a zero. Les interaccions que introdueixen efectes significatius són la que es dona entre *Costat* i *Zona*, *Zona* i *Alçada* i entre *Alçada* i *Profunditat*. A la Figura 8.72 esquerra es pot veure que l'efecte significatiu de la interacció entre *Costat* i *Zona* es deu a que al *Costat Dret*, amb menys vegetació, les deposicions són majors i la diferència entre zones és menor que al *Costat Esquerra*. Pel que fa a la interacció entre *Zona* i *Alçada* (Figura 8.72 centre), el comportament de l'*Alçada 3* es pot explicar per la major exposició que té aquesta alçada a la *Zona Entretroncs*, que presenta menys vegetació. La darrera interacció significativa (Figura 8.72 dreta), s'explica per la diferent evolució de les deposicions exteriors i interiors a les diferents alçades, sobretot en l'*Alçada 4*.

**Taula 8.53.-** Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzada a les mostres de deposició foliar del tractament convencional de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2006.

Factors	Valor- <i>p</i> <sup>1</sup>
Model	0,000
Intersecció	0,000
<i>Costat</i>	0,000
<i>Zona</i>	0,000
<i>Alçada</i>	0,000
<i>Profunditat</i>	0,000
<i>Costat</i> * <i>Zona</i>	0,047
<i>Costat</i> * <i>Alçada</i>	0,902
<i>Zona</i> * <i>Alçada</i>	0,045
<i>Costat</i> * <i>Profunditat</i>	0,152
<i>Zona</i> * <i>Profunditat</i>	0,407
<i>Alçada</i> * <i>Profunditat</i>	0,008

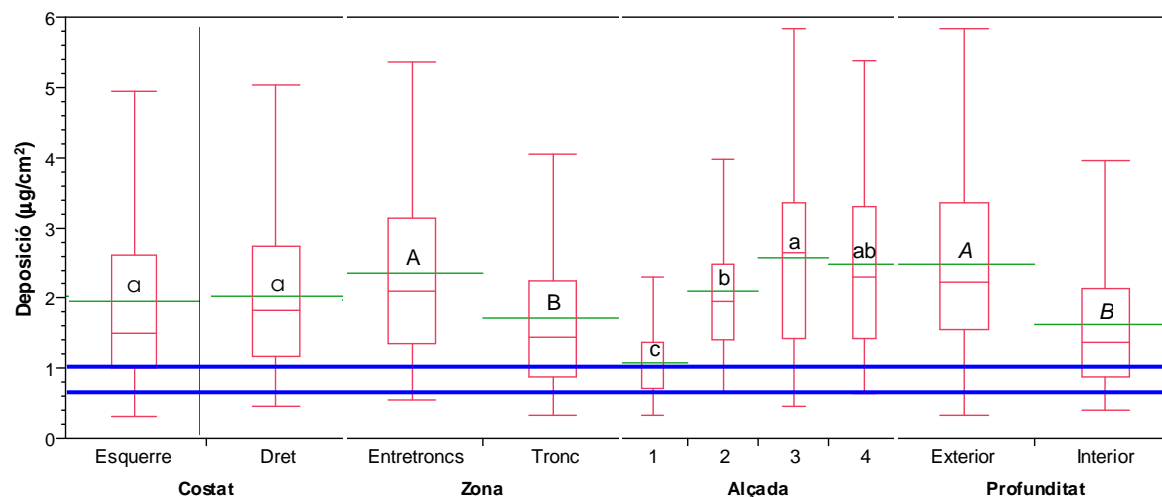
<sup>1</sup> Valors-*p* per sota el nivell de significació ( $\alpha=0,05$ ) impliquen significació del factor o interacció.



**Figura 8.72.-** Deposicions mitjanes de les diferents interaccions de factors amb efectes significatius sobre la deposició en cada tractament de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2006.

### 8.3.5.3.3 Anàlisi de la variància de les deposicions foliar del tractament TV125+85%

A la Figura 8.73 es mostren els diagrames de caixa de les deposicions obtingudes en el tractament TV125 i a la Taula 8.54 els valors-*p* de cadascun dels factors i les seves interaccions.



**Figura 8.73.-** Diagrames de caixa de les mostres de deposició foliar obtingudes en el tractament variable TV125 de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2006. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals i les blaves delimiten la zona de deposició òptima. Lletres diferents amb el mateix estil impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$ .

El tractament variable compensa la diferència de vegetació entre els costats de la fila aplicant un volum de brou diferent. Aquest fet ha aconseguit dipositar una quantitat de traçador equivalent als dos costats deixant de fer significatiu l'efecte d'aquest factor. La resta de factors continuen essent significatius amb valors-*p* iguals a zero així com les interaccions significatives, que són les mateixes que en el tractament convencional (Taula 8.53).

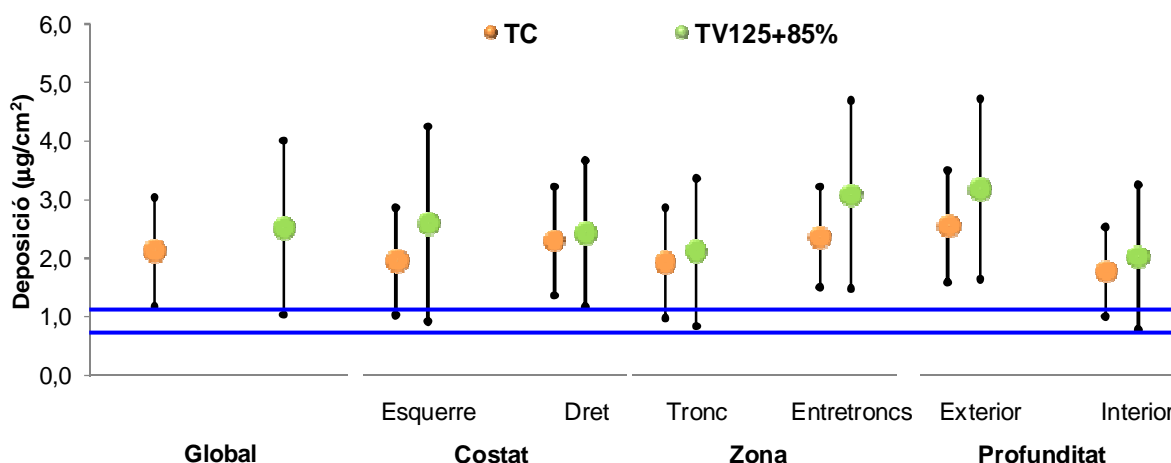
**Taula 8.54.-** Resum de la prova d'anàlisi de la variància realitzada a les mostres de deposició foliar del tractament amb dosificació variable TV125 de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2006.

Factors	Valor- <i>p</i> <sup>1</sup>
Model	0,000
Intersecció	0,000
Costat	0,663
Zona	0,000
Alçada	0,000
Profunditat	0,000
Costat * Zona	0,030
Costat * Alçada	0,590
Zona * Alçada	0,000
Costat * Profunditat	0,065
Zona * Profunditat	0,793
Alçada * Profunditat	0,000

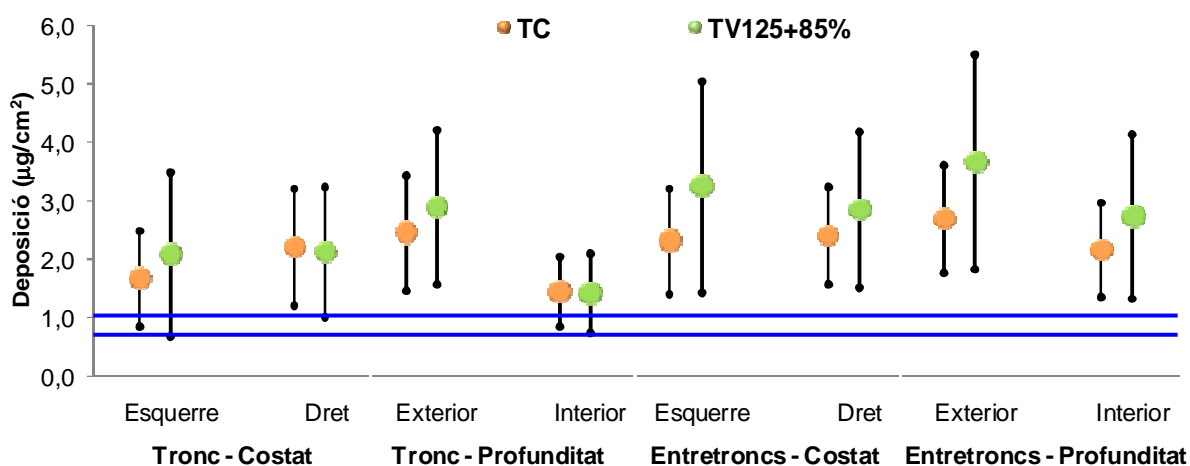
<sup>1</sup> Valors-*p* per sota el nivell de significació ( $\alpha=0,05$ ) impliquen significació del factor o interacció.

### 8.3.5.3.4 Resum gràfic de la deposició foliar

Com a resum de les anàlisis de les deposicions foliars es presenten la Figura 8.74 i la Figura 8.75. En elles es representen les deposicions mitjanes i les desviacions estàndard corresponents al tractament convencional i al tractament variable. Com es pot observar, la majoració del brou fitosanitari en el tractament TV125+85% ha provocat un increment excessiu de les deposicions mitjanes aconseguides i de la variabilitat de les mostres.



**Figura 8.74.-** Gràfiques de deposicions foliars globals mitjanes (esquerra) i de les mitjanes parcials en funció dels factors *Zona*, *Costat* i *Profunditat* (dreta) aconseguides amb el tractament convencional (TC) i el tractament variable majorat (TV125+85%) realitzats amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2006. Les barres negres indiquen la desviació estàndard de cada mostra. Les línies blaves delimiten la zona de deposició òptima.

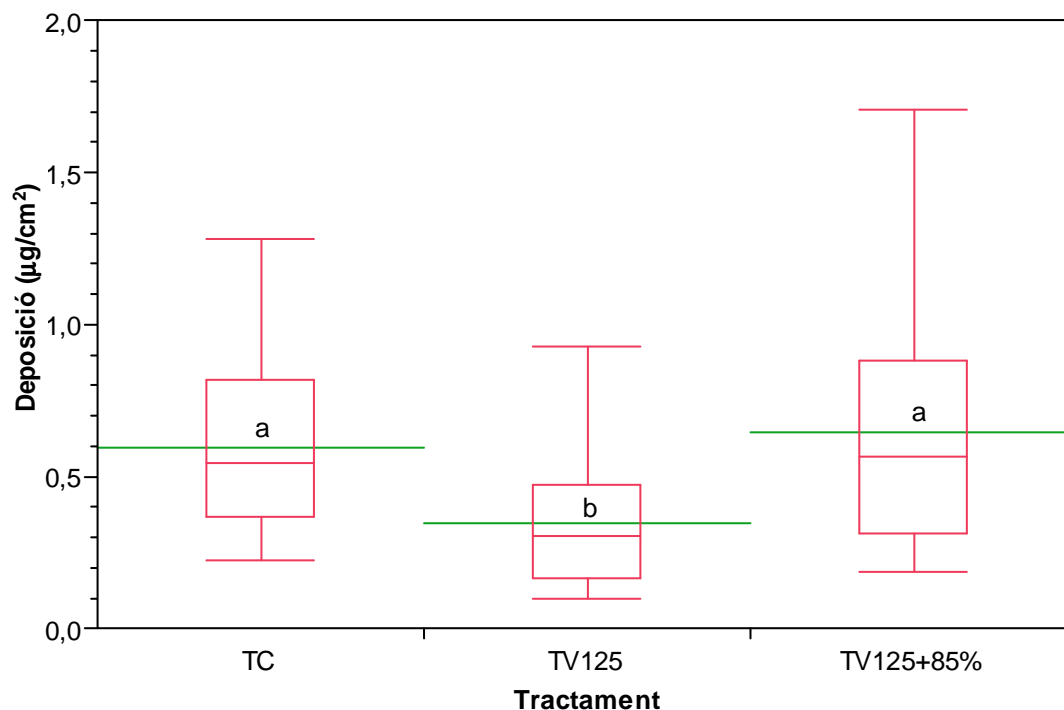


**Figura 8.75.-** Gràfiques de deposicions foliars mitjanes parcials a la *Zona Tronc* (esquerra) i entretrons (dreta) aconseguides amb el tractament convencional (TC) i el tractament variable majorat (TV125+85%) realitzats amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2006. Les barres negres indiquen la desviació estàndard de cada mostra. Les línies blaves delimiten la zona de deposició òptima.



### 8.3.5.4 Anàlisi de la deposició a terra

A la Figura 8.76 es mostren els diagrames de caixa corresponents a les mostres de deposició a terra. Tot i que el tractament TV125 provoca menys pèrdues a terra, una vegada majorat les pèrdues es poden considerar equivalents. A la Taula 8.55 es mostren alguns estadístics descriptius de les deposicions a terra.



**Figura 8.76.-** Diagrames de caixa de les mostres de deposició a terra obtingudes a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2006. Les línies verdes representen les mitjanes mostrals. Lletres diferents impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.

**Taula 8.55.-** Estadístics descriptius de les mostres de deposició a terra obtingudes a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2006.

Tractament	TC	TV125	TV125+85%
Deposició mitjana ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	0,60 a	0,35 b	0,65 a
Desviació estàndard ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	0,27	0,20	0,37
Observacions	36	36	36

\* Lletres diferents en files impliquen diferències amb un nivell de significació  $\alpha=0,05$  segons prova de Tukey-Kramer.

### 8.3.5.5 Anàlisi de les dosis aplicades

A la Taula 8.56 es mostren les dosis aconseguides amb el tractament convencional i els variables. Com es pot observar, el tractament variable aconsegueix una gran reducció de la quantitat de traçador aplicada però, una vegada majorat, la dosi resultant és lleugerament superior a la del tractament convencional.

**Taula 8.56.-** Dosis de traçador aplicades en els diferents tractament de l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2006. El tractament variable s'ha majorat per a igualar el tractament convencional en el nombre de mostres subdosificades.

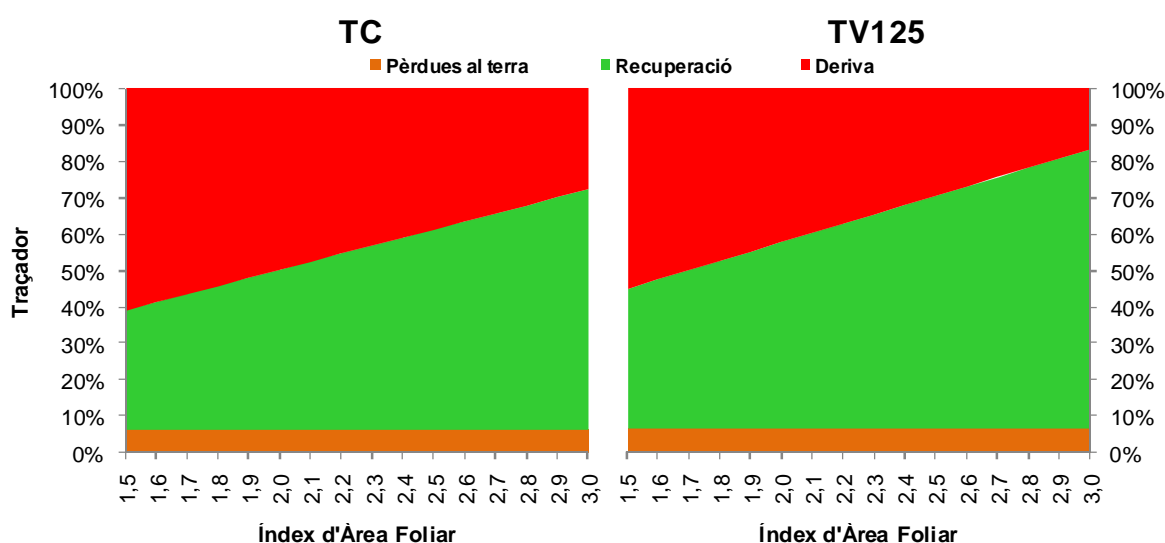
Tractament	TC	TV125	Dif. TC- TV125	TV125+85%	Dif. TC-TV125+85%
Concentració dipòsit (mg/L)	600	600	0,00%	1.109	+85,03%
Dosi aplicada esquerra (g/ha)	478	303	-36,61%	561	+16,02%
Dosi aplicada dreta (g/ha)	478	229	-52,09%	423	-10,32%
<b>Dosi aplicada total (g/ha)</b>	<b>956</b>	<b>532</b>	<b>-44,35%</b>	<b>984</b>	<b>+3,00%</b>

### 8.3.5.6 Anàlisi de les eficiències d'aplicació

A la Taula 8.57 es mostren els valors d'eficiència d'aplicació en funció del valor d'índex d'àrea foliar i de les pèrdues de traçador a terra relatives en cada tractament. Com es pot apreciar, l'eficiència d'aplicació del tractament variable és major que la del convencional. Les pèrdues a terra relatives són molt similars en els dos tractaments i, per tant, les diferències no afecten excessivament la distribució final. A la Figura 8.77 es representa la distribució relativa del traçador aplicat en un rang de valors d'IAF en el que es troba el de la plantació assajada. Donat que en el tractament variable s'aconsegueix dipositar un 16% més de traçador a la capçada i les pèrdues són pràcticament iguals, les pèrdues per deriva relatives resulten menors.

**Taula 8.57.-** Valors d'eficiències d'aplicació i pèrdues relatives obtinguts en els tractaments convencional i variable a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2006.

	TC	TV125/TV125+85%
$\epsilon_{ap}$ (adimensional)	0,220-IAF	0,256-IAF
$\Delta\epsilon_{ap}$ respecte a TC	-	+15,99%
Pèrdues a terra relatives (adimensional)	0,062	0,066
$\Delta$ Pèrdues a terra respecte a TC	-	+5,21%
Pèrdues per deriva relatives (adimensional)	0,938-0,220-IAF	0,934-0,256-IAF
$\Delta$ Pèrdues per deriva respecte a TC	-	-9,24% a -39,40%
Pèrdues totals relatives (adimensional)	1-0,220-IAF	1-0,256-IAF
$\Delta$ Pèrdues totals respecte a TC	-	-7,89% a -31,20%

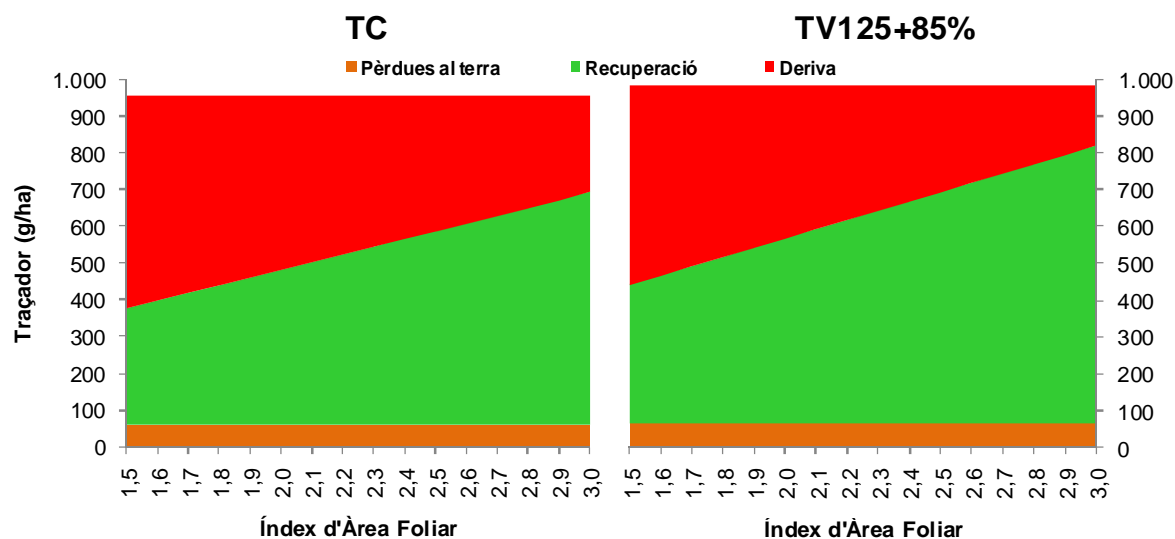


**Figura 8.77.-** Gràfiques de la distribució relativa del traçador aplicat en el tractament convencional (TC) i en el variable (TV125) a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2006.

A la Taula 8.58 es relacionen els valors absoluts de les diferents fraccions de traçador aplicades. A la Figura 8.78 es mostren les gràfiques que recullen els diferents valors de cada fracció de traçador en funció de l'IAF per a un rang de valor en el que es troba l'IAF de la plantació assajada. El tractament variable és el que aconsegueix més deposició a la capçada amb les mateixes pèrdues a terra; en conseqüència, és el tractament que genera menys deriva.

**Taula 8.58.-** Valors de recuperació i pèrdues absolutes obtinguts en els tractaments convencional i variable a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2006.

