



Institut de Recerca i
Tecnologia Agroalimentàries
Departament d'Horticultura
Ambiental



Universitat Autònoma de Barcelona
Facultat de Ciències
Departament de Biologia Animal,
Vegetal i Ecologia

Optimització de l'ús de l'aigua en diferents espècies cespitoses emprades en espais verds en condicions mediterrànies

Mireia Llobet Llobera

Memòria presentada per optar al grau de Doctor en Biologia
amb el vist i plau de:

Dr. Robert Savé Montserrat i Dra. Carmen Biel Loscos
Directors de tesi, IRTA

Juliol 2010

RESUM

Cada vegada es dóna més importància al verd urbà i alhora s'exigeix sostenibilitat en les aportacions d'aigua, nutrients i tasques de manteniment. Les gespes, i recentment els prats, són un component important d'aquests espais. En els períodes de sequera en el clima Mediterrani cal restringir-ne el reg a favor d'usos prioritaris. Aquesta restricció es realitza en base a optimitzar l'ús de l'aigua i a l'aplicació d'aigües no convencionals com del freàtic, pluvials, regenerades, etc. Els objectius d'aquesta tesi se centren en avaluar l'eficiència en l'ús de l'aigua de diferents gespes i la resposta al reg amb aigua regenerada. A més, provar metodologies per analitzar-ne la qualitat ornamental a diferents escales. Finalment, estudiar les possibles relacions de competència, al·lelopatia i facilitació, en combinacions gramínia/lleguminosa que trobem en prats.

Els mètodes de base ecofisiològica a nivell de fulla són precisos però llargs i tediosos, que els fa no recomanables pel seguiment de la qualitat de la gespa. L'ús d'escales de qualificació visual de gespes està molt estès, però té una base subjectiva, per això s'està incorporant l'espectroradiometria i la fotografia digital. La primera és una tècnica clàssica, però s'estan adaptant sensors portàtils, aptes per a la gestió. La segona, amb el desenvolupament de programes informàtics, es senzilla i de baix cost que la fa idònia tant per la recerca i millora de varietats com per a gestors d'espais verds; i és un punt important de la present tesi, que ha generat un sistema objectiu, fiable, reproduïble i barat per avaluar *in situ* i en temps real la qualitat de la vegetació, referent a la biomassa, nutrició i estat hídric.

Dels resultats obtinguts es conclou que a l'estiu és necessari com a mínim un 60% de l'evapotranspiració de referència, ETo. Mentre que a la tardor - hivern es podria reduir el reg al 40 % de la ETo per garantir la qualitat. El reg amb aigua regenerada de salinitat superior a 4 dS m⁻¹ disminueix la qualitat de la gespa. Sobretot la formada per espècies del tipus fotosintètic C₃ en sòl argilós però en sòls sorrencs són viables. Les pluges de tardor afavoreixen el rentat de sals de la zona radicular. Les relacions entre espècies mostren com *Lotus tenuis* es va desenvolupar millor sense la presència de *Cynodon dactylon* perquè n'ocupava l'espai subterrani del test. Els efectes de la competència subterrània eren més importants si hi havia competència aèria. Els extractes de fulles seques, germinats i la presència de llavors de *C. dactylon* en el medi de cultiu no van tenir efecte en la germinació en les concentracions provades. Determinats extractes de *C. dactylon* van estimular el desenvolupament de les plàntules. Les llavors de *C. dactylon* van disminuir el desenvolupament de la part aèria de plàntules de *L. corniculatus*.

RESUMEN

Cada vez se da más importancia al verde urbano y al mismo tiempo se exige sostenibilidad en los aportes de agua, nutrientes y tareas de mantenimiento. Los céspedes, y recientemente los prados, son un componente importante de estos espacios. En los períodos de sequía en clima mediterráneo se debe restringir el riego a favor de usos prioritarios. Esta restricción se realiza en base a optimizar su uso y a la aplicación de aguas no convencionales, como del freático, pluviales, regeneradas, etc. Los objetivos de esta tesis se centran en evaluar la eficiencia en el uso del agua de distintas especies de césped y su respuesta al riego con agua regenerada. Además, probar metodologías para analizar su calidad ornamental a distintas escalas. Finalmente, estudiar las posibles relaciones de competencia, alelopatía y facilitación en combinaciones gramínea/leguminosa que encontramos en prados.