	TC	TV125+85%
Recuperació (g/ha)	210,62·IAF	251,62·IAF
ΔRecuperació respecte a TC		+19,47%
Pèrdues a terra (g/ha)	59,54	64,52
ΔPèrdues a terra respecte a TC		+8,37%
Pèrdues per deriva (g/ha)	896,11-210,62·IAF	919,83-251,62·IAF
ΔPèrdues per deriva respecte a TC		-6,51% a -37,58%
Pèrdues totals (g/ha)	956-210,62·IAF	984-251,62·IAF
ΔPèrdues totals respecte a TC		-5,13% a -29,13%



**Figura 8.78.-** Gràfiques de la distribució absoluta del traçador aplicat en el tractament convencional (TC) i en el variable majorats (TV125+85%) a l'assaig realitzat amb el prototipus Fluxpro 2 en una plantació de *Pyrus communis* L. cv. 'Conference' l'any 2006.

## 8.4 Anàlisi conjunta dels tractaments

---

### 8.4.1 Interpretació dels indicadors comparatius

La discussió conjunta dels cinc assajos realitzats s'ha dut a terme a partir de l'anàlisi del comportament de cada tractament en relació a 13 indicadors. Els 13 paràmetres seleccionats han permès establir quin ha estat el millor tractament de cada assaig de manera objectiva i analitzar la freqüència dels comportaments observats en els diferents assajos. La solució adoptada és deguda a que la variabilitat en les condicions de treball dels assajos fa difícil aplicar eines estadístiques convencionals amb garanties.

Per tal d'identificar el millor tractament de cada assaig, s'ha procedit a fer una gradació de cada paràmetre analitzat en favorable i desfavorable, en el cas d'assajos amb només dos tractaments, i en favorable, desfavorable i mig, en cas de tres o més tractaments. La posició de cada tractament en la gradació de cada indicador s'ha representat a la Taula 8.59 amb un codi de colors: el verd representa el tractament més favorable, el vermell el més desfavorable i el taronja, l'intermig. La graduació de cada paràmetre en favorable o desfavorable depèn de cadascun dels factors analitzats i de la seva repercussió en el resultat del tractament i en el medi ambient, d'acord amb les anàlisis realitzades per a cada assaig als apartats anteriors. Els paràmetres seleccionats estan relacionats amb l'eficàcia i l'eficiència del tractament, les pèrdues de productes fitosanitaris al medi ambient i la variabilitat de les deposicions aconseguïdes. La majoria dels paràmetres seleccionats són reconeguts i emprats àmpliament per la comunitat investigadora en l'anàlisi de les tècniques d'aplicació de productes fitosanitaris. Altres paràmetres han estat inclosos arran de les anàlisis dutes a terme als tractaments individuals.

#### Paràmetres relacionats amb l'eficàcia i l'eficiència del tractament

- Majoració de la concentració del brou: majoracions majors del 50% es consideren desfavorables, entre el 50% i el 15% es consideren intermitges i menors del 15% es consideren favorables.
- Depositions dins l'interval òptim: s'expressa en percentatge respecte el total de mostres. Es considera favorable el tractament amb el percentatge més elevat.
- Coeficient d'aplicació mitjà obtingut: es considera favorable el tractament que aconsegueix un coeficient d'aplicació mitjà més proper al coeficient de consigna (assajos 3, 4 i 5). En el cas dels assajos 1 i 2, es considera favorable el tractament que presenta un coeficient més reduït donat que aconsegueix resultats d'eficàcia teòrica similars emprant menys volum de brou.
- Diferència entre dosis mitjanes distribuïdes: s'expressa en percentatge respecte la dosi distribuïda en el tractament convencional. Així, una reducció de la dosi en els tractaments variables comporta un percentatge negatiu, i viceversa. Es considera favorable el tractament amb la reducció més elevada donat que, tanmateix, obté els mateixos resultats que altres amb dosis majors en termes d'eficàcia teòrica.
- Diferència entre eficiències d'aplicació: s'expressa en percentatge respecte l'eficiència del tractament convencional. Així, un increment de l'eficiència d'aplicació en els tractaments variables comporta un percentatge positiu, i viceversa. Es considera favorable el tractament que assoleix el percentatge més elevat.

### Paràmetres relacionats amb les pèrdues de productes fitosanitaris

- Diferències entre pèrdues a terra, pèrdues per deriva i pèrdues totals: s'expressen en percentatge respecte les pèrdues produïdes pel tractament convencional. Així, un decrement de les pèrdues en els tractaments variables comporta un percentatge negatiu, i viceversa. Es considera favorable el tractament que origina una reducció més elevada de les pèrdues i, per tant, és més respectuós amb el medi ambient.

### Paràmetres relacionats amb la variabilitat de les deposicions

- Diferència de desviacions estàndard globals: s'expressa en percentatge respecte la desviació estàndard global del tractament convencional. Així, una reducció de la desviació estàndard global en els tractaments variables s'indica amb un percentatge negatiu, i viceversa. Es considera favorable el tractament que origina la reducció de la desviació estàndard més elevada i, per tant, té menys variabilitat en les deposicions foliars.
- Comportament dels factors *Costat*, *Zona*, *Alçada* i *Profunditat*: fruit de l'anàlisi de la variabilitat de les mostres de cada tractament es coneix l'efecte que cadascun d'aquests quatre factors ha tingut sobre la deposició. La significació del factor en cada tractament es representa amb un símbol “-” i la no significació amb el símbol “+”. Es considera favorable aquell tractament en que el factor estudiat no resulta significatiu, la qual cosa indica que el resultat de l'aplicació no s'ha vist influenciat per aquest factor.

En general, a la Taula 8.59 s'observa que els tractaments realitzats amb el prototipus dissenyat han comportat una reducció del volum de brou fitosanitari aplicat. La reducció aconseguida ha estat directament proporcional als coeficients d'aplicació mitjans assolits. Com a conseqüència, en tots els casos excepte un (el tractament TV50 de l'Assaig 2) ha calgut majorar la concentració de brou al dipòsit per tal que l'eficàcia teòrica del tractament no es veiés compromesa (veure apartat 8.2.6.3 Anàlisi de la qualitat dels tractaments). S'observa que com major ha estat la reducció de brou aplicat major ha estat la majoració requerida (a excepció del tractament TV40 de l'Assaig 4).

### 8.4.2 Quant a la deposició aconseguida

Una vegada majorats els tractaments que així ho han requerit, la majoria de tractaments variables han aconseguit major proporció de mostres amb deposició dins l'interval de deposicions òptimes.

### 8.4.3 Quant a la dosi aplicada i les pèrdues de producte fitosanitari

En tots els assajos, la dosi aconseguida amb els tractaments variables ha estat igual o inferior a l'aconseguida amb els tractaments convencionals sense comprometre la seva eficàcia teòrica (veure apartat 8.2.6.3 Anàlisi de la qualitat dels tractaments). Aquest fet s'explica a partir de l'observació de les pèrdues. Si bé en els assajos 1 i 5 les pèrdues a terra han estat superiors en els tractaments variables, la seva magnitud ha estat molt poc important en referència a la recuperació sobre les fulles i a les pèrdues per deriva. Aquestes darreres pèrdues han estat sempre superiors o molt superiors en els tractaments convencionals.

**Taula 8.59.-** Comparació conjunta dels assajos de validació. Valors de diferències (Dif.) positius indiquen increment i valors negatius indiquen decrement. Els símbols “+” i “-” indiquen comportaments favorables o desfavorables del paràmetre analitzat, respectivament. El color verd indica el tractament més favorable, el vermell indica el més desfavorable i el taronja el que està entremig en relació al paràmetre analitzat i dins de cada assaig.

PARÀMETRE ANALITZAT	ASSAIG 1 cv. 'Conference'		ASSAIG 2 cv. 'Golden'				ASSAIG 3 cv. 'Conference'			ASSAIG 4 cv. 'Top red'			ASSAIG 5 cv. 'Conference'	
	TC*	TV*	TC*	TV90*	TV70*	TV50*	TC*	TV35*	TV40*	TC*	TV30*	TV40*	TC*	TV125*
<b>EFICÀCIA I EFICIÈNCIA</b>														
Majoració (%)		14		44	26	0		48	4		46	468		85
Deposicions en interval òptim (%)	0,90	11,80	22,80	25,00	22,20	16,40	9,50	5,70	13,60	0,00	5,00	0,60	7,20	11,60
Coeficient d'aplicació mitjà (L/m³)	0,060	0,031	0,045	0,022	0,025	0,027	0,064	0,041	0,044	0,054	0,036	0,041	0,271	0,151
Diferència dosis mitjanes (%)		-41,33		-29,03	-29,11	-38,22		-0,16	-28,85		-4,41	+332,74		+3,00
Dif. eficiències d'aplicació (%)		+23,89		+25,04	+35,03	+57,13		+6,52	+17,07		+1,37	-8,10		+15,99
<b>PÈRDUES PRODUCTE</b>														
Dif. pèrdues terra absolutes (%)		+56,04		+39,52	-2,87	-9,28		-6,62	-23,55		-26,86	+204,03		+8,37
Dif. pèrdues deriva absolutes (%)		-50,71 a -63,44		-37,96 a -44,10	-37,02 a -44,54	-48,92 a -59,48		-2,58 a -13,02	-36,28 a -59,16		-2,57 a +0,27	+391 a +899		-6,51 a -37,58
Dif. pèrdues totals absolutes (%)		-46,06 a -55,58		-33,18 a -37,84	-34,91 a -41,42	-46,47 a -55,72		-3,16 a -11,32	-34,46 a -49,69		-5,70 a -12,95	+367 a +560		-5,13 a -29,13
Dif. desviació estàndard global (%)		-29,57		-25,09	-20,03	-25,55		+9,22	-8,47		+6,16	+394,7		+59,85
<b>VARIABILITAT DEPOSICIONS FOLIARS</b>														
Comportament factor <i>Costat</i>	+	+	+			+	+	-	-	-	+	+	-	+
Comportament factor <i>Zona</i>			-			+	+	+	+	+	+	+	-	-
Comportament factor <i>Alçada</i>	-	-	-			-	-	-	-	-	-	-	-	-
Comportament factor <i>Profunditat</i>	-	-	-			-	-	-	-	-	-	-	-	-

\* TC: tractament convencional; TV: tractament variable. Els valors numèrics identifiquen els tractaments variables.

#### **8.4.4 Quant a la variabilitat de les deposicions**

En referència a la variabilitat de les deposicions, representada per la desviació estàndard de cada mostra, els tractaments variables que han estat poc majorats han presentat una dispersió menor que la del tractament convencional equivalent. Els tractaments amb una majoració elevada han presentat una variabilitat similar o superior. Tanmateix, l'increment en la desviació estàndard dels tractaments variables dels assajos 4 i 5 podria ser degut a la deficient sincronització de la polvorització amb la capçada. Aquest fet podria provocar deposicions baixes que podrien explicar la major variabilitat de les mostres.

#### **8.4.5 Quant al comportament dels prototipus**

Pel que fa al comportament dels prototipus en funció dels factors estudiats *Costat*, *Zona*, *Alçada* i *Profunditat*, s'observa que varia en funció dels assajos sense una tendència clara. Tanmateix, en quatre dels cinc assajos, el sistema de regulació del prototipus variable ha tingut en compte les diferències de vegetació entre costats de la capçada i ha aconseguit deposicions similars a banda i banda de la fila. En tres de quatre assajos, el prototipus variable ha tingut en compte les diferències de volum de capçada existents entre la *Zona Tronc* i la *Zona Entretroncs* (en l'Assaig 1 no es va analitzar aquest factor) i ha aconseguit no provocar diferències de deposició mitjana. En referència als factors *Alçada* i *Profunditat*, el seu mal comportament no és degut al tipus de tractament realitzat sinó al mateix polvoritzador donat que tots els tractaments presenten diferències significatives en cada factor.

## 8.5 Conclusions particulars referents als assajos de validació

---

El Mètode 1 de dosificació variable, dut a la pràctica amb el prototipus Fluxpro1, ha aconseguit tractaments més eficients (entre un 23,89% i un 57,13%), menys contaminants (entre un 33,18% i un 55,72%) i més uniformes (entre un 20,03% i un 29,57%) que els tractaments convencionals en els quatre tractaments variables analitzats.

El Mètode 2 de dosificació variable, dut a la pràctica amb el prototipus Fluxpro 2, permet incrementar l'eficiència dels tractaments (entre un 1,37% i un 17,07%) i reduir la contaminació (entre un 3,16% i un 49,69%) en relació als tractaments convencionals en quatre dels cinc tractaments variables realitzats.

Degut a que el polvoritzador emprat per a la validació del Mètode 2 és un equip més modern i evolucionat i està dotat de deflectors verticals que condueixen millor la polvorització vers la capçada, les millores aconseguides són relativament menys importants que les obtingudes amb l'equip convencional emprat a la fase inicial amb el que s'ha contrastat el Mètode 1. Això demostra que, a mesura que s'avança en el coneixement i s'empra tecnologia més avançada, millores addicionals requereixen d'esforços més importants.

El Mètode 2 presenta una dosificació més ajustada a les dimensions de la capçada que el Mètode 1. Una dosificació tan ajustada pot provocar deposicions per sota del límit desitjable en alguna zona de la capçada. Aquest fet posa de manifest la necessitat de continuar experimentant per a arribar a establir paràmetres de dosificació que ofereixin garanties suficients en termes d'eficàcia, eficiència i contaminació.

El paràmetre de dosificació emprat pel Mètode 2, el coeficient d'aplicació, és un element clau en l'èxit dels tractaments variables. Si s'opta per la comercialització d'aquest mètode, serà necessari realitzar un treball experimental addicional per tal de tabular els coeficients d'aplicació òptims per a cada plantació i per a cada estadi vegetatiu.

Cal perfeccionar la metodologia per a sincronitzar correctament la detecció de la capçada objectiu i l'emissió del cabal polvoritzat. És possible que una deficient sincronització hagi provocat un cert augment de la variabilitat de les deposicions en els tractaments variables dels assajos 4 i 5.







# **Conclusions generals**



A més de les conclusions particulars exposades al Capítol 6 sobre la caracterització de la capçada en temps real, al Capítol 7 sobre la implementació del prototipus i al Capítol 8 sobre els assajos de validació dels mètodes de dosificació, el present treball de recerca ha arribat a les següents conclusions generals:

#### QUANT A LA HIPÒTESI 1:

**Conclusió 1.** És possible desenvolupar un sistema per a la caracterització de la capçada que permeti la seva detecció i quantificació de forma suficientment precisa com per ser emprat en dosificació variable.

**Conclusió 2.** La caracterització de la capçada mitjançant el sistema desenvolupat permet validar la Hipòtesi 1 de partida, en posar de manifest una elevada variabilitat que perjudica les aplicacions de productes fitosanitaris. Aquesta variabilitat s'ha desglossat en dos components. La macrovariabilitat, atribuïble a l'efecte ambiental sobre el desenvolupament de les capçades i la microvariabilitat, inherent a la mateixa estructura dels arbres.

#### QUANT A LA HIPÒTESI 2:

**Conclusió 3.** És possible desenvolupar un sistema electrònic de regulació capaç d'utilitzar la informació generada pel sistema de caracterització de la capçada, aplicar el mètode de dosificació desenvolupat i comandar els actuadors responsables de la regulació del prototipus per a aplicar el brou fitosanitari requerit en el marc de les anomenades tecnologies de dosificació variable. Aquest sistema és justament el que permet validar la Hipòtesi 2 de partida.

#### QUANT A LA HIPÒTESI 3:

**Conclusió 4.** La validació del mètode de dosificació desenvolupat ha posat de manifest que és possible aconseguir aplicacions equivalents o més favorables que les convencionals en termes d'eficàcia del tractament, d'eficiència d'aplicació, de variabilitat de les deposicions i de respecte pel medi ambient, tal com es plantejava a la Hipòtesi 3 de partida.



# 10 Futurs desenvolupaments



## 10.1 Introducció

---

Una vegada validades les hipòtesis de partida i assolits els objectius proposats en aquesta tesi doctoral, es plantegen nous reptes en la millora de les aplicacions de productes fitosanitaris en plantacions fructícoles. Per una banda, hi ha les millores que s'han identificat i esmentat després de les conclusions particulars del Capítol 6, referents al sistema de caracterització electrònica de la capçada, i dels Capítols 7 i 8, referents al prototipus implementat. D'altra banda, la validació de les hipòtesis de partida dóna peu al plantejament de noves hipòtesis i objectius a curt, mig i llarg termini. En aquest apartat s'identifiquen aquests reptes i s'apunten futurs desenvolupaments en la línia de l'aplicació de productes fitosanitaris en fructicultura de precisió.

## 10.2 Desenvolupaments a curt termini

---

### 10.2.1 Aplicació de la tecnologia a d'altres conreus

Vist el funcionament del mètode de dosificació desenvolupat i del prototipus per a la seva execució en fructicultura, seria interessant desenvolupar sistemes similars adaptats a altres conreus. Val a dir que ja s'ha desenvolupat amb èxit un prototipus per a la dosificació variable en vinya (Gil i Escolà, 2007; Gil *et al.*, 2007; Llop, 2009; Llorens *et al.*, 2010). Igualment caldria pensar en desenvolupar un mètode i un prototipus adaptats a espècies i cultivars amb més volum de capçada o bé amb sistema de formació diferent com podrien ser els cítrics, els presseguers i nectariners, plantacions intensives i extensives d'olivers i altres conreus fructícoles.

### 10.2.2 Traçabilitat de les aplicacions de productes fitosanitaris

Un altre dels aspectes que està prenent cada vegada més importància i que, de segur, caldrà tenir molt en compte en la producció d'aliments és la traçabilitat. Per tal de contribuir a la traçabilitat de les produccions dins la pròpia parcel·la seria molt interessant muntar un receptor de sistemes satel·litaris de navegació global i enregistrar els diferents paràmetres del polvoritzador en cada punt on es generen. Amb aquesta informació es podria arribar a generar un mapa de l'aplicació realitzada.

### 10.2.3 Tractaments en base a mapes digitals d'aplicació

Una altra possibilitat que apareix en embarcar un sistema de navegació és l'opció de realitzar tractaments en base a mapes d'aplicació prèviament elaborats. Aquests mapes poden proposar dosificacions diferenciades en diverses zones de la plantació a partir de paràmetres que en un sistema d'aplicació en temps real no es poden tenir en compte. La manera de dur-ho a terme seria anul·lar el funcionament dels sensors de caracterització de la capçada per tal d'aplicar la dosificació indicada en la coordenada en la que es trobi el polvoritzador a mesura que es desplaci per la parcel·la. Aquesta opció respondria a la metodologia de l'agricultura de precisió basada en



mapes digitals d'informació i empraria el sistema de dosificació variable que ja incorpora actualment el prototipus Fluxpro 2.

#### **10.2.4 Fusió de metodologies basades en mapes i en sensors en temps real**

Tanmateix, una segona opció fusionant la informació dels mapes d'aplicació i la dels sensors en temps real podria ser molt més eficient tal com mantenen Ostermeier *et al.* (2007) en l'aplicació de fertilitzants. Aquesta opció realitzaria un macrodosificació a partir de la informació del mapa digital d'aplicació i una microdosificació a partir de la variabilitat de la capçada estimada pels sensors. Aquesta fusió de tecnologies permetria treure partit dels avantatges de cada metodologia i minimitzar-ne els inconvenients.

### **10.3 Desenvolupaments a mig termini**

---

#### **10.3.1 Dosificació a partir de la superfície foliar estimada**

En aquesta tesi doctoral s'ha demostrat que és viable dosificar en funció del volum de capçada. El següent pas és saber què hi ha dins d'aquest volum i adaptar el volum de brou a les seves característiques. Obtenir el volum de capçada en temps real és ja una informació prou important sobre l'element a tractar. Tanmateix, l'objectiu de les aplicacions foliaris de productes fitosanitaris és distribuir la justa quantitat de matèria activa a la superfície de les fulles, considerant inclosos els fruits i els demés elements estructurals de la capçada, que és on es desenvolupen la majoria de les plagues i malalties a controlar. Per tal de poder dosificar en funció de la superfície foliar en temps real, cal seguir un dels dos enfocaments següents:

- a) Mesurar el volum de capçada instantani i determinar la seva densitat foliar, entesa com a la superfície foliar per unitat de volum de capçada. El resultat del producte dels dos paràmetres és la superfície foliar continguda en el volum mesurat. Aquest enfocament és el que van prendre els investigadors que van desenvolupar el mètode *TRV* els quals, en publicacions posteriors a la presentació del mètode, van introduir el paràmetre de la densitat foliar (Byers *et al.*, 1984; Byers, 1987; Byers *et al.*, 1989). Tanmateix, la seva estimació era qualitativa i prèvia a la realització del tractament.
- b) Determinar la superfície foliar indirectament a partir de correlacions experimentals prèvies amb les mesures electròniques de la capçada realitzades per sensors treballant en temps real. Aquesta línia de treball ja ha estat encetada en la seva modalitat de postprocés amb les aportacions realitzades per membres del grup de treball en el que s'emmarca aquesta tesi doctoral (Rosell *et al.*, 2004; Sanz *et al.*, 2004; Llorens, 2005; Sanz *et al.*, 2005a; Sanz *et al.*, 2005b; Arnó *et al.*, 2006; Llorens *et al.*, 2007; Palacín *et al.*, 2008; Sanz, 2008; Arnó *et al.*, 2009; Rosell *et al.*, 2009a; Rosell *et al.*, 2009b). En la modalitat de temps real, s'ha realitzat un primer assaig amb èxit per tal de correlacionar els paràmetres extrets de diverses mesures estàtiques realitzades amb un sensor lidar amb el valors reals de superfície foliar. Els primers resultats es descriuen en Escolà *et al.* (2009a; 2009b) i mostren una correlació consistent entre la superfície foliar i l'alçada i la semisecció

transversal de la capçada. Tanmateix, cal dur a terme altres assajos per validar la correlació obtinguda en altres sistemes de formació, cultivars i espècies.

A partir de qualsevol dels dos enfocaments, una vegada estimada la superfície foliar caldria dissenyar l'algorisme que aconseguís dipositar la quantitat adequada de producte sobre les fulles. Una primera opció per al possible desenvolupament del Mètode 3 de dosificació variable en temps real seria adaptar els treballs per a recomanació de la dosi de Gil (2003; 2009) en vinya i de Planas *et al.* (2004; 2006) i de Solanelles *et al.* (2004a) en fruiters (Equació 2.17 i Equació 2.16). Aquest nou mètode només requeriria que l'usuari introduís la densitat d'impactes desitjada o l'índex de dosificació,  $D_i$ , desitjat i el prototipus faria la resta. Com a norma general es podrien prendre els 70 gotes/cm<sup>2</sup> o els 100 gotes/cm<sup>2</sup>, tanmateix caldria treballar conjuntament amb els fabricants de productes fitosanitaris per a establir les densitats d'impactes òptimes per a cada producte i per a cada plaga o malaltia.

#### 10.4 Desenvolupaments a llarg termini

---

Un darrer desenvolupament que caldria explorar dins l'àmbit dels tractaments fitosanitaris en fructicultura de precisió és l'aplicació de producte a les zones i en les quantitats que realment es necessita. Des del moment que l'afectació de plagues i malalties en una plantació no és uniforme, seria interessant que la distribució dels productes no hagués de ser uniforme i obeís a les necessitats reals de cada zona de la plantació o, fins i tot, de cada individu.

Actualment, ja hi ha un grup de recerca investigant aquesta línia de treball des del punt de vista de la resposta radiomètrica del conreu per tal de determinar el grau d'infestació de la zona de la capçada analitzada (Doruchowski *et al.*, 2007; van de Zande *et al.*, 2007; van de Zande *et al.*, 2008). Aquesta informació es podria fusionar amb la proporcionada pels sensors de caracterització de la capçada en temps real i, fins i tot, amb un mapa d'aplicació previ per tal d'adaptar la quantitat de producte aplicada a les necessitats biològiques i geomètriques de la plantació. Els actuadors necessaris per a la implementació d'aquesta tecnologia són els que incorporen tecnologies de dosificació variable com els que actualment ja estan en funcionament al prototipus Fluxpro 2.



## **Referències bibliogràfiques**



- ADAMCHUK, V. I.; HUMMEL, J. W.; MORGAN, M. T.; UPADHYAYA, S. K.** 2004. On-the-go soil sensors for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 44(1): 71-91.
- ADE, G.; MOLARI, G.; RONDELLI, V.** 2007. Recycling tunnel sprayer for pesticide dose adjustment to the crop environment. *Transactions of the ASABE*, 50(2): 409-413.
- ÁLAMO, S.; CAÑAS, J.A.; FEITO, F.R.** 2003. Aplicación de un SIG para emplear la agricultura de precisión en una explotación de olivar. *IX Conferencia Iberoamericana de SIG*.
- ANÒNIM.** 2002. Pesticide dose Adjustment to the Crop Environment (PACE) for UK apple orchards. Dep. for Environment, Food & Rural Affairs. UK.
- ARNÓ, J.; BORDES, X.; RIBES-DASI, M.; BLANCO, R.; ROSELL, J.R.; ESTEVE, J.** 2005a. Obtaining grape yield maps and analysis of within field variability in Raimat (Spain). Ed.: STAFFORD, J. V. *A Precision Agriculture '05. Papers presented at the 5th European Conference on Precision Agriculture*. Wageningen Academic Publishers: 899-906.
- ARNÓ, J.; MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J. A.; BLANCO, R.; BORDES, X.; ESTEVE, J.** 2005b. Viticultura de precisión en Raimat (Lleida): experiencias durante el período 2002-2004. *Revista de l'associació catalana d'enologia*: 64.
- ARNÓ, J.; VALLÈS, J.M.; LLORENS, J.; BLANCO, R.; PALACÍN, J.; SANZ, R.; MASIP, J.; RIBES-DASI, M.; ROSELL, J.R.** 2006. Ground laser scanner data analysis for LAI prediction in orchards and vineyards. *Book of abstracts of the International Conference on Agricultural Engineering AgEng2006*. VDI verlag: 311-312.
- ARNÓ, J.** 2008. Una investigació sobre la variabilitat intraparcèl·laria en viña y el uso de sensores láser en viticultura de precisió [en línia]. Tesi doctoral. Universitat de Lleida. Departament d'Enginyeria Agroforestal. [Consulta: Consulta: 20 de juliol de 2008]. Disponible a: <http://www.tdx.cat/TDX-1027108-165428>.
- ARNÓ, J.; ESCOLÀ, A.; VALLÈS, J.M.; SANZ, R.; MASIP, J.; PALACÍN, J.; ROSELL, J.R.** 2009. Use of a ground-based LIDAR scanner to measure leaf area and canopy structure variability of grapevines. Ed.: VAN HENTEN, E. J.; GOENSE, D.; LOKHORST, C. *A Precision Agriculture '09*. Wageningen Academic Publishers: 177-184.
- AUERNHAMMER, H.** 2001. Precision farming — the environmental challenge. *Computers and Electronics in Agriculture*, 30(1-3): 31-43.
- AYERS, P. D.; ROGOWSKI, S. M.; KIMBLE, B. L.** 1996. An investigation of factors affecting sprayer control system performance. *Applied Engineering in Agriculture*, 6(6): 701-706.
- BALSARI, P. i TAMAGNONE, M.** 1997. An automatic spray control for airblast sprayers: first results. Ed.: STAFFORD, J. V. *A Preciscion Agriculture '97. Papers presented at the 1st European Conference on Precision Agriculture*. BIOS Scientific Publishers Ltd: 619-626.
- BALSARI, P. i TAMAGNONE, M.** 1998. An ultrasonic airblast sprayer. *Proceedings of the International Conference on Agricultural Engineering AgEng1998*: 585-586.
- BALSARI, P. i MARUCCO, P.** 2004. Influence of canopy parameters on spray drift in vineyard. *Aspects of Applied Biology*, 71(1): 157-164.
- BALSARI, P.; MARUCCO, P.; TAMAGNONE, M.** 2005a. Laboratory Assessment of Sensor-based Weed Control for Vineyards. *FRUTIC 05, Information and technology for sustainable fruit and vegetable production. 7th Fruit nut and vegetable production engineering symposium*. Cemagref: 679-688.
- BALSARI, P.; MARUCCO, P.; TAMAGNONE, M.** 2005b. Study of a "Self-calibrating" Sprayer for Pesticide Application in Vineyard. *FRUTIC 05, Information and technology for sustainable fruit and vegetable production. 7th Fruit nut and vegetable production engineering symposium*. Cemagref: 643-652.
- BALSARI, P.; DORUCHOWSKI, G.; MARUCCO, P.; TAMAGNONE, M.; VAN DE ZANDE, J. C.; WENNEKER, M.** 2008a. A System for Adjusting the Spray Application to the Target Characteristics. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*, X: 1-11.

- BALSARI, P.; MARUCCO, P.; TAMAGNONE, M.** 2008b. Variable Spray Application Rate in Orchards according to Vegetation Characteristics. *International Conference on Agricultural Engineering AgEng2008 "Agricultural and Biosystems Engineering for a Sustainable World"*.
- BALSARI, P.; MARUCCO, P.; TAMAGNONE, M.** 2009. A crop identification system (CIS) to optimise pesticide applications in orchards. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, ISAFRUIT Special Issue: 113-116.
- BARANI, A.; FRANCHI, A.; BUGIANI, R.; MONTERMINI, A.** 2008. Efficacy of Unit Canopy Row Spraying System for Control of European Vine Moth (*Lobesia botrana*) in Vineyards. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*, X.
- BARBER, J. A. S. i LANDERS, A.J.** 2002. The Pros and Cons of Volume and Rate Reduction in Orchard Spraying. *2002 ASAE Annual International Meeting/CIGR XVth World Congress*. American Society of Agricultural Engineers.
- BASNET, B.; KELLY, R.; JENSEN, T.; STRONG, W.; APAN, A.; BUTLER, D.** 2003. Delineation of Management Zones using Multiple Crop Yield Data. *International Soil Tillage Research Organisation Conference, 16th Triennial Conference*. The University of Queensland: 69-75.
- BASSO, B.; RITCHIE, J. T.; PIERCE, F. J.; BRAGA, R. P.; JONES, J. W.** 2001. Spatial validation of crop models for precision agriculture. *Agricultural Systems*, 68(2): 97-112.
- BIERMACHER, J.; EPPLIN, F.; BRORSEN, B.; SOLIE, J.; RAUN, W.** 2009. Economic feasibility of site-specific optical sensing for managing nitrogen fertilizer for growing wheat. *Precision Agriculture*, 10(3): 213-230.
- BJUGSTAD, N. i STENSVAND, A.** 2002. Pesticide dosage in three-dimensional crops in Norway. *Aspects of Applied Biology*, 66: 345-352.
- BLACKMORE, B. S.** 2003. The role of yield maps in Precision farming. Tesi doctoral no publicada.
- BLACKMORE, S.; GRIEPENTROG, H. W.; PEDERSEN, S. M.; FOUNTAS, S.** 2006. Part III: Current status. Chapter 20 Europe. SRINIVASAN, A.; ed. *A Handbook of Precision Agriculture. Principles and Applications*. 1a edició. Haworth Press Inc. binghamton, NY, USA: 567-613.
- BLONDLOT, A.; GATE, P.; POILVÉ, H.** 2005. Providing operational nitrogen recommendations to farmers using satellite imagery. Ed.: STAFFORD, J. V. *A Precision Agriculture '05. Papers presented at the 5th European Conference on Precision Agriculture*. Wageningen Academic Publishers: 345-352.
- BOE.** 1993. Ordre de 4 d'agost de 1993 per la que s'estableixen els requisits per a sol·licituds d'autoritacions de productes fitosanitaris, 190, 24135-24147.
- BOE.** 1995. Ordre de 29 de novembre de 1995 per la que s'estableixen els principis uniformes per a l'avaluació y autorització de productes fitosanitaris, 289, 35072-35085.
- BOE.** 2002. Llei 43/2002, de 20 de novembre, de sanitat vegetal, 279, 40970-40988.
- BOLLEN, F.; PRAAT, J.P.; YULE, I.** 2001. Precision Horticulture: Progress, opportunities and requirements in the supply chain. *First Australian Geospatial Information and Agriculture Conference*. NSW Agriculture.
- BONGIOVANNI, R. i LOWENBERG-DEBOER, J.** 2006. Part III: Current status. Chapter 21 Argentina. SRINIVASAN, A.; ed. *A Handbook of Precision Agriculture. Principles and Applications*. 1a edició. Haworth Press Inc. binghamton, NY, USA: 615-633.
- BRAGACHINI, M., MÉNDEZ, A., SCARAMUZZA, F. i PROIETTI, F.** 2005. Proyecto Agricultura de Precisión. INTA. Manfredi, Argentina.
- BRAMLEY, R. G. V. i HAMILTON, R. P.** 2004. Understanding variability in winegrape production systems 1. Within vineyard variation in yield over several vintages. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 10(1): 32-45.
- BRAMLEY, R. G. V.** 2005. Understanding variability in winegrape production systems 2. Within vineyard variation in quality over several vintages. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 11(1): 33-42.

- BRAMLEY, R. G. V.; PROFFITT, A.P.B.; HINZE, C.J.; PEARSE, B.; HAMILTON, R.P.** 2005. Generating benefits from precision viticulture through selective harvesting. Ed.: STAFFORD, J. V. *A Precision Agriculture '05. Papers presented at the 5th European Conference on Precision Agriculture*. Wageningen Academic Publishers: 891-898.
- BRAVO, C.; MOSHOU, D.; OBERTI, R.; WEST, J.; MCCARTNEY, A.; BODRIA, L.; RAMON, H.** 2004. Foliar Disease Detection in the Field Using Optical Sensor Fusion. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*, VI: 1-14.
- BROWN, D. L.; GILES, D. K.; OLIVER, M. N.; KLASSEN, P.** 2008. Targeted spray technology to reduce pesticide in runoff from dormant orchards. *Crop Protection*, 27: 545-552.
- BROWN, P. H. i ROSENSTOCK, T.** 2006. Perspectives on precision farming of tree crops: Estimating yields and designing interventions. *Acta Horticulturae*, 721: 139-145.
- BROWN, R. B.; STECKLER, J. P. G. A.; ANDERSON, G. W.** 1994. Remote sensing for identification of weeds in no-till corn. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 37(1): 297-302.
- BULLOCK, D. G.; BULLOCK, D. S.; NAFZIGER, E. D.; DOERGE, T. A.; PASZKIEWICZ, S. R.; CARTER, P. R.; PETERSON, T. A.** 1998. Does Variable Rate Seeding of Corn Pay? *Agronomy Journal*, 90(6): 830-836.
- BULLOCK, D. S.; LOWENBERG-DEBOER, J.; SWINTON, S. M.** 2002. Adding value to spatially managed inputs by understanding site-specific yield response. *Agricultural Economics*, 27(3): 233-245.
- BYERS, R. E.; HICKEY, K. D.; HILL, C. H.** 1971. Base gallonage per acre. *Virginia Fruit*, 60: 19-23.
- BYERS, R. E.; LYONS C.G., J.; YODER, K. S.; HORSBURGH, R. L.; BARDEN, J. A.; DONOHUE, S. J.** 1984. Effect of apple tree size and canopy density on spray chemical deposit. *Hortscience*, 19(1): 93-94.
- BYERS, R. E.** 1987. Tree-row-volume spraying rate calculator for apples. *HortScience*, 22(3): 506-507.
- BYERS, R. E.; HOGMIRE, H. W.; FERREE, D. C.; HALL, F. R.; DONAHUE, S. J.** 1989. Spray chemical deposits in high-density and trellis apple orchards. *HortScience*, 24: 918-920.
- CAMP, F.** 2005. Ajust i validació d'un sistema electrònic de polvorització proporcional al volum de vegetació. Projecte final de carrera per a l'obtenció del títol d'Enginyer Agrònom (no publicat). Universitat de Lleida.
- CAMPBELL, M. M.; LOVELESS, R. T.; EVANS, P. T.** 1988. Effects of spraying volume and chemical rate on the control of apple scab (*Venturia inaequalis*) and codling moth (*Cydia pomonella*) in an apple orchard. *Crop Protection*, 7(2): 112-117.
- CESARI, A. i FLORI, P.** 2000. Experimental method for application of a pesticide-effective dose. *Aspects of Applied Biology*, 57: 343-350.
- CHEN, Y.; ZHENG, J.; XIANG, H.; HUANG, S.** 2006. Study on an Intelligent System for Precision Pesticide Application Based on Fuzzy Control and Machine Vision. *2006 ASABE Annual International Meeting*. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- CHRISTY, C. D.** 2008. Real-time measurement of soil attributes using on-the-go near infrared reflectance spectroscopy. *Computers and Electronics in Agriculture*, 61(1): 10-19.
- CHUECA, P.** 2008. Mecanización de métodos de control de *Ceratitis capitata* (Wiedemann) en cítricos. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de València. [Consulta: 16 de desembre de 2010]. Disponible a: <http://hdl.handle.net/10251/1976>.
- CHUECA, P.; GARCERA, C.; MOLTO, E.; GUTIERREZ, A.** 2008. Development of a sensor-controlled sprayer for applying low-volume bait treatments. *Crop Protection*, 27(10): 1373-1379.



- CIRUJEDA, A.; ABADÍA, D.; PEÑA, J.; DEL HOYO, R.; PANIAGUA, J.; SECO, T.; AIBAR, J.; ZARAGOZA, C.** 2007. Autómata para el control de malas hierbas en cultivos extensivos (maíz): SAAPIN. *10º Symposium Nacional de Sanidad Vegetal. Innovación y futuro*. Junta de Andalucía.
- CLARK, R. L. i MCGUCKIN, R.L.** 1996. Variable rate application technology: an overview. Ed.: ROBERT, P. C.; RUST, R. H.; LARSON, W. E. *A Precision Agriculture. Proceedings of the third International Conference on Precision Agriculture*. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America: 855-862.
- COMISSIÓ EUROPEA** 2006. Estrategia temàtica sobre el uso sostenible de los plaguicidas. COM(2006) 372 final. Comisión de las comunidades europeas. Brussel·les.
- COOK, S. E.; ADAMS, M. L.; BRAMLEY, R. G. V.; WHELAN, B. M.** 2006. Part III: Current status. Chapter 19 Australia. SRINIVASAN, A.; ed. *A Handbook of Precision Agriculture. Principles and Applications*. 1a edició. Haworth Press Inc. binghamton, NY, USA: 529-566.
- COQUIL, B. i BORDES, J.P.** 2005. FARMSTAR: an efficient decision support tool for near real time crop management from satellite images. Ed.: STAFFORD, J. V. *A Precision Agriculture '05. Papers presented at the 5th European Conference on Precision Agriculture*. Wageningen Academic Publishers: 873-881.
- COX, S. W. R. i MCLEAN, K. A.** 1969. Electro-chemical thinning of sugar beet. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 14(4): 332-343.
- CROSS, J. V. i WALKLATE, P. J.** 1996. Improving the safety and efficiency of tree and bush fruit spraying. *Pesticide Outlook*, 7(5): 15-21.
- CROSS, J. V.; MURRAY, R. A.; RIDOUT, M. S.; WALKLATE, P. J.** 1997a. Quantification of spray deposits and their variability on apple trees. *Aspects of Applied Biology*, 48: 217-224.
- CROSS, J. V.; RIDOUT, M. S.; WALKLATE, P. J.** 1997b. Adjustment of axial fan sprayers to orchard structure. *IOBC/WPRS Bulletin*, 20(9): 86-94.
- CROSS, J. V.; WALKLATE, P. J.; MURRAY, R. A.; RICHARDSON, G. M.** 2001a. Spray deposits and losses in different sized apple trees from an axial fan orchard sprayer: 2. Effects of spray quality. *Crop Protection*, 20(4): 333-343.
- CROSS, J. V.; WALKLATE, P. J.; MURRAY, R. A.; RICHARDSON, G. M.** 2001b. Spray deposits and losses in different sized apple trees from an axial fan orchard sprayer: 1. Effects of spray liquid flow rate. *Crop Protection*, 20(1): 13-30.
- CROSS, J. V. i WALKLATE, P.J.** 2003. Pesticide dose adjustment to the crop environment (PACE): Adjusting the dose to suit the crop. Ed.: BALSARI, P.; DORUCHOWSKI, G.; CROSS, J. V. *A VII Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing*. Università degli Studi di Torino. DEIAFA.
- CROSS, J. V.; WALKLATE, P. J.; MURRAY, R. A.; RICHARDSON, G. M.** 2003. Spray deposits and losses in different sized apple trees from an axial fan orchard sprayer: 3. Effects of air volumetric flow rate. *Crop Protection*, 22(2): 381-394.
- CROSS, J. V.; MURRAY, R. A.; WALKLATE, P. J.; RICHARDSON, G. M.** 2004. Pesticide dose Adjustment to the Crop Environment (PACE): efficacy evaluations in UK apple orchards 2002-2003. *Aspects of Applied Biology*, 71(2): 287-294.
- CROSS, J. V. i WALKLATE, P. J.** 2008. The UK PACE Scheme for Adjusting the Dose to Suit Apple Crops. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*, X.
- CUNNINGHAM, G. P. i HARDEN, J.** 1999. Sprayers to reduce spray volumes in mature citrus trees. *Crop Protection*, 18(4): 275-281.
- DAMMER, K. H.; WARTENBERG, G.; EHLERT, D.; HAMMEN, V.; REH, A.; WAGNER, U.; DOHMEN, B.** 2001. Recording of present plant parameters by pendulum sensor, remote sensing, and ground measurements, as fundamentals for site-specific fungicide application in winter wheat. Ed.: GRENIER, G. i BLACKMORE, B. S. *A 3rd European Conference on Precision Agriculture*. Agro Montpellier: 647-652.

- DAMMER, K. H.; WARTENBERG, G.; EHLERT, D.** 2002. Variable Rate Real-time Application of Fungicides in Cereals by Use of a Sensor-controlled Field Sprayer. *International Conference on Agricultural Engineering AgEng2002*.
- DAMMER, K. H.; BÖTTGER, H.; EHLERT, D.** 2003. Sensor-controlled variable rate real-time application of herbicides and fungicides. Ed.: STAFFORD, J. V. i WERNER, A. A *Precision Agriculture '03. Papers presented at the 4th European Conference on Precision Agriculture*. Wageningen Academic Publishers: 129-134.
- DAMMER, K. H. i EHLERT, D.** 2006. Variable-rate fungicide spraying in cereals using a plant cover sensor. *Precision Agriculture*, 7(2): 137-148.
- DAMMER, K. H. i WARTENBERG, G.** 2007. Sensor-based weed detection and application of variable herbicide rates in real time. *Crop Protection*, 26(3): 270-277.
- DAMMER, K. H.; WOLLNY, J.; GIEBEL, A.** 2008. Estimation of the Leaf Area Index in cereal crops for variable rate fungicide spraying. *European Journal of Agronomy*, 28(3): 351-360.
- DE BAERDEMAEKER, J.** 2001. Sensors and Precision Farming in Horticulture. *Acta Horticulturae*, 562: 19-27.
- DE GRUIJTER, J. J. i MCBRATNEY, A.** 1988. A modified fuzzy k-means method for predictive classification. BOCK, H. H.; ed. *A: Classification and Related Methods of Data Analysis*. North-Holland. Amsterdam, Països Baixos: 97-104.
- DE MOOR, A.; LANGENAKENS, J.; JAEKEN, P.; VEREECKE, E.** 2000. Adjustment of orchard sprayers by image analysis of vertical spray patterns. *International Conference on Agricultural Engineering AgEng2000*.
- DELALIEUX, S.; SOMERS, B.; HEREIJGERS, S.; VERSTRAETEN, W. W.; KEULEMANS, W.; COPPIN, P.** 2008. A near-infrared narrow-waveband ratio to determine Leaf Area Index in orchards. *Remote Sensing of Environment*, 112(10): 3762-3772.
- DELELE, M. A.; JAEKEN, P.; DEBAER, C.; BAETENS, K.; MELESE-ENDALEW, A.; RAMON, H.; NICOLAÏ, B. M.; VERBOVEN, P.** 2007. CFD prototyping of an air-assisted orchard sprayer aimed at drift reduction. *Computers and Electronics in Agriculture*, 55(1): 16-27.
- DIKER, K.; HEERMANN, D. F.; BRODAHL, M. K.** 2004. Frequency Analysis of Yield for Delineating Yield Response Zones. *Precision Agriculture*, 5(5): 435-444.
- DOBERMANN, A.; BLACKMORE, B.S.; COOK, S.; ADAMCHUK, V.I.** 2004. Precision farming: challenges and future directions. *New Directions for a Diverse Planet. Proceeding of 4th International Crop Sci. Congr.*: 1-19.
- DOGC.** 2008. Ordre AAR/208/2008, de 30 d'abril, per la qual s'aproven les bases reguladores de les subvencions per a l'adquisició en comú de màquines i equips agrícoles que incorporen noves tecnologies, i es convoquen les corresponents a l'any 2008, 5129, 36620-36627.
- DORUCHOWSKI, G.; SVENSSON, S. A.; NORDMARK, L.** 1996. Spray deposit within apple trees of differing sizes and geometry at low, medium and high spray volumes. *IOBC/WPRS Bulletin*, 19(4): 289-294.
- DORUCHOWSKI, G.; JAEKEN, P.; HOLOWNICKI, R.; SWIECHOWSKI, W.** 1997. Selective spray application on fruit trees. *5th Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing*.
- DORUCHOWSKI, G. i HOLOWNICKI, R.** 2000. Environmentally friendly spray techniques for tree crops. *Crop Protection*, 19(8-10): 617-622.
- DORUCHOWSKI, G.; BIELENIN, A.; HOLOWNICKI, R.; SWIECHOWSKI, W.; GODYN, A.; OLSZAK, R.W.** 2003. Efficacy of TRV based fungicide dose rates in apple orchards. Ed.: BALSARI, P.; DORUCHOWSKI, G.; CROSS, J. V. *A VII Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing*. Università degli Studi di Torino. DEIAFA.

- DORUCHOWSKI, G.; JEDRACHOWCZ, T.; HOLOWNICKI, R.; GODYN, A.; SWIECHOWSKI, W.; BALSARI, P.; MARUCCO, P.; VAN DE ZANDE, J.C.; ACHTEN, V.T.J.M.; WENNEKER, M.** 2007. Environmentally Dependent Application System (EDAS) for adjusting the spray application parameters according to the environmental circumstances in orchards - ISAFRUIT project. Ed.: BJUGSTAD, N.; ANDERSEN, P. G.; JØRGENSEN, M.; SVENSSON, S. A.; SERVIN, D. *A 9th Workshop on Sustainable Plant Protection Techniques in Fruit Growing (SuProFruit)*. Swedish University of Agricultural Sciences: 15-16.
- DORUCHOWSKI, G.; BALSARI, P.; VAN DE ZANDE, J. C.** 2009a. Development of a crop adapted spray application system for sustainable plant protection in fruit growing. *Acta Horticulturae*, 824: 251-260.
- DORUCHOWSKI, G.; SWIECHOWSKI, W.; HOLOWNICKI, R.; GODYN, A.** 2009b. Environmentally-Dependent Application System (EDAS) for safer spray application in fruit growing. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, ISAFRUIT Special Issue: 107-112.
- DOUE.** 2002. Decisió 1600/2002/CE del Parlament Europeu i del Consell, de 22 de juliol de 2002 per la que s'estableix el Sisè Programa d'Acció Comunitari en Matèria de Medi Ambient, L 242, 1-15.
- DOUE.** 2006. Directiva 2006/42/CE del Parlament Europeu i del Consell, de 17 de maig de 2006 relativa a les màquines i per la que es modifica la Directiva 95/16/CE (refundició), L 157, 24-86.
- DOUE.** 2009a. Directiva 2009/128/CE del Parlament Europeu i del Consell, de 24 de novembre de 2009 per la que s'estableix el marc de l'actuació comunitària per a aconseguir un ús sostenible dels plaguicides, L 309, 71-86.
- DOUE.** 2009b. Reglament (CE) 1107/2009 del Parlament Europeu i del Consell del 21 d'octubre de 2009 relatiu a la comercialització de productes fitosanitaris i pel que es deroguen les Directives 79/117/CEE i 91/414/CEE del Consell, L 309, 1-50.
- DOUE.** 2009c. Directiva 2009/127/CE del Parlament Europeu i del Consell, de 21 d'octubre de 2009 per la que es modifica la Directiva 2006/42/CE en el que respecta a les màquines per a l'aplicació de plaguicides, L 310, 29-33.
- DOWNEY, D.; GILES, D.K.; SLAUGHTER, D.C.** 2003. Ground based vision identification for weed mapping using DGPS. *2003 ASAE Annual International Meeting*. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- DOWNEY, D.; CROWE, T. G.; GILES, D. K.; SLAUGHTER, D. C.** 2006. Direct nozzle injection of pesticide concentrate into continuous flow for intermittent spray applications. *Transactions of the ASABE*, 49(4): 865-873.
- DROPDATA** 2007. Terminology in spray application [en línia]. The International Pesticide Application Research Consortium (IPARC). [Consulta: 15/11/2009]. Disponible a: <http://www.dropdata.net/DD/definitions.htm>.
- DU, Q.; CHANG, N. B.; YANG, C.; SRILAKSHMI, K. R.** 2008. Combination of multispectral remote sensing, variable rate technology and environmental modeling for citrus pest management. *Journal of Environmental Management*, 86(1): 14-26.
- EHLERT, D.; HAMMEN, V.; ADAMEK, R.** 2003a. On-line Sensor Pendulum-Meter for Determination of Plant Mass. *Precision Agriculture*, 4(2): 139-148.
- EHLERT, D.; KRAATZ, S.; HORN, H.J.** 2003b. Improvement of the pendulum-meter for measuring crop biomass. Ed.: STAFFORD, J. V. i WERNER, A. *A Precision Agriculture '03. Papers presented at the 4th European Conference on Precision Agriculture*. Wageningen Academic Publishers: 199-204.
- EHLERT, D.; SCHMERLER, J.; VOELKER, U.** 2004. Variable Rate Nitrogen Fertilisation of Winter Wheat Based on a Crop Density Sensor. *Precision Agriculture*, 5(3): 263-273.
- EHLERT, D. i DAMMER, K. H.** 2006. Widescale testing of the Crop-meter for site-specific farming. *Precision Agriculture*, 7(2): 101-115.

- EHLERT, D.; HORN, H. J.; ADAMEK, R.** 2006. Potential of laser distance sensors for measuring crop parameters. *Journal of Applied Sciences*, 6(4): 898-904.
- EHLERT, D.; HORN, H. J.; ADAMEK, R.** 2008. Measuring crop biomass density by laser triangulation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 61(2): 117-125.
- EHSANI, M. R.; DURAIRAJ, C. D.; WOODS, S.; SULLIVAN, M.** 2005. Potential Application of Electrical Conductivity (EC) Map for Variable Rate Seeding. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*, VII: 1-17.
- ESCOLÀ, A.** 2001. Disseny i validació d'un sistema electrònic de regulació proporcional a la vegetació per a la polvorització de fitosanitaris en cultius arboris. Projecte final de carrera per a l'obtenció del títol d'Enginyer Agrònom (no publicat). Universitat de Lleida.
- ESCOLÀ, A.; ROSELL, J. R.; SOLANELLES, F.; PLANAS, S.** 2001a. Dispositivo para la aplicación de productos fitosanitarios a la vegetación. Patent núm. 2221505.
- ESCOLÀ, A.; SOLANELLES, F.; PLANAS, S.; ROSELL, J.R.** 2001b. Design and validation of an electronic system for propotyional control of chemical spraying in tree crops according to the vegetation volume. *VI Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing*.
- ESCOLÀ, A.; SOLANELLES, F.; PLANAS, S.; ROSELL, J.R.** 2002. Electronic Control System for Proportional Spray Application to the Canopy Volume in Tree Crops. *International Conference on Agricultural Engineering AgEng2002*.
- ESCOLÀ, A.; CAMP, F.; SOLANELLES, F.; PLANAS, S.; ROSELL, J.R.** 2003a. Tree crops propotional spraying according to the vegetation volume. First results. Ed.: BALSARI, P.; DORUCHOWSKI, G.; CROSS, J. V. *A VII Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing*. Università degli Studi di Torino. DEIAFA: 43-49.
- ESCOLÀ, A.; SOLANELLES, F.; PLANAS, S.; ROSELL, J.R.; CAMP, F.** 2003b. Validación del prototipo para la aplicación de productos fitosanitarios de forma proporcional al volumen de vegetación en cultivos arbóreos. Primeros resultados. Ed.: AGÜERA, J.; GIL, J.; LÓPEZ, F. J. *A 2º Congreso Nacional de AgroIngeniería*. Universidad de Córdoba: 93.
- ESCOLÀ, A.; PLANAS, S.; GIL, E.; CAMP, F.; GRÀCIA, F.** 2004. Sampling strategies for spray deposit tests with air-assisted sprayers. *International Conference on Agricultural Engineering AgEng2004. Engineering the Future*. Technologisch Instituut vzw.
- ESCOLÀ, A.; ROSELL, J.R.; MASANA, P.; PLANAS, S.; GIL, E.; VAL, L.; CAMP, F.; GRÀCIA, F.; SOLANELLES, F.; LLORENS, J.; VALLÈS, J.M.** 2005. Tree canopy volume measurement with ultrasonic sensors in fruit orchards. Ed.: GIL, E.; SOLANELLES, F.; PLANAS, S.; ROSELL, J. R.; VAL, L. *A VIII Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing*. Universitat Politècnica de Catalunya, Generalitat de Catalunya i Universitat de Lleida: 89-90.
- ESCOLÀ, A.; CAMP, F.; SOLANELLES, F.; PLANAS, S.; GRÀCIA, F.; ROSELL, J.R.; GIL, E.; VAL, L.** 2006. Spray application volume test in apple and pear orchards in Catalonia (Spain) and Variable Rate Technology for dose adjustment. *2006 ASABE Annual International Meeting*. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- ESCOLÀ, A.; CAMP, F.; SOLANELLES, F.; LLORENS, J.; PLANAS, S.; ROSELL, J.R.; GRÀCIA, F.; GIL, E.** 2007. Variable dose rate sprayer prototype for tree crops based on sensor measured canopy characteristics. Ed.: STAFFORD, J. V. *A Precision Agriculture '07. Papers presented at the 6th European Conference on Precision Agriculture*. Wageningen Academic Publishers: 563-571.
- ESCOLÀ, A.; ARNÓ, J.; SANZ, R.; CAMP, F.; MASIP, J.; SOLANELLES, F.; ROSELL, J.R.; PLANAS, S.** 2009a. Sensing tree canopy parameters in real time for precision fructiculture/horticulture applications: methodology set-up and first results. Ed.: VAN HENTEN, E. J.; GOENSE, D.; LOKHORST, C. *A Precision Agriculture '09*. Wageningen Academic Publishers: 185-191.

- ESCOLÀ, A.; ARNÓ, J.; SANZ, R.; CAMP, F.; MASIP, J.; SOLANELLES, F.; ROSELL, J.R.; PLANAS, S.** 2009b. Real time foliage density estimation with a lidar sensor for precision fructiculture/horticulture applications. A methodology for field validation. Ed.: WENNEKER, M. i VAN DE ZANDE, J. C. *A SuproFruit 2009. 10th Workshop on Spray application techniques in fruit growing. Book of abstracts.* Wageningen UR: 92-93.
- ESCRIBANO, A.; NAFRÍA, D.; NIETO, M.; DE BENITO, A.; SOMBRERO, A.** 2001. Agricultura de precisión. Un nuevo concepto de agricultura. *Agricultura: revista agropecuaria*, 829: 492-496.
- ESS, D., HAWKINS, S.E. i MORRIS, D.K.** 2000a. Implementing site-specific management: Liquid manure application [en línia]. Purdue University Cooperative Extension Service. [Consulta: 06/02/2005]. Disponible a: <http://www.ces.purdue.edu/extmedia/ageng.htm#13a>.
- ESS, D., MORGAN, M.T. i PARSONS, S.D.** 2000b. Implementing site-specific management: Map-versus sensor-based variable rate application [en línia]. Purdue University Cooperative Extension Service. [Consulta: 06/02/2005]. Disponible a: <http://www.ces.purdue.edu/extmedia/ageng.htm#13a>.
- ESS, D., PARSONS, S.D. i MEDLIN, C.R.** 2000c. Implementing site-specific management: Sprayer technology - controlling application rate on-the-go [en línia]. Purdue University Cooperative Extension Service. [Consulta: 06/02/2005]. Disponible a: <http://www.ces.purdue.edu/extmedia/ageng.htm#13a>.
- ESS, D., PARSONS, S.D. i MEDLIN, C.R.** 2000d. Implementing site-specific management: Sprayer technology - controlling application rate and droplet size distribution on the go [en línia]. Purdue University Cooperative Extension Service. [Consulta: 06/02/2005]. Disponible a: <http://www.ces.purdue.edu/extmedia/ageng.htm#13a>.
- FADEL, M. A.** 2004. Performance Assessment of VRT-based Granular Fertilizers Broadcasting Systems. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*, VI: 1-11.
- FALCHIERI, D.; MIERZEJEWSKI, K.; MACZUGA, S.** 1995. Effects of droplet density and concentration on the efficacy of *Bacillus thuringiensis* and carbaryl against gypsy moth larvae (*Lymantria dispar* L.). *Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 30(4): 535-548.
- FAROOQ, M. i LANDERS, A.J.** 2004. Interactive Effects of Air, Liquid and Canopies on Spray Patterns of Axial-flow Sprayers. *2004 ASAE Annual International Meeting.* American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- FELBER, H. U.** 1997. Pulverización adaptada al cultivo (Crop Adapted Spraying): Adaptación del volumen de caldo y la dosis a los parámetros del cultivo. *PHYTOMA*, 92: 14-17.
- FERNÁNDEZ-QUINTANILLA, C.** 2006. Perspectivas para la agricultura de precisión en España. *Vida Rural*, 225: 12-15.
- FERNÁNDEZ-QUINTANILLA, C. i COOK, S.** 2007. La agricultura de precisión en Australia, un caso emblemático. *Vida Rural*, 248: 14-16.
- FILLAT, A.; PLANAS, S.; BOSCH, M.; PONS, L.; SOLANELLES, F.** 1993. Measuring contamination (losses to the soil & drift) of pesticide application on fruit orchards. Ed.: JUSTE, F. *A Proceedings of the IV International Symposium on Fruit, Nut and Vegetable Production Engineering.* Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación & INIA.
- FISHER, R. W. i MENZIES, D. R.** 1976. Effect of spray droplet density and exposure time on the immobilization of newly-hatched oriental fruit moth larvae. *Journal of Economic Entomology*, 69(4): 438-440.
- FOX, R. D.; DERKSEN, R.C.; BRAZEE, R.D.** 1998. Air-blast/air-assisted application equipment and drift. Ed.: BUCKLEY, D. *A North American Conference on Pesticide Spray Drift Management.* University of Maine Cooperative Extension: 108-129.
- FOX, R. D.; DERKSEN, R. C.; ZHU, H.; BRAZEE, R. D.; SVENSSON, S. A.** 2008. A history of air-blast sprayer development and future prospects. *Transactions of the ASABE*, 51(2): 405-410.

- FRANCHI, A.; BARANI, A.; CASOLI, L.; MONTERMINI, A.; FONTANA, M.** 2003. Unit canopy row spraying system and its potential use on hedgerow vineyards in Italy. Ed.: BALSARI, P.; DORUCHOWSKI, G.; CROSS, J. V. *A VII Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing*. Università degli Studi di Torino. DEIAFA: 305-313.
- FRIEßLEBEN, R. i KOCH, H.** 2005. Dose expression in plant protection product field testing in high crops: need for harmonisation. Ed.: GIL, E.; SOLANELLES, F.; PLANAS, S.; ROSELL, J. R.; VAL, L. *A VIII Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing*. Universitat Politècnica de Catalunya, Generalitat de Catalunya i Universitat de Lleida: 31-32.
- FRIEßLEBEN, R.; ROßLENBROICH, H. J.; ELBERT, A.** 2007. Dose expression in plant protection product field testing in high crops: need for harmonization. *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer*, 60(1): 85-96.
- FROST, A. R.** 1990. A pesticide injection metering system for use on agricultural spraying machines. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 46: 55-70.
- FURNESS, G. O.; MAGAREY, P. A.; MILLER, P. M.; DREW, H. J.** 1998. Fruit tree and vine sprayer calibration based on canopy size and length of row: unit canopy row method. *Crop Protection*, 17(8): 639-644.
- FURNESS, G. O. i MAGAREY, P. A.** 2000. Unit canopy row calibration and a new pesticide label format to improve dose consistency on different canopy sizes with spray application to fruit. *Aspects of Applied Biology*, 57: 309-312.
- FURNESS, G. O.** 2003. Distance calibration and a new pesticide label format for fruit trees and grapevines in Australia. Ed.: BALSARI, P.; DORUCHOWSKI, G.; CROSS, J. V. *A VII Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing*. Università degli Studi di Torino. DEIAFA.
- FURNESS, G. O.; THOMPSON, A. J.; MANKTELOW, D. W. L.** 2006. Multi-fan spray towers to improve dose efficiency and spray coverage uniformity in citrus trees. *Aspects of Applied Biology*, 77(2): 481-488.
- FURNESS, G. O. i THOMPSON, A. J.** 2008. Using Point of First Run-off and Spray Volume in Litres per 100 Metres per Metre of Canopy Height for Setting Pesticide Dose. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*, X.
- GANZELMEIER, H. i RAUTMANN, D.** 2000. Drift, drift reducing sprayers and sprayer testing. *Aspects of Applied Biology*, 57: 1-10.
- GARNETT, R. P.** 2006. An agrochemical manufacturer's view on the role that spray machinery manufacturers and enhanced pesticide application methods may contribute towards sustainable pesticide use in the EU. *Aspects of Applied Biology*, 77(1): 5-12.
- DOGÇ.** 2006. Ordre ARP/287/2006, d'1 de juny, per la qual s'aproven les bases reguladores dels ajuts per a l'adquisició en comú de màquines i equips agrícoles que incorporen noves tecnologies, i es convoquen els corresponents a l'any 2006, 4655, 26144.
- GHATE, S. R. i PERRY, C. D.** 1994. Ground speed control of pesticide application rates in a compressed air direct injection sprayer. *Transactions of the ASABE*, 37(1): 33-38.
- GIL, E.** 2001a. Selección y utilización de equipos para tratamientos fitosanitarios en viña. Ed.: VAL, L.; JUSTE, F.; GRACIA, C.; MOLTÓ, E. A : 181-187.
- GIL, E.** 2001b. Metodología y criterios para la selección y evaluación de equipos de aplicación de fitosanitarios para la viña. Tesis doctoral no publicada. Universitat de Lleida. Departament d'Enginyeria Agroforestal.
- GIL, E.** 2003. Tratamientos en Viña. Equipos y técnicas de aplicación. 1a edició. Edicions UPC. Barcelona, Espanya.
- GIL, E.; BERNAT, C.; QUERALTÓ, M.; LÓPEZ, A.; PLANAS, S.; ROSELL, J.R.; VAL, L.** 2005. Pesticide dose adjustment in vineyard: Relationship between crop characteristics and quality of the application. Ed.: GIL, E.; SOLANELLES, F.; PLANAS, S.; ROSELL, J. R.; VAL, L. *A VIII Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing*. Universitat Politècnica de Catalunya, Generalitat de Catalunya i Universitat de Lleida: 19-20.

- GIL, E. i ESCOLÀ, A.** 2007. Variable rate application of Plant Protection Products in vineyard using ultrasonic sensors. Ed.: BJUGSTAD, N.; ANDERSEN, P. G.; JØRGENSEN, M.; SVENSSON, S. A.; SERVIN, D. *A 9th Workshop on Sustainable Plant Protection Techniques in Fruit Growing (SuProFruit)*. Swedish University of Agricultural Sciences: 61-62.
- GIL, E.; ESCOLÀ, A.; ROSELL, J. R.; PLANAS, S.; VAL, L.** 2007. Variable rate application of plant protection products in vineyard using ultrasonic sensors. *Crop Protection*, 26(8): 1287-1297.
- GIL, E. i ESCOLÀ, A.** 2009. Design of a decision suport method to determine volume rate for vineyard spraying. *Applied Engineering in Agriculture*, 25(2): 145-151.
- GIL, J.** 2008. Concepto y situación en España de la agricultura de precisión. *Vida Rural*, 271.
- GILES, D. K.; DELWICHE, M. J.; DODD, R. B.** 1987. Control of orchard spraying based on electronic sensing of target characteristics. *Transactions of the ASABE*, 30(6): 1624-1630, 1636.
- GILES, D. K.; DELWICHE, M. J.; DODD, R. B.** 1988. Electronic measurement of tree canopy volume. *Transactions of the ASABE*, 31(1): 264-272.
- GILES, D. K.; DELWICHE, M. J.; DODD, R. B.** 1989a. Sprayer Control by Sensing Orchard Crop Characteristics: Orchard Architecture and Spray Liquid Savings. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 43(4): 271-289.
- GILES, D. K.; DELWICHE, M. J.; DODD, R. B.** 1989b. Method and apparatus for target plant foliage sensing and mapping and related materials application control. Patent núm. 4823268.
- GILES, D. K.; YOUNG, B. W.; ALEXANDER, P. R.; FRENCH, H. M.** 1995. Intermittent Control of Liquid Flow from Fan Nozzles in Concurrent Air Streams: Wind Tunnel Studies of Droplet Size Effects. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 62(2): 77-84.
- GILES, D. K.** 1996. Digital control of flow rate and spray droplet size from agricultural nozzles for precision chemical application. Ed.: ROBERT, P. C.; RUST, R. H.; LARSON, W. E. *A Precision Agriculture. Proceedings of the third International Conference on Precision Agriculture*. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America: 729-738.
- GILES, D. K.** 1997. Independent control of liquid flow rate and spray droplet size from hydraulic atomizers. *Atomization and Sprays*, 7(2): 161-181.
- GILES, D. K. i SLAUGHTER, D. C.** 1997. Precision band spraying with machine-vision guidance and adjustable yaw nozzles. *Transactions of the ASABE*, 40(1): 29-36.
- GILES, D. K.; SLAUGHTER, D. C.; UPADHYAYA, S. K.** 2002. Biological target sensing and sprayer control. *Aspects of Applied Biology*, 66: 129-138.
- GILES, D. K.** 2004. Precision Agriculture and Drift Management. *International Conference on Pesticide Application for Drift Management*. 127-131.
- GILES, D. K.** 2006. Monitoring spray nozzle operation by sensing vibration of atomisation. *Aspects of Applied Biology*, 77(1): 189-196.
- GILES, D. K.** 2008. Techniques and incentives in California for reducing pesticide inputs to mitigate water and air pollution risks in horticultural crops. *Aspects of Applied Biology*, 84: 395-402.
- GILLGREN, D.** 2001. Finding the fruit: A spatial model to assess variability within a kiwifruit block. *13th Annual Colloquium of the Spatial Information Research Centre*. University of Otago.
- GÖHLICH, H.; GANZELMEIER, H.; BÄCKER, G.** 1996. Air-assisted sprayers for application in vine, orchard and similar crops. *EPPO Bulletin*, 26(1): 53-58.
- GOOVAERTS, P.** 1999. Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. *Geoderma*, 89(1-2): 1-45.
- GOPALAPILLAI, S.; TIAN, L.; ZHENG, J.** 1999. Evaluation of a flow control system for site-specific herbicide applications. *Transactions of the ASABE*, 42(4): 863-870.

- GRIEPENTROG, H. W.; NØRREMARK, M.; NIELSEN, H.; BLACKMORE, B.S.** 2003. Individual plant care in cropping systems. Ed.: STAFFORD, J. V. i WERNER, A. A *Precision Agriculture '03. Papers presented at the 4th European Conference on Precision Agriculture*. Wageningen Academic Publishers: 247-251.
- GRIFFIN, T.; DOBBINS, C.; VYN, T.; FLORAX, R.; LOWENBERG-DEBOER, J.** 2008. Spatial analysis of yield monitor data: case studies of on-farm trials and farm management decision making. *Precision Agriculture*, 9(5): 269-283.
- GRIFFIN, T.W. i ERICKSON, B.** 2009. Adoption and Use of Yield Monitor Technology for U.S. Crop Production. FSA37. Site Specific Management Center, Purdue University. West Lafayette, Indiana, USA.
- GRIFFIN, T. W.** en premsa. Chapter 4 The Spatial Analysis of Yield Data. OLIVER, M. A.; ed. A: *Geostatistical Applications for Precision Agriculture*. Springer.
- GUISARD, Y. i BIRCH, C.J.** 2005. Towards Developing Reliable Models of Leaf Area on Grapevines (*Vitis vinifera* L.). *FRUTIC 05, Information and technology for sustainable fruit and vegetable production. 7th Fruit nut and vegetable production engineering symposium*. Cemagref: 305-314.
- GUTIÉRREZ, A.; CHUECA, P.; MOLTÓ, E.** 2006. Automatic Machine for Foliar Application of Bait Insecticides. *International Conference on Agricultural Engineering AgEng2006*.
- GUZMÁN, J. L.; MEDINA, R.; RODRÍGUEZ, F.; SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J.; BERENGUEL, M.** 2003. Control de la presión de un sistema de pulverización móvil. Ed.: AGÜERA, J.; GIL, J.; LÓPEZ, F. J. A *2º Congreso Nacional de AgroIngeniería*. Universidad de Córdoba: 241-246.
- HAGGAR, R. J.; STENT, C. J.; ISAAC, S.** 1983. A prototype hand-held patch sprayer for killing weeds, activated by spectral differences in crop/weed canopies. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 28(4): 349-358.
- HAGUE, T.; TILLET, N.; WHEELER, H.** 2006. Automated Crop and Weed Monitoring in Widely Spaced Cereals. *Precision Agriculture*, 7(1): 21-32.
- HALL, A.; LAMB, D. W.; HOLZAPFEL, B.; LOUIS, J.** 2002. Optical remote sensing applications in viticulture - a review. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 8(1): 36-47.
- HALL, F. R.** 1991. Influence of canopy geometry in spray deposition and IPM. *HortScience*, 26(8): 1012-1017.
- HALL, F. R. i COOPER, J. A.** 1991. Orchard geometry and pesticide placement. British Crop Protection Council. Surrey, UK.
- HAN, S.; HENDRICKSON, L. L.; NI, B.; ZHANG, Q.** 2001. Modification and testing of a commercial sprayer with PWM solenoids for precision spraying. *Applied Engineering in Agriculture*, 17(5): 591-594.
- HARTSOCK, N. J.; MUELLER, T.G.; THOMAS, G.W.; BARNHISEL, R.I.; WELLS, K.L.; SHEARER, S.A.** 2000. Using yield and soil electrical conductivity (EC) maps to derive crop production performance information. Ed.: ROBERT, P. C.; RUST, R. H.; LARSON, W. E. A *5th International Conference on Precision Agriculture*. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America.
- HARTSOCK, N. J.; MUELLER, T. G.; KARATHANASIS, A. D.; CORNELIUS, P. L.** 2005. Interpreting soil electrical conductivity and terrain attribute variability with soil surveys. *Precision Agriculture*, 6(1): 53-72.
- HEEGE, H. i FELDHAUS, B.** 2002. Site Specific Control of Seed-Numbers per Unit Area for Grain Drills. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*, IV: 1-11.
- HEEGE, H. J. i THIESSEN, E.** 2002. On-the-go sensing for site-specific nitrogen top dressing. *2002 ASAE Annual International Meeting/CIGR XVth World Congress*. American Society of Agricultural Engineers.
- HEIJNE, B.; BESSELING, A.J.M.; WOLF, S.; RAISIGL, U.** 1997a. Tree row volume (TRV) concept in the Netherlands. *5th Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing*.



- HEIJNE, B.; DORUCHOWSKI, G.; HOLOWNICKI, R.; KOCH, H.; JAEKEN, P.; SIEGFRIED, W.; HOLLIGER, E.; CROSS, J. V.; ORTS, R.** 1997b. Developments in spray application techniques in European pome fruit growing. *IOBC/WPRS Bulletin*, 20(9): 119-129.
- HEIJNE, B.; WENNEKER, M.; VAN DE ZANDE, J. C.** 2004. Biological efficacy of a prototype segmented canopy density orchard sprayer. *Aspects of Applied Biology*, 71(2): 321-326.
- HEMMAT, A. i ADAMCHUK, V. I.** 2008. Sensor systems for measuring soil compaction: Review and analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 63(2): 89-103.
- HERRINGTON, P. J.; MAPOTHER, H. R.; STRINGER, A.** 1981. Spray retention and distribution on apple trees. *Pesticide Science*, 12(5): 515-520.
- HETZRONI, A.; MERON, M.; FATIEV, V.** 2003. Pest management module for tree-specific orchard management GIS as part of the PRECISPRAY project. Ed.: STAFFORD, J. V. i WERNER, A. *A Precision Agriculture '03. Papers presented at the 4th European Conference on Precision Agriculture*. Wageningen Academic Publishers: 291-296.
- HEWITT, A. J. i MEGANASA, T.** 1993. Droplet distribution densities of a pyrethroid insecticide within grass and maize canopies for the control of *Spodoptera exempta* larvae. *Crop Protection*, 12(1): 59-62.
- HISLOP, E. C.** 1991. Air-assisted crop spraying: an introductory review. British Crop Protection Council. Surrey, UK.
- HOGMIRE, H. W. i BIGGS, A. R.** 1994. Reduced pesticide programme for peach based on tree phenology. *Crop Protection*, 13(4): 277-280.
- HOGMIRE, H. W. i PETERSON, D. L.** 1997. Pest control on dwarf apples with a tunnel sprayer. *Crop Protection*, 16(4): 365-369.
- HOLLOWAY, P. J.; BUTLER ELLIS, M. C.; WEBB, D. A.; WESTERN, N. M.; TUCK, C. R.; HAYES, A. L.; MILLER, P. C. H.** 2000. Effects of some agricultural tank-mix adjuvants on the deposition efficiency of aqueous sprays on foliage. *Crop Protection*, 19(1): 27-37.
- HOLOWNICKI, R.; DORUCHOWSKI, G.; GODYN, A.; SWIECHOWSKI, W.** 2000a. Variation of Spray Deposit and Loss with Air-jet Directions applied in Orchards. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 77(2): 129-136.
- HOLOWNICKI, R.; DORUCHOWSKI, G.; SWIECHOWSKI, W.; GODYN, A.** 2000b. Automatic self adjusting air-jet sprayer concept for fruit trees. *International Conference on Agricultural Engineering AgEng2000*.
- HOOPER, A. W.; HARRIES, G. O.; AMBLER, B.** 1976. A photoelectric sensor for distinguishing between plant material and soil. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 21: 145-155.
- HUGHES, K. L. i FROST, A. R.** 1985. A review of agricultural spray metering. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 32(3): 197-207.
- JAEKEN, P.; DORUCHOWSKI, G.; HOLOWNICKI, R.** 1997a. Preliminary trials on selective herbicide application in orchards. *5th Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing*.
- JAEKEN, P.; DORUCHOWSKI, G.; HOLOWNICKI, R.** 1997b. Use of sensors in selective spray application in orchards. *Vth Symposium on Fruit, Nut and Vegetable Production Engineering*.
- JAEKEN, P.; VANDERMERSCH, M.; DE MOOR, A.; LANGENAKENS, J.** 2000. Application quality index as an instrument for dose calculation. *Aspects of Applied Biology*, 57: 351-356.
- JAEKEN, P.** 2001. Pesticide general dose setting for fruit use and their expression on labels: a need to harmonise many complementary approaches between EU Member States. *Parasitica*, 57(1-2-3): 217-231.
- JAEKEN, P.; BROERS, N.; DE MOOR, A.; VERCAMMEN, J.** 2004. Vegetation Area Index determination in fruit crops and its link to spray application. *Aspects of Applied Biology*, 71(2): 311-319.

- JAEKEN, P.; DEBAER, C.; DE MOOR, A.; VERCAMMEN, J.** 2006. Impact of crop density and vertical spray liquid distribution on nutrient uptake in pome fruit. *Aspects of Applied Biology*, 77(2): 519-523.
- JARNAGIN, R. C.** 2009. An examination of short-range radar for detecting tree foliage on an orchard sprayer. *Acta Horticulturae*, 824: 85-90.
- JAYNES, D. B.; COLVIN, T. S.; KASPAR, T. C.** 2005. Identifying potential soybean management zones from multi-year yield data. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46(1-3): 309-327.
- JENSEN, T.; APAN, A.; YOUNG, F.; ZELLER, L.** 2007. Detecting the attributes of a wheat crop using digital imagery acquired from a low-altitude platform. *Computers and Electronics in Agriculture*, 59: 66-77.
- JIMÉNEZ, A. R.; JAIN, A. K.; CERES, R.; PONS, J. L.** 1999. Automatic fruit recognition: a survey and new results using Range/Attenuation images. *Pattern Recognition*, 32(10): 1719-1736.
- JOHNSON, L. F.; ROCZEN, D. E.; YOUKHANA, S. K.; NEMANI, R. R.; BOSCH, D. F.** 2003. Mapping vineyard leaf area with multispectral satellite imagery. *Computers and Electronics in Agriculture*, 38(1): 33-44.
- JORDÁN, R. i NAVAS, J. A.** 2007. Control de enfermedades de cultivos aplicando técnicas de agricultura de precisión. *Vida Rural*, 260: 24-27.
- JØRGENSEN, J. i JØRGENSEN, R.** 2007. Uniformity of wheat yield and quality using sensor assisted application of nitrogen. *Precision Agriculture*, 8(1): 63-73.
- JUSTE, F.; SANCHEZ, S.; IBAÑEZ, R.; VAL, L.; GARCIA, C.** 1990. Measurement of spray deposition and efficiency of pesticide application in citrus orchards. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 46: 187-196.
- KALK, W. D.; VÖLKER, U.; EHLERT, D.; HÜLSBERGEN, K. J.** 2004. Assessment of sensor-based site-specific nitrogen fertilizing. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 50(2): 189-199.
- KAUL, P.; SCHMIDT, K.; KOCH, H.** 1996. Distribution quality of orchard sprayers. *EPPO Bulletin*, 26(1): 69-77.
- KITCHEN, N. R.** 2008. Emerging technologies for real-time and integrated agriculture decisions. *Computers and Electronics in Agriculture*, 61(1): 1-3.
- KOCH, B.; KHOSLA, R.; FRASIER, W. M.; WESTFALL, D. G.; INMAN, D.** 2004. Economic Feasibility of Variable-Rate Nitrogen Application Utilizing Site-Specific Management Zones. *Agronomy Journal*, 96(6): 1572-1580.
- KOCH, H.** 1993. Application rate and spray deposit on targets in plants. *ANPP/BCPC Second International Symposium on Pesticides Application Techniques*. BCPC: 175-182.
- KOCH, H. i WEISSER, P.** 2000. Sensor Equipped Orchard Spraying-Efficiency, Savings and Drift Reduction. *Aspects of Applied Biology*, 57: 357-362.
- KOCH, H. i WEISSER, P.** 2001. Spray deposits of crop protection products on plants – the potential exposure of non-target arthropods. *Chemosphere*, 44(2): 307-312.
- KOCH, H.; WEISSER, P.; KNEWITZ, H.** 2001. Sprayer adjustment in orchards - from dose to deposit. *VI Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing*: 28.
- KOCH, H.** 2005a. Indirect dosing – fundamental principle in pesticide application. Ed.: GIL, E.; SOLANELLES, F.; PLANAS, S.; ROSELL, J. R.; VAL, L. *A VIII Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing*. Universitat Politècnica de Catalunya, Generalitat de Catalunya i Universitat de Lleida: 27-30.
- KOCH, H.** 2005b. Single Nozzle Behaviour, Sprayer Function and Unit of Water Volume and Product Dose in Orchard Spraying. *Annual Review of Agricultural Engineering of the Polish Academy of Sciences*, 4(1): 159-168.
- KOCH, H.** 2007. How to achieve conformity with the dose expression and sprayer function in high crops. *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer*, 60(1): 71-84.

- LADD, T. L.; REICHARD, D. L.; COLLINS, D. L.; BURIFF, C. R.** 1978. An automatic intermittent sprayer: a new approach to the insecticidal control of horticultural insect pests. *Journal of economic entomology*, 71(5): 789-792.
- LADD, T. L. i REICHARD, D. L.** 1980. Photoelectrically-Operated Intermittent Sprayers for the Insecticidal Control of Horticultural Insect Pests. *Journal of economic entomology*, 73(4): 525-528.
- LADD, T. L.; REICHARD, D. L.; SIMONET, D. E.** 1981. Integration of a Photoelectrically Operated Intermittent Sprayer with Action Level Thresholds for Control of Lepidopteran Pests of Cabbage. *Journal of economic entomology*, 74(6): 698-700.
- LAMASTUS-STANFORD, F. E. i SHAW, D. R.** 2004. Evaluation of Site-Specific Weed Management Implementing the Herbicide Application Decision Support System (HADSS). *Precision Agriculture*, 5(4): 411-426.
- LAMB, D. W.; FRAZIER, P.; ADAMS, P.** 2008. Improving pathways to adoption: Putting the right P's in precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 61(1): 4-9.
- LAMMEL, J.; WOLLRING, J.; REUSCH, S.** 2001. Tractor based remote sensing for variable nitrogen fertilizer application. *A: Plant nutrition - Food security and sustainability of agro-ecosystems.* : 694-695.
- LANDERS, A. J.** 1993. Direct injection sprayers - a method of reducing environmental pollution. *ANPP-BCPC second international symposium on pesticide application techniques*. Thornton Heath: British Crop Protection Council: 305-312.
- LANDERS, A. J. i FAROOQ, M.** 2004. Factors influencing air and pesticide penetration into grapevine canopies. *Aspects of Applied Biology*, 71(2): 343-348.
- LEBEAU, F.; EL BAHIR, L.; DESTAIN, M. F.; KINNAERT, M.; HANUS, R.** 2004. Improvement of spray deposit homogeneity using a PWM spray controller to compensate horizontal boom speed variations. *Computers and Electronics in Agriculture*, 43(2): 149-161.
- LI, Y.; SHI, Z.; LI, F.** 2007a. Delineation of Site-Specific Management Zones Based on Temporal and Spatial Variability of Soil Electrical Conductivity. *Pedosphere*, 17(2): 156-164.
- LI, Y.; SHI, Z.; LI, F.; LI, H. Y.** 2007b. Delineation of site-specific management zones using fuzzy clustering analysis in a coastal saline land. *Computers and Electronics in Agriculture*, 56(2): 174-186.
- LLOP, J.** 2009. Polvorització de productes fitosanitaris en vinya: millora i validació d'un prototipus amb dosificació variable en temps real. Projecte final de carrera per a l'obtenció del títol d'Enginyer Agrònom (no publicat). Universitat de Lleida.
- LLORENS, J.** 2005. Posada a punt d'un sistema d'adquisició de dades basat en un sensor làser LMS 200 per la caracterització geomètrica de cultius arboris. Projecte final de carrera per a l'obtenció del títol d'Enginyer Agrònom (no publicat). Universitat de Lleida.
- LLORENS, J.; ROSELL, J.R.; SANZ, R.; ESCOLÀ, A.; PALACÍN, J.** 2007. Determinació de paràmetres vegetatius amb un sistema Lidar terrestre, a partir de la generació de models tridimensionals d'arbres fruiters. *V congrés de la ICEA*. Institució Catalana d'Estudis Agraris.
- LLORENS, J.; GIL, E.; LLOP, J.; ESCOLÀ, A.** 2010. Variable rate dosing in precision viticulture: use of electronic devices to improve application efficiency. *Crop Protection*, 29(3): 239-248.
- LÓPEZ-GRANADOS, F.; JURADO-EXPÓSITO, M.; ÁLAMO, S.; GARCÍA-TORRES, L.** 2004. Leaf nutrient spatial variability and site-specific fertilization maps within olive (*Olea europaea* L.) orchards. *European Journal of Agronomy*, 21(2): 209-222.
- LÓPEZ-GRANADOS, F.; JURADO-EXPÓSITO, M.; PEÑA-BARRAGÁN, J. M.; GARCÍA-TORRES, L.** 2005. Using geostatistical and remote sensing approaches for mapping soil properties. *European Journal of Agronomy*, 23(3): 279-289.
- LUMME, J.; KARJALAINEN, M.; KAARTINEN, H.; KUKKO, A.; HYYPPÄ, J.; HYYPPÄ, H.; JAAKKOLA, A.; KLEEMOLA, J.** 2008. Terrestrial laser scanning of agricultural crops. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing: 563-566.

- MAERTENS, K.; REYNS, P.; DE CLIPPEL, J.; DE BAERDEMAEKER, J.** 2003. First experiments on ultrasonic crop density measurement. *Journal of Sound and Vibration*, 266(3): 655-665.
- MAGDALENA, J. i BEMHER, S.** 2001. Volume rate adjustment in apple trellising in the Upper Valley of Rio Negro, Argentina. *IOBC/WPRS Bulletin*, 24(5): 403-407.
- MALEKI, M. R.; MOUAZEN, A. M.; DE KETELAERE, B.; RAMON, H.; DE BAERDEMAEKER, J.** 2008. On-the-go variable-rate phosphorus fertilisation based on a visible and near-infrared soil sensor. *Biosystems Engineering*, 99(1): 35-46.
- MANKTELOW, D. W. L. i PRAAT, J. P.** 1997. The tree-row-volume spraying system and its potential use in New Zealand. *Proceedings of the NZ Plant Protection Conference*, 50: 119-124.
- MANKTELOW, D. W. L.** 1998. Factors affecting spray deposits and their biological effects on New Zealand apple canopies. Tesi doctoral no publicada. Maasey University.
- MANKTELOW, D. W. L. i PRAAT, J. P.** 2000. Spray deposit variability in New Zealand winegrape canopies and implications for agrichemical application practices. *New Zealand Plant Protection*, 53: 235-240.
- MANKTELOW, D. W. L.; GURNSEY, S. J.; MACGREGOR, A. M.** 2004. Deposit variability and prediction in fruit crops: what use are label rates anyway? *Aspects of Applied Biology*, 71(2): 269-278.
- MARM.** 2008. *Buenas prácticas agrícolas en la aplicación de los fitosanitarios*. 1a edició. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid.
- MARTÍN, B.** 1999. Control electrónico en dos modelos de equipos de tratamientos fitosanitarios en arboricultura. Tesi doctoral no publicada.
- MARUCCO, P. i TAMAGNONE, M.** 2004. Performance of an adjustable and multiple air flow sprayer in orchards. *Aspects of Applied Biology*, 71(1): 261-266.
- MATTHEWS, G. A.** 1989. Eleostatic spraying of pesticides: A review. *Crop Protection*, 8(1): 3-15.
- MATTHEWS, G. A. i THOMAS, N.** 2000. Working towards more efficient application of pesticides. *Pest management science*, 56(11): 974-976.
- MCBRATNEY, A. i WHELAN, B.** 2001. Precision Ag. - Oz style. *First Australian Geospatial Information and Agriculture Conference*. NSW Agriculture: 274-282.
- MCBRATNEY, A.; WHELAN, B.; ANCEV, T.; BOUMA, J.** 2005. Future Directions of Precision Agriculture. *Precision Agriculture*, 6(1): 7-23.
- MCBRATNEY, A. B. i TAYLOR, J.A.** 2000. PV or not PV? *5th International Symposium on Cool Climate Viticulture and Oenology- a workshop on Precision Management*.
- MCBRATNEY, A. B.; WHELAN, B.M.; TAYLOR, J.A.; PRINGLE, M.J.** 2000. A management opportunity index for precision agriculture. Ed.: ROBERT, P. C.; RUST, R. H.; LARSON, W. E. *A 5th International Conference on Precision Agriculture and Other Resource Management*. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America.
- MCCONNELL, R. L.; ELLIOT, K. C.; BLIZZARD, S. H.; KOSTER, K. H.** 1983. Electronic measurement of tree row volume. *Agricultural Electronics*, 1: 85-90.
- MCKINION, J. M.; JENKINS, J. N.; AKINS, D.; TURNER, S. B.; WILLERS, J. L.; JALLAS, E.; WHISLER, F. D.** 2001. Analysis of a precision agriculture approach to cotton production. *Computers and Electronics in Agriculture*, 32(3): 213-228.
- MEIER, U.** 2001. Estadios de las plantas mono-y dicotyledóneas. 2aa edició. BBCH. Germany.
- MELESE-ENDALEW, A.; HERTOOG, M.; VERCAMMEN, J.; BAETENS, K.; DELELE, M. A.; BLOCKEN, B.; BAELMANS, M.; NICOLAÏ, B. M.; RAMON, H.; VERBOVEN, P.** 2008. Using integrated 3D canopy architecture and porous media models for prediction of orchard pesticide applications. *Aspects of Applied Biology*, 84: 425-432.

- MERON, M.; COHEN, S.; MELMAN, G.** 2000. Tree shape and volume measurement by light interception and aerial photogrammetry. *Transactions of the ASABE*, 43(2): 475-481.
- MERON, M.; VAN DE ZANDE, J.C.; VAN ZUYDAM, R.P.; HEIJNE, B.; SHARAGAI, M.; LIBERMAN, J.; HETZRONI, A.; ANDERSEN, P.G.; SHIMBORSKY, E.** 2003. Tree shape and foliage volume guided precision orchard sprayer - The PRECISPRAY FP5 project. Ed.: STAFFORD, J. V. i WERNER, A. *A Precision Agriculture '03. Papers presented at the 4th European Conference on Precision Agriculture*. Wageningen Academic Publishers: 411-416.
- MILLÁN, J.S.** 2009. Estimació dels costos de producció de fruita fresca a catalunya. any 2008 [en línia]. DAR, Generalitat de Catalunya. [Consulta: 16/01/2010]. Disponible a: [http://www20.gencat.cat/docs/DAR/DE\\_Departament/DE02\\_Estadistiques\\_observatoris/24\\_Estudis\\_i\\_documents/03\\_Documents\\_de\\_treball/Documents/Arxius\\_estatics/010DT.pdf](http://www20.gencat.cat/docs/DAR/DE_Departament/DE02_Estadistiques_observatoris/24_Estudis_i_documents/03_Documents_de_treball/Documents/Arxius_estatics/010DT.pdf).
- MILLER, J. B.** 1967. A formula for average foliage density. *Australian Journal of Botany*, 15(1): 141-144.
- MILLER, R. O.; PETTYGROVE, S.; DENISON, R.F.; JACKSON, L.F.; CAHN, M.; PLANT, R.; KEARNEY, T.** 1999. Site-specific relationships between flag leaf nitrogen, SPAD meter values and grain protein in irrigated wheat. Ed.: ROBERT, P. C.; RUST, R. H.; LARSON, W. E. *A Fourth International Conference on Precision Agriculture*. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America: 113-122.
- MOLTÓ, E.; MARTÍN, B.; FABADO, F.; BERNABEU, J.** 1997. Dosificador automático de productos fitosanitarios. Patent núm. 2128990.
- MOLTÓ, E.; MARTÍN, B.; FABADO, F.; RAMOS, P.; GUTIÉRREZ, A.** 1998. An automatic system for reduction of pesticide inputs in young citrus plantings. *Proceedings of the International Conference on Agricultural Engineering AgEng 1998*: 587-588.
- MOLTÓ, E.; MARTÍN, B.; GUTIÉRREZ, A.** 2000. Design and Testing of an Automatic Machine for Spraying at a Constant Distance from the Tree Canopy. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 77(4): 379-384.
- MOLTÓ, E.; MARTÍN, B.; GUTIÉRREZ, A.** 2001. Pesticide loss reduction by automatic adaptation of spraying on globular trees. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 78(1): 35-41.
- MOORE, M.** 1998. An Investigation into the accuracy of yield maps and their subsequent use in crop management. Tesi doctoral no publicada. Cranfield University.
- MORAN, M. S.; INOUE, Y.; BARNES, E. M.** 1997. Opportunities and limitations for image-based remote sensing in precision crop management. *Remote Sensing of Environment*, 61(3): 319-346.
- MORGAN, N. G.** 1964. Gallons per acre of sprayed area. An alternative standard term for the spraying of plantation crops. *World crops*, 16: 64-65.
- MORGAN, N. G.** 1981. Minimizing pesticide waste in orchard spraying. *Outlook on Agriculture*, 10(7): 342-344.
- MORILLO, J.; REBOLLO, F. J.; RODRÍGUEZ, M. C.** 2003. Situación de la agricultura de precisión en Extremadura. *Vida Rural*, 162: 51-54.
- MOUAZEN, A. M.; MALEKI, M. R.; DE BAERDEMAEKER, J.; RAMON, H.** 2007. On-line measurement of some selected soil properties using a VIS-NIR sensor. *Soil and Tillage Research*, 93(1): 13-27.
- MURRAY, R. A.; CROSS, J. V.; RIDOUT, M. S.** 2000. The measurement of multiple spray deposits by sequential application of metal chelate tracers. *Annals of Applied Biology*, 137(3): 245-252.
- NAVARRO, E.; LÓPEZ-GRANADOS, F.; JURADO-EXPÓSITO, M.; GRACÍA-TORRES, L.** 1999. Estudios sobre agricultura de precisión en Andalucía. *Vida Rural*, 89: 34-37.
- NELL, W. T.; MAINE, N.; BASSON, P. M.** 2006. Part III: Current status. Chapter 17 Africa. SRINIVASAN, A.; ed. *A Handbook of Precision Agriculture. Principles and Applications*. 1a edició. Haworth Press Inc. binghamton, NY, USA: 465-500.

- NOWAK, P.** 1997. A sociological analysis of site specific management. PIERCE, F. J. i SADLER, E. J.; eds. *A: The State of Site-Specific Management for Agriculture*. American society of Agronomy. Madison, US: 397-422.
- NUYTTENS, D.; WINDEY, S.; SONCK, B.** 2004. Optimisation of a Vertical Spray Boom for Greenhouse Spray Applications. *Biosystems Engineering*, 89(4): 417-423.
- NUYTTENS, D.; SONCK, B.; DE SCHAMPHELEIRE, M.; STEURBAUT, W.; BAETENS, K.; VERBOVEN, P.; NICOLAÏ, B.; RAMON, H.** 2005. A pdpa laser-based measuring set-up for the characterisation of spray nozzles. *Communications in agricultural and applied biological sciences.*, 70(4): 1023-1035.
- OEPP.** 2003. PP2/1(2) Good plant protection practice. *EPPO Bulletin*, 33(1): 87-89.
- OEPP.** 2004. PP1/181(3) Conduct and reporting of efficacy evaluation trials, including good experimental practice. *EPPO Bulletin*, 34(1): 13-24.
- OEPP.** 2005. PP1/239(1) Dose expression for plant protection products. *EPPO Bulletin*, 35(3): 563-566.
- OEPP.** 2007. PP1/152(3) Design and analysis of efficacy evaluation trials. *EPPO Bulletin*, 37(1): 11-24.
- ORTEGA, R. A.; ESSER, A.; SANTIBÁÑEZ, O.** 2003. Spatial variability of wine grape yield and quality in Chilean vineyards: economic and environmental impacts. Ed.: STAFFORD, J. V. i WERNER, A. *A Precision Agriculture '03. Papers presented at the 4th European Conference on Precision Agriculture*. Wageningen Academic Publishers: 499-506.
- ORTEGA, R. A. i SANTIBÁÑEZ, O. A.** 2007. Determination of management zones in corn (*Zea mays* L.) based on soil fertility. *Computers and Electronics in Agriculture*, 58(1): 49-59.
- ORTÍ, E.; MOLINA, J.M.; TARAZONA, I.; VAL, L.** 2005a. Metallic tracer (Fe, Mn, Zn) recovering procedures assessment from sprayed leaves in quality spraying tests for citrus orchards. Ed.: GIL, E.; SOLANELLES, F.; PLANAS, S.; ROSELL, J. R.; VAL, L. *A VIII Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing*. Universitat Politècnica de Catalunya, Generalitat de Catalunya i Universitat de Lleida: 195-202.
- ORTÍ, E.; MOLINA, J.M.; VAL, L.** 2005b. Evaluación de la uniformidad de la distribución con pulverizador hidroneumático en diferentes variedades de cítricos empleando como trazadores quelatos metálicos. Ed.: AGUADO, P. J.; JUAN, A.; MORÁN, J. M. *A III Congreso de AgroIngeniería*. Universidad de León.
- ORTÍ, E.; MOLINA, J.M.; VAL, L.; DE MIQUEL, E.** 2005c. Effect of different sprayer settings on droplet deposition in 4 different citrus varieties. Ed.: GIL, E.; SOLANELLES, F.; PLANAS, S.; ROSELL, J. R.; VAL, L. *A VIII Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing*. Universitat Politècnica de Catalunya, Generalitat de Catalunya i Universitat de Lleida: 23-28.
- ORTÍ, E. i VAL, L.** 2006. Adjustment of the Dose Distributed to the Size of the Tree in Different Citrus Varieties. *2006 ASABE Annual International Meeting*. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- OSTERMEIER, R. i AUERNHAMMER, H.** 2004. Real-time process control for a sensor based fertilizer application system using multisensor data fusion. *International Conference on Agricultural Engineering AgEng2004. Engineering the Future*. Technologisch Instituut vzw.
- OSTERMEIER, R.; ROGGE, H. I.; AUERNHAMMER, H.** 2007. Multisensor Data Fusion Implementation for a Sensor Based Fertilizer Application System. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*, IX: 1-13.
- PALACÍN, J.; ARNÓ, J.; ZANUY, C.; SOLANELLES, F.** 2003. Implementación de un sistema electrónico de pulverización pulsada en una máquina de tratamientos para cultivos bajos. Ed.: AGÜERA, J.; GIL, J.; LÓPEZ, F. J. *A 2º Congreso Nacional de AgroIngeniería*. Universidad de Córdoba.
- PALACÍN, J.; ARNÓ, J.; ZANUY, C.; SOLANELLES, F.** 2004. Installation of an electronic pulse width modulation system on a field crop sprayer. *International Conference on Agricultural Engineering AgEng2004. Engineering the Future*. Technologisch Instituut vzw.

- PALACÍN, J.; SALSE, J.A.; SANZ, R.; RIBES-DASI, M.; MASIP, J.; ARNÓ, J.; LLORENS, J.; VALLÈS, J.M.; ESCOLÀ, A.; MASANA, P.; CAMP, F.; SOLANELLES, F.; ROSELL, J.R.** 2006. Real-Time tree foliage estimation using a ground laser scanner. *IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference 2006*: 1227-1232.
- PALACÍN, J.; PALLEJÀ, T.; TRESANCHEZ, M.; SANZ, R.; LLORENS, J.; RIBES-DASI, M.; MASIP, J.; ARNÓ, J.; ESCOLÀ, A.; ROSELL, J. R.** 2007. Real-Time Tree-Foliage Surface Estimation Using a Ground Laser Scanner. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 56(4): 1377-1383.
- PALACÍN, J.; PALLEJÀ, T.; TRESANCHEZ, M.; TEIXIDO, M.; SANZ, R.; LLORENS, J.; ARNÓ, J.; ROSELL, J.R.** 2008. Difficulties on tree volume measurement from a ground laser scanner. *2008 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference, I2MTC*: 1997-2002.
- PANAGOPOULOS, T.; BALTASAR, O.; ANTUNES, M. D. C.** 2006. Mapping orchard fruit quality characteristics of apricot (*prunus armeniaca* l.) cultivars 'beliana' and 'lindo'. *Acta Horticulturae*, 717: 377-380.
- PAUL, W. i SPECKMANN, H.** 2002. Measuring Crop Density and Soil Humidity by Pulsed Radar. *International Conference on Agricultural Engineering AgEng2002*.
- PAZ, J. O.; BATCHELOR, W. D.; BABCOCK, B. A.; COLVIN, T. S.; LOGSDON, S. D.; KASPAR, T. C.; KARLEN, D. L.** 1999. Model-based technique to determine variable rate nitrogen for corn. *Agricultural Systems*, 61(1): 69-75.
- PELLICER, J.; MOLTÓ, E.; MERCADER, G.; FABADO, F.; JUSTE, F.** 1995. Incorporación de sensores a los equipos de pulverización para reducir el impacto ambiental. VI Congreso de la Sociedad Española de Ciencias Hortícolas: 149.
- PERGHER, G. i GUBIANI, R.** 1995. The Effect of Spray Application Rate and Airflow Rate on Foliar Deposition in a Hedgerow Vineyard. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 61(3): 205-216.
- PERGHER, G. i PETRIS, R.** 2008. Pesticide Dose Adjustment in Vineyard Spraying and Potential for Dose Reduction. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*, X.
- PERRY, E. M.; PIERCE, F. J.; DAVENPORT, J. R.; SMITHYMAN, J.** 2009. Comparing active optical and airborne measurements of grape canopies. *Acta Horticulturae*, 824: 75-84.
- PERRY, R.** 1995. Sensor controlled orchard sprayers- Durand-Wayland Inc./Smartspray Systems. *National Conference on Pesticide Application Technology*: 164-171.
- PFAMMATTER, W.; ANTONIN, P.; SCHAUB, L.** 1997. Une nouvelle méthode permet de définir le dosage de produit, ainsi que le volume de bouillie, en fonction du volume des arbres. *Revue suisse de Viticulture, Arboriculture et Horticulture*, 29(1): 55-56.
- PHATTARALERPHONG, J. i SINOQUET, H.** 2005. A method for 3D reconstruction of tree crown volume from photographs: Assessment with 3D-digitized plants. *Tree physiology*, 25(10): 1229-1242.
- PHATTARALERPHONG, J.; SATHORNKICH, J.; SINOQUET, H.** 2006. A photographic gap fraction method for estimating leaf area of isolated trees: Assessment with 3D digitized plants. *Tree physiology*, 26(9): 1123-1136.
- PIERCE, F. J. i NOWAK, P.** 1999. Aspects of Precision Agriculture. SPARKS, D. L.; ed. A: *Advances in Agronomy*. Academic Press: 1-85.
- PIERCE, R. A. i AYERS, P.D.** 2001. Evaluation of Deposition and Application Accuracy of A Pulse Width Modulation Variable Rate Field Sprayer. *2001 ASAE Annual International Meeting*. American Society of Agricultural Engineers.
- PLANAS, S.** 1990. Optimización de los tratamientos fitosanitarios en plantaciones frutales. Tesis doctoral no publicada. Universitat Politècnica de Catalunya.
- PLANAS, S. i PONS, L.** 1991. Practical considerations concerning pesticide application in intensive apple and pear orchard. British Crop Protection Council. Surrey, UK.

- PLANAS, S.** 1997. Eficiencia de los tratamientos fitosanitarios: hacia la reducción generalizada de dosis. *PHYTOMA*, 92: 18-20.
- PLANAS, S.** 1998. Reduction of pesticide inputs to fruit and vineyard crop production by improving the control, operation and design of spray application equipment. Final report of AIR CT 93-1304 Air assisted sprayers. Research Project CE DGVI. (no publicat). Lleida, Spain.
- PLANAS, S.; SOLANELLES, F.; FILLAT, A.; WALKLATE, P.J.; MIRALLES, A.; ADE, G.; PEZZI, F.; VAL, L.; ANDERSEN, P.G.** 1998. Advances on air-assisted spraying on the Mediterranean orchards (fruit, wine & citrus). *Proceedings of the International Conference on Agricultural Engineering AgEng1998*: 589-590.
- PLANAS, S.** 2001. Recomanació de dosis de productes fitosanitaris en els tractaments de cultius arboris (fruiters, vinya, olivar, cítrics). Informe de la reunió de la Organització Europea i Mediterrània per a la Protecció de les Plantes, EPPO (no publicat).
- PLANAS, S.; SOLANELLES, F.; FILLAT, A.** 2002a. Assessment of Recycling Tunnel Sprayers in Mediterranean Vineyards and Apple Orchards. *Biosystems Engineering*, 82(1): 45-52.
- PLANAS, S.; SOLANELLES, F.; GRÀCIA, F.; ESCOLÀ, A.; ROSELL, J.R.** 2002b. Pesticide application methods: reducing contamination in fruit and vineyard orchards. *Stakeholders Conference on the Development of Thematic Strategy on Sustainable Use of Pesticides*. European Comission: 4.
- PLANAS, S.; ESCOLÀ, A.; GIL, E.; CAMP, F.; ROSELL, J.R.; VAL, L.** 2004a. Pesticide dose adjustment for spray application in tree crops. First approach. *International Conference on Agricultural Engineering AgEng2004. Engineering the Future*. Technologisch Instituut vzw.
- PLANAS, S.; GIL, E.; ESCOLÀ, A.; SOLANELLES, F.; CAMP, F.** 2004b. DOSAFRUT, DOSAVINYA, DOSOLIVO, eines d'ajust de la dosi dels tractaments fitosanitaris. *VI jornades de protecció vegetal – ICEA*.
- PLANAS, S.; GIL, E.; ESCOLÀ, A.; CAMP, F.** 2006a. DOSA, instrumento para la optimización en la dosis de los tratamientos fitosanitarios en cultivos arbóreos. *28es Jornades de Productes Fitosanitaris -IQS*.
- PLANAS, S.; GIL, E.; ESCOLÀ, A.; SOLANELLES, F.** 2006b. DOSA, instrumento para la optimización de la dosis de los tratamientos fitosanitarios en cultivos arbóreos. *Phytoma*, 182: 43-50.
- PLANAS, S.; ROSELL, J.R.; GIL, E.; VAL, L.; ESCOLÀ, A.; SOLANELLES, F.** 2006c. Optimizing pesticide spray application in tree crops. *2006 ASABE Annual International Meeting*. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- PLANAS, S.** 2007. Ajuste de la dosis de los tratamientos fitosanitarios en cultivos arbóreos (frutales, viñedos y cítricos). *10º Symposium Nacional de Sanidad Vegetal. Innovación y futuro*. Junta de Andalucía: 131-154.
- PLANT, R. E.** 2001. Site-specific management: the application of information technology to crop production. *Computers and Electronics in Agriculture*, 30(1-3): 9-29.
- POHLMANN, H.** 1993. Geostatistical modelling of environmental data. *CATENA*, 20(1-2): 191-198.
- PORRAS, A.; SORIANO, M. L.; DUGO, M.** 1989. Electrónica y mecanización agraria. Un caso práctico: protección fitosanitaria. *Nutri Fitos*, : 20-24.
- REICHARD, D. L. i LADD, T. L.** 1981. An automatic intermittent sprayer. *Transactions of the ASABE*, 24(4): 893-896.
- REICHARD, D. L.; TENNES, B. R.; BUTYON, C. L.; BROWN, G. K.** 1982. Experimental orchard sprayer. *Transactions of the ASABE*, 25(1): 33-41.
- REUSCH, S.** 2009. Use of ultrasonic transducers for on-line biomass estimation in winter wheat. Ed.: VAN HENTEN, E. J.; GOENSE, D.; LOKHORST, C. A *Precision Agriculture '09*. Wageningen Academic Publishers: 169-175.
- REW, L. J.; MILLER, P. C. H.; PAICE, M. E. R.** 1997. The importance of patch mapping resolution for sprayer control. *Aspects of Applied Biology*, 48: 49-55.



- REYNS, P.; MISSOTTEN, B.; RAMON, H.; DE BAERDEMAEKER, J.** 2002. A Review of Combine Sensors for Precision Farming. *Precision Agriculture*, 3(2): 169-182.
- RIBES-DASI, M.; ALMACELLAS, J.; SIÓ, J.; PLANAS, S.; TORÀ, R.; AVILLA, J.** 2005. The use of Geostatistics and GIS to optimise pest control practices in precision farming systems. *FRUTIC 05, Information and technology for sustainable fruit and vegetable production. 7th Fruit nut and vegetable production engineering symposium*. Cemagref: 583-590.
- RICE, B.; CROKE, J.; MCKENNA, B.** 1989. Manual and automatic systems of controlling the application rate of tractor-mounted ground-crop sprayer. Ed.: BALKEMA, A. A. *A 11th international congress on agricultural engineering*: 2135-2142.
- RICHARDSON, G. M.; WALKLATE, P. J.; BAKER, D. E.; CROSS, J. V.; HARRIS, A. L.** 2006. Orchard measurements for optimising label dose rate adjustment. *Aspects of Applied Biology*, 77(2): 497-504.
- RIETZ, S.; PÁLYI, B.; GANZELMEIER, H.; LÁSZLÓ, A.** 1997. Performance of Electronic Controls for Field Sprayers. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 68(4): 399-407.
- ROBERSON, G. T.** 2000. Precision agriculture technology for horticultural crop production. *HortTechnology*, 10(3): 448-451.
- ROCKELL, A. D. i AYERS, P. D.** 1996. A variable rate, direct nozzle injection field sprayer. *Applied Engineering in Agriculture*, 12(5): 531-538.
- ROPER, B. E.** 1988. Grove sprayer. Patent núm. 4768713.
- ROSELL, J. R.; NOGUÉS, A.; PLANAS, S.** 1996. Development of an electronic selective orchard spraying system based on the control of applied flow rate. *International Conference on Agricultural Engineering*: Paper 96A-120.
- ROSELL, J. R.; SANZ, R.; ESCOLÀ, A.; PALACÍN, J.; SISÓ, J. M.; RIBES-DASI, M.; MASIP, J.; ARNÓ, J.; LLORENS, J.; VALLÈS, J. M.; MASANA, P.; GRÀCIA, F.; SOLANELLES, F.; CAMP, F.; GIL, E.; VAL, L.; PLANAS, S.** 2004. Progresos en la determinación de las características estructurales de las plantas mediante un escáner láser para su utilización en la aplicación de fitosanitarios de forma proporcional a las características de las plantaciones. *Fructicultura profesional*, 147: 12-20.
- ROSELL, J. R.; LLORENS, J.; SANZ, R.; ARNÓ, J.; RIBES-DASI, M.; MASIP, J.; ESCOLÀ, A.; CAMP, F.; SOLANELLES, F.; GRÀCIA, F.; GIL, E.; VAL, L.; PLANAS, S.; PALACÍN, J.** 2009a. Obtaining the three-dimensional structure of tree orchards from remote 2D terrestrial LIDAR scanning. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(9): 1505-1515.
- ROSELL, J. R.; SANZ, R.; LLORENS, J.; ARNÓ, J.; ESCOLÀ, A.; RIBES-DASI, M.; MASIP, J.; CAMP, F.; GRÀCIA, F.; SOLANELLES, F.; PALLEJÀ, T.; VAL, L.; PLANAS, S.; GIL, E.; PALACÍN, J.** 2009b. A tractor-mounted scanning LIDAR for the non-destructive measurement of vegetative volume and surface area of tree-row plantations: A comparison with conventional destructive measurements. *Biosystems Engineering*, 102(2): 128-134.
- ROVIRA-MÁS, F.; ZHANG, Q.; REID, J. F.** 2005. Creation of three-dimensional crop maps based on aerial stereoimages. *Biosystems Engineering*, 90(3): 251-259.
- RUDOLPH, W.** 1983. Controlled application. *National Conference on Agricultural Electronics Applications*. American Society of Agricultural Engineers: 91-98.
- RÜEGG, J. i VIRET, O.** 1999. Determination of the tree row volume in stone-fruit orchards as a tool for adapting the spray dosage. *EPPO Bulletin*, 29: 95-101.
- RÜEGG, J.; VIRET, O.; RAISIGL, U.** 1999. Adaptation of spray dosage in stone-fruit orchards on the basis of tree row volume. *EPPO Bulletin*, 29: 103-110.
- RÜEGG, J. i BAK, H.** 2001. Towards crop adapted spraying (CAS) in berry crops. *Pesticide Outlook*, 12(3): 99.
- RÜEGG, J.; SIEGFRIED, W.; RAISIGL, U.; VIRET, O.; STEFFEK, R.; REISENZEIN, H.; PERSEN, U.** 2001. Registration of plant protection products in EPPO countries: current status and possible approaches to harmonization. *EPPO Bulletin*, 31(2): 143-152.

- SAEYS, W.; LENAERTS, B.; CRAESSAERTS, G.; DE BAERDEMAEKER, J.** 2009. Estimation of the crop density of small grains using LiDAR sensors. *Biosystems Engineering*, 102(1): 22-30.
- SALYANI, M.; HEDDEN, S. L.; EDWARDS, G. J.** 1987. Deposition efficiency of different droplet sizes for citrus spraying. *Transactions of the ASABE*, 30(6): 1595-1599.
- SALYANI, M.** 1999. Spray volume rate errors in intermittent operation of hydraulic nozzles. *Applied Engineering in Agriculture*, 15(1): 31-34.
- SALYANI, M.** 2000. Optimization of deposition efficiency for airblast sprayers. *Transactions of the ASABE*, 43(2): 247-253.
- SALYANI, M.** 2005. Florida Citrus Pest Management Guide: Pesticide Application Technology. *University of Florida. IFAS Extension*, ABE-356.
- SALYANI, M. i WEI, J.** 2005. Effect of travel speed on characterizing citrus canopy structure with a laser scanner. Ed.: STAFFORD, J. V. *A Precision Agriculture '05. Papers presented at the 5th European Conference on Precision Agriculture*. Wageningen Academic Publishers: 185-192.
- SALYANI, M.; PAI, N.; SWEEB, R.D.** 2007. On-the-go changing of sprayer airflow based on tree foliage density. Ed.: BJUGSTAD, N.; ANDERSEN, P. G.; JØRGENSEN, M.; SVENSSON, S. A.; SERVIN, D. *A 9th Workshop on Sustainable Plant Protection Techniques in Fruit Growing (SuProFruit)*. Swedish University of Agricultural Sciences: 63-64.
- SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J.; MEDINA, R.; SÁNCHEZ, A.** 2005a. Adjustment of pesticide application rate for greenhouse grown peppers. Ed.: GIL, E.; SOLANELLES, F.; PLANAS, S.; ROSELL, J. R.; VAL, L. *A VIII Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing*. Universitat Politècnica de Catalunya, Generalitat de Catalunya i Universitat de Lleida: 179-186.
- SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J.; RODRÍGUEZ, F.; BERENGUEL, M.; MORALES, D.; GUZMÁN, J.L.** 2005b. Mobile robot for spraying in greenhouses. Ed.: GIL, E.; SOLANELLES, F.; PLANAS, S.; ROSELL, J. R.; VAL, L. *A VIII Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing*. Universitat Politècnica de Catalunya, Generalitat de Catalunya i Universitat de Lleida: 209-216.
- SANZ, R.; RIBES-DASI, M.; MASIP, J.; ARNÓ, J.; LLORENS, J.; VALLÈS, J.M.; ROSELL, J.R.; PALACÍN, J.; SISÓ, J.M.** 2004. Advances in the Measurement of Structural Characteristics of Plants with a LIDAR Scanner. *International Conference on Agricultural Engineering AgEng2004. Engineering the Future*. Technologisch Instituut vzw.
- SANZ, R.; LLORENS, J.; ARNÓ, J.; VALLÈS, J.M.; ESCOLÀ, A.; MASANA, P.; CAMP, F.; GIL, E.; PALACÍN, J.; MASIP, J.; RIBES-DASI, M.; SOLANELLES, F.; ROSELL, J.R.** 2005a. Idoneidad y manejo de los datos de un escáner láser (LIDAR) para la caracterización de determinados parámetros vegetativos de interés en frutales y viña. Ed.: AGUADO, P. J.; JUAN, A.; MORÁN, J. M. *A III Congreso de AgrolIngeniería*. Universidad de León: 593-594.
- SANZ, R.; LLORENS, J.; RIBES-DASI, M.; MASIP, J.; ARNÓ, J.; VALLÈS, J.M.; ESCOLÀ, A.; MASANA, P.; CAMP, F.; PALACÍN, J.; SOLANELLES, F.; GIL, E.; PLANAS, S.; VAL, L.; ROSELL, J.R.** 2005b. First results of a non-destructive LIDAR system for the characterization of tree crops as a support for the optimisation of pesticide treatments. Ed.: GIL, E.; SOLANELLES, F.; PLANAS, S.; ROSELL, J. R.; VAL, L. *A VIII Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing*. Universitat Politècnica de Catalunya, Generalitat de Catalunya i Universitat de Lleida: 121-127.
- SANZ, R.** 2008. Desarrollo, validación y simulación de un sistema de medición, basado en un sensor lidar, para la caracterización de cultivos arbóreos. Tesis doctoral no publicada. Universitat de Lleida.
- SCHELLBERG, J. i LOCK, R.** 2008. A site-specific slurry application technique on grassland and on arable crops. *Bioresource Technology*, 100(1): 280-286.
- SCHUELLER, J. K.; WHITNEY, J. D.; WHEATON, T. A.; MILLER, W. M.; TURNER, A. E.** 1999. Low-cost automatic yield mapping in hand-harvested citrus. *Computers and Electronics in Agriculture*, 23(2): 145-153.

- SCHUMANN, A. W. i ZAMAN, Q. U.** 2005. Software development for real-time ultrasonic mapping of tree canopy size. *Computers and Electronics in Agriculture*, 47(1): 25-40.
- SCHUMANN, A. W.; MILLER, W. M.; ZAMAN, Q. U.; HOSTLER, H. K.; BUCHANON, S.; CUGATI, S.** 2006. Variable rate granular fertilization of citrus groves: Spreader performance with single-tree prescription zones. *Applied Engineering in Agriculture*, 22(1): 19-24.
- SCHUSTER, I.; NORDMEYER, H.; RATH, T.** 2007. Comparison of vision-based and manual weed mapping in sugar beet. *Biosystems Engineering*, 98(1): 17-25.
- SCOTFORD, I. M. i MILLER, P. C. H.** 2004a. Combination of Spectral Reflectance and Ultrasonic Sensing to monitor the Growth of Winter Wheat. *Biosystems Engineering*, 87(1): 27-38.
- SCOTFORD, I. M. i MILLER, P. C. H.** 2004b. Estimating Tiller Density and Leaf Area Index of Winter Wheat using Spectral Reflectance and Ultrasonic Sensing Techniques. *Biosystems Engineering*, 89(4): 395-408.
- SEAVERT, C. F.; RIGHETTI, T.; CASTAGNOLI, S.** 2005. An Evaluation of Site-Specific Management Strategies in the U.S. Pear Industry. *Acta Horticulturae*, 671: 429-436.
- SHIBAYAMA, M.; AKIYAMA, T.; MUNAKATA, K.** 1985. A portable field ultrasonic sensor for crop canopy characterization. *Remote Sensing of Environment*, 18(3): 269-279.
- SHIMBORSKY, E. i MERON, M.** 2001. Automatic acquisition of tree shapes and foliage volume maps of tree orchards. Ed.: GRENIER, G. i BLACKMORE, B. S. *A Precision Agriculture '01. Papers presented at the 3th European Conference on Precision Agriculture*. agro-Montpellier: 313-318.
- SHIMBORSKY, E.** 2003. Digital tree mapping and its applications. Ed.: STAFFORD, J. V. i WERNER, A. *A Precision Agriculture '03. Papers presented at the 4th European Conference on Precision Agriculture*. Wageningen Academic Publishers: 645-650.
- SØGAARD, H. T.** 2005. Weed Classification by Active Shape Models. *Biosystems Engineering*, 91(3): 271-281.
- SOLANELLES, F.; ESCOLÀ, A.; FILLAT, A.; ROSELL, J.R.; PLANAS, S.** 2001a. Nuevas tecnologías de aplicación de productos fitosanitarios en cultivos arbóreos. Ed.: VAL, L.; JUSTE, F.; GRACIA, C.; MOLTÓ, E. *A 1er Congreso Nacional de ingeniería para la agricultura y el medio rural*. Generalitat Valenciana.
- SOLANELLES, F.; FILLAT, A.; ESCOLÀ, A.; PLANAS, S.** 2001b. Effect of air injector nozzles on the spray distribution in a pear orchard. *Parasítica*, 57(1-2-3): 61-68.
- SOLANELLES, F.; PLANAS, S.; ESCOLÀ, A.; ROSELL, J. R.** 2002. Spray application efficiency of an electronic control system for propotional application to the canopy volume. *Aspects of Applied Biology*, 66: 139-146.
- SOLANELLES, F.; ESCOLÀ, A.; CAMP, F.; PLANAS, S.; GRÀCIA, F.; ROSELL, J.R.; VAL, L.; GIL, E.** 2004a. Pesticide dose adjustment in fruit crops in spain. First results. *Environmentally Friendly Spray Application Techniques. Research Centre of Excellence in Sustainable Pomology*.
- SOLANELLES, F.; ESCOLÀ, A.; PLANAS, S.; CAMP, F.; GIL, E.** 2004b. Dosafрут, dosavinya, dosolivo, herramientas de ajuste de la dosis de los tratamientos fitosanitarios en cultivos leñosos. *Fructicultura Profesional*, 147: 146-149.
- SOLANELLES, F.; ESCOLÀ, A.; PLANAS, S.; ROSELL, J.R.; CAMP, F.** 2005. An electronic control system for proportional pesticide application to the canopy volume in tree crops. *5th Conference of the European Federation for Information Technology in Agriculture, food and Environment / 3rd World Congress on Computers in Agriculture and Natural Resources*: 236-243.
- SOLANELLES, F.; ESCOLÀ, A.; PLANAS, S.; ROSELL, J. R.; CAMP, F.; GRÀCIA, F.** 2006. An Electronic Control System for Pesticide Application Proportional to the Canopy Width of Tree Crops. *Biosystems Engineering*, 95(4): 473-481.

- SOLANELLES, F.; CAMP, F.; ESCOLÀ, A.; PLANAS, S.; GRÀCIA, F.** 2007. Effect of volume application rate on the spray application efficiency in apple and pear orchards. Ed.: BJUGSTAD, N.; ANDERSEN, P. G.; JØRGENSEN, M.; SVENSSON, S. A.; SERVIN, D. *A 9th Workshop on Sustainable Plant Protection Techniques in Fruit Growing (SuProFruit)*. Swedish University of Agricultural Sciences.
- SOLANELLES, F.** 2009. *Avaluació de diferents tècniques d'aplicació per a la reducció de la contaminació en els tractaments fitosanitaris*. Tesi doctoral. Universitat de Lleida. Departament d'Enginyeria Agroforestal. [Consulta: 10 de juny de 2009]. Disponible a: <http://www.tdx.cat/TDX-0626109-163544>.
- SRINIVASAN, A.** 2006a. *Handbook of Precision Agriculture. Principles and Applications*. 1a edició. Haworth Press Inc. binghamton, NY, USA.
- SRINIVASAN, A.** 2006b. Part III: Current status. Chapter 18 Asia. SRINIVASAN, A.; ed. A: *Handbook of Precision Agriculture. Principles and Applications*. 1a edició. Haworth Press Inc. binghamton, NY, USA: 501-528.
- STAFFORD, J. V. i MILLER, P. C. H.** 1993. Spatially selective application of herbicide to cereal crops. *Computers and Electronics in Agriculture*, 9(3): 217-229.
- STAFFORD, J. V.** 1996. Essential technology for precision agriculture. Ed.: ROBERT, P. C.; RUST, R. H.; LARSON, W. E. *A Precision Agriculture. Proceedings of the third International Conference on Precision Agriculture*. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America: 595-604.
- STAFFORD, J. V.; LE BARS, J. M.; AMBLER, B.** 1996. A hand-held data logger with integral GPS for producing weed maps by field walking. *Computers and Electronics in Agriculture*, 14(2-3): 235-247.
- STEFFEK, R.; REISENZEIN, H.; PERSEN, U.** 2000. Tree-row-volume a new way for the registration of plant-protective agents in orchards? Results of 3-year field trials in austrian apple orchards. *Acta Horticulturae*: 195-200.
- STOVER, E., SCOTTO, D., WILSON, C. i SALYANI, M.** 2002. Spray applications to citrus: Overview of factors influencing spraying efficacy and off-target deposition [en línia]. IFAS Extension, University of Florida. [Consulta: 22/05/2007]. Disponible a: <http://edis.ifas.ufl.edu/HS128>.
- SUGIURA, R.; NOGUCHI, N.; ISHII, K.** 2005. Remote-sensing Technology for Vegetation Monitoring using an Unmanned Helicopter. *Biosystems Engineering*, 90(4): 369-379.
- SUI, R.; THOMASSON, J.A.; WILLERS, J.L.; LEE, F.P.; WANG, R.** 2003. Variable-Rate Spray System Dynamic Evaluation. *2003 ASAE Annual International Meeting*. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- SUTTON, T. B. i UNRATH, C. R.** 1984. Evaluation of the tree-row volume concept with density adjustments in relation to spray deposition in apple orchards. *Plant Disease*, 68(6): 480-484.
- SUTTON, T. B. i UNRATH, C. R.** 1988a. Evaluation of the Tree-Row-Volume model for full season pesticide application on apples. *Plant Disease*, 72: 629-632.
- SUTTON, T. B. i UNRATH, C. R.** 1988b. A comparison of handgun and tree-row-volume pesticide applications. *Plant Dis.*, 72: 509-512.
- SWAIN, K. C.; JAYASURIYA, H. P. W.; SALOKHE, V. M.** 2007. Low Altitude Remote Sensing (LARS): A Potential Substitution to Satellite Based Remotes Sensing for Precision Agriculture Adoption in Fragmented and Diversified Farming Conditions. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*, IX: 1-16.
- SYNGENTA.** 2003. *Water-sensitive paper for monitoring spray distribution*. 10000/2ea edició. Syngenta Crop Protection AG. Basel (Suïssa).
- TALAYA, J.; MESA, J.; SEGARRA, J.; COLOMINA, I.** 1997. El sistema DGPS RASANT en Catalunya. *III Setmana Geomàtica de Barcelona*: 139-147.
- TARDÁGUILA, F.; BARRAGÁN, F.; YANGUAS, R.; DIAGO, M.** 2008. Estimación de la variabilidad del vigor del viñedo a través de un sensor óptico lateral terrestre. *Vida Rural*, 271.

- TAYLOR, J.; TISSEYRE, B.; PRAAT, J.P.** 2005. Bottling Good Information: Mixing Tradition and Technology in vineyards. *FRUTIC 05, Information and technology for sustainable fruit and vegetable production. 7th Fruit nut and vegetable production engineering symposium*. Cemagref: 719-735.
- TAYLOR, J. C.; WOOD, G. A.; EARL, R.; GODWIN, R. J.** 2003. Soil Factors and their Influence on Within-field Crop Variability, Part II: Spatial Analysis and Determination of Management Zones. *Biosystems Engineering*, 84(4): 441-453.
- THOMPSON, J. F.; STAFFORD, J. V.; MILLER, P. C. H.** 1991. Potential for automatic weed detection and selective herbicide application. *Crop Protection*, 10(4): 254-259.
- THORP, K. R.; DEJONGE, K. C.; KALEITA, A. L.; BATCHELOR, W. D.; PAZ, J. O.** 2008. Methodology for the use of DSSAT models for precision agriculture decision support. *Computers and Electronics in Agriculture*, 64(2): 276-285.
- TIAN, L. i ZHENG, J.** 2000. Dynamic deposition pattern simulation of modulated spraying. *Transactions of the ASABE*, 43(1): 5-11.
- TILLET, N.; HAGUE, T.; GARDFOR, P.; WATTS, P.** 2003. Development of a commercial vision guided inter-row hoe: achievement, problems and future directions. Ed.: STAFFORD, J. V. i WERNER, A. A *Precision Agriculture '03. Papers presented at the 4th European Conference on Precision Agriculture*. Wageningen Academic Publishers: 671-676.
- TOUS, X.; TOUS, S.; SOLÉ, M.; CUADROS, R.** 2001. Estudio de la variabilidad intraparcelsaria de producción (t/ha) en cereales cultivados en siembra directa; paso previo a la incorporación de equipos agrícolas de aplicación variable. *I World congress on conservation agriculture*.
- TRAVIS, J. W.; SKROCH, W. A.; SUTTON, T. B.** 1987a. Effect of canopy density on pesticide deposition and distribution on apple trees. *Plant Disease*, 71(7): 613-615.
- TRAVIS, J. W.; SKROCH, W. A.; SUTTON, T. B.** 1987b. Effects of Travel Speed, Application Volume, and Nozzle Arrangement on Deposition and Distribution of Pesticides in Apple Trees. *Plant Disease*, 71(7): 606-612.
- TREMBLAY, N.; WANG, Z.; MA, B. -.; BELEC, C.; VIGNEAULT, P.** 2009. A comparison of crop data measured by two commercial sensors for variable-rate nitrogen application. *Precision Agriculture*, 10(2): 145-161.
- TUMBO, S. D.; SALYANI, M.; WHITNEY, J.D.; WHEATON, T.A.; MILLER, W.M.** 2001. Laser, ultrasonic and manual measurements of citrus tree canopy volume. *2001 ASAE Annual International Meeting*. American Society of Agricultural Engineers.
- TUMBO, S. D.; SALYANI, M.; WHITNEY, J. D.; WHEATON, T. A.; MILLER, W. M.** 2002a. Investigation of laser and ultrasonic ranging sensors for measurements of citrus canopy volume. *Applied Engineering in Agriculture*, 18(3): 367-372.
- TUMBO, S. D.; WHITNEY, J. D.; MILLER, W. M.; WHEATON, T. A.** 2002b. Development and testing of a citrus yield monitor. *Applied Engineering in Agriculture*, 18(4): 399-403.
- U.S. House of representatives.** 1997. A bill to reform, extend, and repeal certain agricultural research, extension, and education programs, and for other purposes. Title IV - New research, extension and education initiatives. Subtitle B - Precision Agriculture. Sec. 411 Definitions, H. R. 2534.
- U.S. House of representatives.** 2002. US code Title 7-Agriculture. Chapter 103-Agricultural research, extension, and education reform. Subchapter II-New agricultural research, extension, and education initiatives. Secció 7623. (a) Definitions.
- VAL, L.; PALACIOS, P.; SEGURA, A.; JUSTE, F.; DE MIQUEL, E.; PELLICER, J.** 1994. The use of air-assisted equipments spraying citrus orchards in the Valencia region. Ed.: JUSTE, F. A *IV Symposium on Fruit, Nut and Vegetable Production Engineering*. IVIA: 187-194.
- VALERO, C.** 2001. Agricultura de precisión: conceptos y situación actual. *Vida Rural*, 136: 58-62.
- VALERO, C.** 2002. Agricultura de precisión en EE.UU. y Argentina: dos ejemplos a seguir. *Vida Rural*, 151: 54-56.

- VALERO, C.** 2004. Situación actual de la agricultura de precisión en España. *Vida Rural*, 192: 17-20.
- VALERO, C.** 2006. ¿Tiene futuro en España la agricultura del mañana? *Vida Rural*, 233: 23-26.
- VALERO, C. i ESCRIBANO, C.** 2006. Conclusiones de la jornada de agricultura de precisión y tecnologías de la información. *Vida Rural*, 226: 14-15.
- VALERO, C.** 2007. Agricultura de precisión, en las primeras fases del proceso. *Vida Rural*, 260: 19-22.
- VALERO, A.; RODRÍGUEZ, F.; MORALES, D.P.; SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J.** 2004. Sistema sensorial de una plataforma móvil autónoma para tratamiento fitosanitarios en invernaderos. *XXV Jornadas de Automática*.
- VAN DE ZANDE, J. C.; MERON, M.; KOCH, H.; HEIJNE, B.; SHIMBORSKY, E.; ANDERSEN, P.G.; SHRAGAI, M.; HETZRONI, A.** 2001. Tree shape and foliage volume map guided precision orchard sprayer; PRECISPRAY. *VI Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing*: 19.
- VAN DE ZANDE, J. C.; MICHELSEN, J.M.G.P.; ACHTEN, V.T.J.M.; PORSKAMP, H.A.J.; STALLINGA, H.** 2003. Set-up and verification of a segmented cross-flow CDS orchard sprayer equipped with a canopy contour guidance system. Ed.: BALSARI, P.; DORUCHOWSKI, G.; CROSS, J. V. *A VII Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing*. Università degli Studi di Torino. DEIAFA: 97-107.
- VAN DE ZANDE, J. C.; WENNEKER, M.; MEULEMAN, J.; ACHTEN, V.T.J.M.; BALSARI, P.** 2007. Development of a Crop Health Sensor (CHS) to minimise spray applications in apple. Ed.: BJUGSTAD, N.; ANDERSEN, P. G.; JØRGENSEN, M.; SVENSSON, S. A.; SERVIN, D. *A 9th Workshop on Sustainable Plant Protection Techniques in Fruit Growing (SuProFruit)*. Swedish University of Agricultural Sciences: 13-14.
- VAN DE ZANDE, J. C.; ACHTEN, V. T. J. M.; MICHELSEN, J. M. G. P.; WENNEKER, M.; KOSTER, A. T. J.** 2008. Towards more target oriented crop protection. *Aspects of Applied Biology*, 84: 245-252.
- VELLIDIS, G.; THOMAS, D.; WELLS, T.; KVIEN, C.** 1999. Cotton Yield Maps Created from Aerial Photographs. *1999 ASAE Annual International Meeting*. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- VIRET, O.; RÜEGG, J.; SIEGFRIED, W.; HOLLIGER, E.; RAISIGL, U.** 1999. Pulvérisation en arboriculture. Adaptation de la dose de produits phytosanitaires et de la quantité d'eau au volume des arbres fruitiers à pépins et à noyaux. *Revue suisse de Viticulture, Arboriculture et Horticulture*, 31(3): 1-12.
- VIRET, O.; SIEGFRIED, W.; HOLLIGER, E.; RAISIGL, U.** 2003. Comparison of spray deposits and efficacy against powdery mildew of aerial and ground-based spraying equipment in viticulture. *Crop Protection*, 22(8): 1023-1032.
- VIRET, O. i SIEGFRIED, W.** 2004. Application des produits phytosanitaires es Suisse: optimisation des doses, contrôle des pulvérisateurs et récupération des résidus de traitements en viticulture. *MONDIAVIT*: 101-105.
- VIRET, O.; SIEGFRIED, W.; WOHLHAUSER, R.** 2005a. Crop adapted spraying in viticulture. Leaf volume dependant pesticide dosage for a precise and ecological application. Ed.: GIL, E.; SOLANELLES, F.; PLANAS, S.; ROSELL, J. R.; VAL, L. *A VIII Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing*. Universitat Politècnica de Catalunya, Generalitat de Catalunya i Universitat de Lleida.
- VIRET, O.; SIEGFRIED, W.; WOHLHAUSER, R.; RAISIGL, U.** 2005b. Dosage des fongicides en fonction du volume foliaire de la vigne. *Revue suisse de Viticulture, Arboriculture et Horticulture*, 37(1): 59-62.
- VIRET, O.; SIEGFRIED, W.; BLOESCH, B.; TAILLENS, J.; MITTAZ, C.** 2007. Dosage des fongicides adaptés à la surface foliaire: résultats en 2006. *Revue suisse de Viticulture, Arboriculture et Horticulture*, 39(1): 65-68.

- VIRET, O. i HÖHN, H.** 2008. Application de la dose selon la méthode du TRV. *Revue suisse de Viticulture, Arboriculture et Horticulture*, 40(1): 50-51.
- WALKLATE, P. J.** 1989. A Laser scanning instrument for measuring crop geometry. *Agricultural and Forest Meteorology*, 46: 275-284.
- WALKLATE, P. J.; WEINER, K.L.; PARKIN, C.S.** 1993. A simple model for operational control of crop penetration by an air-assistance sprayer. *ANPP/BCPC Second International Symposium on Pesticides Application Techniques*. BCPC: 255-261.
- WALKLATE, P. J.; RICHARDSON, G.M.; CROSS, J.V.** 1996a. Measurements of the effect of air volumetric flow rate and sprayer speed on drift and leaf deposit distribution from an air-assisted sprayer in an apple orchard. *International Conference on Agricultural Engineering*. Paper 96A-131.
- WALKLATE, P. J.; WEINER, K. L.; PARKIN, C. S.** 1996b. Analysis of and experimental measurements made on a moving air-assisted sprayer with two-dimensional air-jets penetrating a uniform crop canopy. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 63(4): 365-378.
- WALKLATE, P. J.; RICHARDSON, G.M.; BAKER, D.E.; CROSS, J.V.** 1997a. Light detection and range measurement of orchards. *5th Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing*.
- WALKLATE, P. J.; RICHARDSON, G.M.; BAKER, D.E.; RICHARDS, P.A.; CROSS, J.V.** 1997b. Short-range lidar measurement of top fruit tree canopies for pesticide applications research in the United Kingdom. Ed.: NARAYANAN, R. M. i KALSHOVEN, J. E. A. SPIE: 143-151.
- WALKLATE, P. J.; RICHARDSON, G.M.; BAKER, D.E.; CROSS, J.V.; MURRAY, R.A.** 2000a. Adjustment of an axial fan sprayer for different orchard trees. *International Conference on Agricultural Engineering AgEng2000*.
- WALKLATE, P. J.; RICHARDSON, G. M.; CROSS, J. V.; MURRAY, R. A.** 2000b. Relationship between orchard tree crop structure and performance characteristics of an axial fan sprayer. *Aspects of Applied Biology*, 57: 285-292.
- WALKLATE, P. J.; CROSS, J. V.; RICHARDSON, G. M.; MURRAY, R. A.; BAKER, D. E.** 2002. Comparison of Different Spray Volume Deposition Models Using LIDAR Measurements of Apple Orchards. *Biosystems Engineering*, 82(3): 253-267.
- WALKLATE, P. J.; CROSS, J. V.; RICHARDSON, B.; BAKER, D. E.; MURRAY, R. A.** 2003a. A generic method of pesticide dose expression: Application to broadcast spraying of apple trees. *Annals of Applied Biology*, 143(1): 11-23.
- WALKLATE, P. J.; CROSS, J.V.; RICHARDSON, G.M.; BAKER, D.E.; MURRAY, R.A.** 2003b. Pesticide dose Adjustment to the Crop Environment (PACE): Systems development. Ed.: BALSARI, P.; DORUCHOWSKI, G.; CROSS, J. V. *A VII Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing*. Università degli Studi di Torino. DEIAFA.
- WALKLATE, P. J.; RICHARDSON, G. M.; BAKER, D. E.; CROSS, J. V.; MURRAY, R. A.** 2004. Further developments of PACE systems for orchard spraying: spray volume deposition on multiple-row targets. *Aspects of Applied Biology*, 71(2): 295-302.
- WALKLATE, P. J. i CROSS, J. V.** 2005. Orchard spraying: Opportunities to reduce rates. Horticultural Development Council. Kent, UK.
- WALKLATE, P. J.; CROSS, J. V.; RICHARDSON, G. M.; BAKER, D. E.** 2006a. Optimising the adjustment of label-recommended dose rate for orchard spraying. *Crop Protection*, 25(10): 1080-1086.
- WALKLATE, P. J.; TARQUIS, A. M.; MÉNDEZ, V.; LAZZARO, L.** 2006b. Spray target area estimation from LIDAR recordings of row crops: A numerical study. *Aspects of Applied Biology*, 77(2): 513-518.

- WALKLATE, P. J.; CROSS, J.V.; RICHARDSON, G.M.; HARRIS, A.L.** 2007. Modelling the variability of spray deposit on orchard structures. Ed.: STAFFORD, J. V. *A Precision agriculture '07. Papers presented at the 6th European Conference on Precision Agriculture*. Wageningen Academic Publishers: 589-595.
- WANGLER, R. J.; MCCONNELL III, R.E.; FOWLER, K.L.** 1993. Application of smart submunition technology to agribusiness. Ed.: DESHAZER, J. A. i MEYER, G. E. *A Optics in Agriculture and Forestry*. Society of Photo-optical Instrumentation Engineers - SPIE: 261-272.
- WANGLER, R. J.; FOWLER, K. L.; MCCONNELL, R. E.** 1994. Object sensor and method for use in controlling an agricultural sprayer. Patent núm. 5278423.
- WARTENBERG, G. i DAMMER, K.H.** 2001. Site-specific real time application of herbicides in practice. Ed.: GRENIER, G. i BLACKMORE, B. S. *A Precision Agriculture '01. Papers presented at the 3th European Conference on Precision Agriculture*. agro-Montpellier: 617-622.
- WEI, J. i SALYANI, M.** 2004. Development of a laser scanner for measuring tree canopy characteristics: phase 1. Prototype development. *Transactions of the ASABE*, 47(6): 2101-2107.
- WEI, J. i SALYANI, M.** 2005. Development of a laser scanner for measuring tree canopy characteristics: phase 2. Foliage density measurement. *Transactions of the ASABE*, 48(4): 1595-1601.
- WEISSER, P. i KOCH, H.** 2002. Expression of dose rate with respect to orchard sprayer function. *Aspects of Applied Biology*, 66: 353-358.
- WELSH, J. P.; WOOD, G. A.; GODWIN, R. J.; TAYLOR, J. C.; EARL, R.; BLACKMORE, B. S.; KNIGHT, S. M.** 2003a. Developing Strategies for Spatially Variable Nitrogen Application in Cereals, Part I: Winter Barley. *Biosystems Engineering*, 84(4): 481-494.
- WELSH, J. P.; WOOD, G. A.; GODWIN, R. J.; TAYLOR, J. C.; EARL, R.; BLACKMORE, B. S.; KNIGHT, S. M.** 2003b. Developing Strategies for Spatially Variable Nitrogen Application in Cereals, Part II: Wheat. *Biosystems Engineering*, 84(4): 495-511.
- WELTY, C.** 2008. Orchard spray rates. how to determine the amount of pesticide and water to use in your orchard [en línia]. The Ohio State University. [Consulta: 27/08/2008]. Disponible a: <http://ohioline.osu.edu/b892/index.html>.
- WENNEKER, M.; HEIJNE, B.; VAN DE ZANDE, J.C.** 2003. Drift reduction and efficacy of orchard spraying with a sensor-equipped cross-flow sprayer. Ed.: BALSARI, P.; DORUCHOWSKI, G.; CROSS, J. V. *A VII Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing*. Università degli Studi di Torino. DEIAFA: 247-255.
- WHELAN, B.** 2001. Moving to PA management in the grains industry. *First Australian Geospatial Information and Agriculture Conference*. NSW Agriculture: 406-416.
- WHELAN, B.** 2007. Current status and future directions of PA in Australia. *2nd Asian Conference on Precision Agriculture*: 60-71.
- WHIPKER, L.D. i AKRIDGE, J.T.** 2009. 2009 Precision Agricultural Services: dealership survey results. #09-16. Center for food and agricultural business at Purdue University. West Lafayette, Indiana, USA.
- WHITNEY, J. D.; MILLER, W. M.; WHEATON, T. A.; SALYANI, M.; SCHUELLER, J. K.** 1999. Precision farming applications in Florida citrus. *Applied Engineering in Agriculture*, 15(5): 399-403.
- WHITNEY, J. D.; LING, Q.; MILLER, W. M.; WHEATON, T. A.** 2001a. A DGPS yield monitoring system for Florida citrus. *Applied Engineering in Agriculture*, 17(2): 115-119.
- WHITNEY, J. D.; LING, Q.; WHEATON, T. A.; MILLER, W. M.** 2001b. A citrus harvesting labor tracking and yield mapping system. *Applied Engineering in Agriculture*, 17(2): 121-125.



- WOFFORD, J. T.; LUTTRELL, R. G.; SMITH, D. B.** 1987. Relative effect of dosage, droplet size, deposit density, and droplet concentration on mortality of *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae treated with vegetable-oil and water sprays containing Permethrin. *Journal of Economic Entomology*, 80(2): 460-464.
- WOHLHAUSER, R.** 2005. Optimization of the dose of plant protection products in viticulture taking into consideration the leaf area on the day of application and the spray deposition potential of equipment. Ed.: GIL, E.; SOLANELLES, F.; PLANAS, S.; ROSELL, J. R.; VAL, L. A *VIII Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing*. Universitat Politècnica de Catalunya, Generalitat de Catalunya i Universitat de Lleida: 21-22.
- WOODWARD, T. J.** 2006. Variation in 'Hayward' Kiwifruit Quality Characteristics. Tesi doctoral no publicada. The University of Waikato.
- XIANG, H.; ZHENG, J.; ZHOU, H.** 2003. Machine Vision Technology for Indoor Simulated Tree Image Acquisition and Recognition. *2003 ASAE Annual International Meeting*. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- XU, X.; WU, P.; THORBEC, P.; HYDER, K.** 2006. Variability in initial spray deposit in apple trees in space and time. *Pest management science*, 62(10): 947-956.
- XU, Z. G. i WALKLATE, P.J.** 1996. 3-D flow structure and spray transport from a moving orchard sprayer. *3rd ECCOMAS Computational Fluid Dynamics Conference*. John WHey & Sons, Ltd.: 547-552.
- YANG, C.** 2001. A variable rate applicator for controlling rates of two liquid fertilizers. *Applied Engineering in Agriculture*, 17(3): 409-417.
- YE, X.; SAKAI, K.; ASADA, S.; SASAO, A.** 2008. Application of narrow-band TBVI in estimating fruit yield in citrus. *Biosystems Engineering*, 99(2): 179-189.
- ZAMAN, Q. U. i SALYANI, M.** 2004. Effects of foliage density and ground speed on ultrasonic measurement of citrus tree volume. *Applied Engineering in Agriculture*, 20(2): 173-178.
- ZAMAN, Q. U. i SCHUMANN, A. W.** 2005. Performance of an Ultrasonic Tree Volume Measurement System in Commercial Citrus Groves. *Precision Agriculture*, 6(5): 467-480.
- ZAMAN, Q. U.; SCHUMANN, A. W.; MILLER, W. M.** 2005. Variable rate nitrogen application in Florida citrus based on ultrasonically-sensed tree size. *Applied Engineering in Agriculture*, 21(3): 331-335.
- ZAMAN, Q. U. i SCHUMANN, A.** 2006. Nutrient Management Zones for Citrus Based on Variation in Soil Properties and Tree Performance. *Precision Agriculture*, 7(1): 45-63.
- ZAMAN, Q. U.; SCHUMANN, A. W.; HOSTLER, H. K.** 2006. Estimation of citrus fruit yield using ultrasonically-sensed tree size. *Applied Engineering in Agriculture*, 22(1): 39-44.
- ZAMAN, Q. U.; SCHUMANN, A. W.; HOSTLER, H. K.** 2007. Quantifying sources of error in ultrasonic measurements of citrus orchards. *Applied Engineering in Agriculture*, 23(4): 449-453.
- ZHANG, N.; WANG, M.; WANG, N.** 2002. Precision agriculture—a worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, 36(2-3): 113-132.
- ZHENG, J.; ZHOU, H.; XU, Y.; ZHAO, M.; ZHANG, H.; GE, Y.; XIANG, H.; CHEN, Y.** 2005. Toward-target precision pesticide application and its system design. *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 21(11): 67-72.
- ZUDE, M.; PFLANZ, M.; KAPRIELIAN, C.; AIVAZIAN, B. L.** 2008. NIRS as a tool for precision horticulture in the citrus industry. *Biosystems Engineering*, 99(3): 455-459.