Los métodos de base ecofisiológica a nivel de hoja son precisos pero largos y tediosos, lo que no los hace recomendables para el seguimiento de la calidad del césped. El uso de escaleras de calificación visual de céspedes está muy extendido, pero tiene una base subjetiva. Recientemente se está incorporando la espectroradiometría y la fotografía digital para los análisis de césped. La primera es una técnica clásica pero se están adaptando sensores portátiles para poderse utilizar en espacios verdes. La segunda, con el desarrollo de programas informáticos aporta sencillez y bajo coste, que posibilita su idoneidad para la investigación y mejora de variedades como para gestores de espacios verdes; y es un punto importante de la presente tesis, que ha generado un sistema objetivo, fiable, reproducible y económico para evaluar *in situ* y en tiempo real la calidad de la vegetación, referente a la biomasa, nutrición y estado hídrico.

De los resultados obtenidos se concluye que en verano es necesario como mínimo un 60% de la evapotranspiración de referencia, ETo. Mientras que en otoño – invierno se podía reducir el riego al 40 % de la ETo para garantizar la calidad. El riego con agua regenerada de salinidad superior a 4 dS m⁻¹ disminuye la calidad del césped, sobretodo la formada por especies del tipo fotosintético C₃ en suelo arcilloso y en suelo arenoso son viables. Las lluvias otoñales favorecen el lavado de sales en la zona radicular. Las relaciones entre especies muestran como *Lotus tenuis* se desarrolló mejor sin la presencia de *Cynodon dactylon*, porque la gramínea ocupaba el espacio subterráneo de la maceta. Los efectos de la competencia subterránea eran más importantes si había competencia aérea. Los extractos de hojas secas, germinados y la presencia de semillas de *C. dactylon* en el medio de cultivo no tuvieron efecto en la germinación, en las concentraciones probadas. Determinados extractos de *C. dactylon* estimularon el desarrollo de las plántulas. Las semillas de *C. dactylon* disminuyeron el desarrollo de la parte aérea de plántulas de *L. corniculatus*.

ABSTRACT

Urban green has been more important, and at the same time, sustainability is required in reference to water, nutrients and maintenance inputs. Turfgrass, and recently prairines are an important component in urban parks. In Mediterranean climate drought periods, irrigation should be restricted to priority uses. This restriction is made on its optimizing use basis and unconventional water application as the groundwater, stormwater, reclaimed, and so on. The objectives of this thesis focus on evaluating the water use efficiency of different grass species and their response to reclaimed water irrigation. Moreover, test methodologies for analysing their ornamental qualities at different scales. Finally, to study the possible relations of competition, allelopathy and facilitation in combination grass - legume found in prairines.

Ecofisilogic methods at leaf level are accurate, but tedious and time consuming, which are not recommended for monitoring the lawn quality. The visual quantification methods are common in turfgrass, but these techniques are subject to bias and can be inaccurate. Recently, it has incorporated spectroradiometric and digital photography for turf analysis. The first is a classical technique but sensors are being adapted to be portable in green spaces. The second, relates to software development, brings simplicity and low cost, allowing their suitability for research and improved varieties to green space managers, and is an important point of this thesis, which has created an objective, repeatable accuracy, precision and cost - effective for evaluating *in situ* and in real time the vegetation quality, regarding biomass, nutrition and water status.

From the obtained results it is concluded that in summer, at least 60% of the reference evapotranspiration (ET_o) is necessary for quality assurance. While in autumn - winter irrigation could be reduced to 40% of ET_o. Irrigation with reclaimed water above 4 dS m⁻¹ salinity reduces turf quality, particularly the C₃ photosynthetic turfgrass in clayry soil, but in sandy soil they are viable. Autumn rains washed soil salts in the root zone. Relationships between species showed such as *Lotus tenuis* evolved better without *Cynodon dactylon* presence, because the grass was in all belowground pot area. Belowground competition effects were more important in above-ground competition. Leaves and germinated seeds extracts at the concentrations tested, and *C. dactylon* seeds presence in the culture medium had no effect on *Lotus* spp. germination. Certain *C. dactylon* extracts stimulated *Lotus* spp. seedlings. *C. dactylon* seeds decreased the development of the shoot of *L. corniculatus* seedlings.

AGRAÏMENTS

Aprofito aquest espai per donar les gràcies a les persones que han fet possible que arribés fins aquí. Agrair al Dr. Robert Savé i la Dra. Carmen Biel, del Programa d'Horticultura Ambiental – Ecofisiologia de l'IRTA, directors d'aquesta tesi, per oferir-me la possibilitat de realitzar-la i la supervisió del treball. Al Dr. Osvaldo R. Vignolio del departament de la Unidad Integrada Balcarce (EEA, INTA - *Facultad de Ciencias Agrarias* UNMdP, Buenos Aires, Argentina) pels assajos on he participat i tot el què he après. Ha estat un suport des que ens vam conèixer, tot i la distància. Al Dr. Jaume Casadesús del departament de Tecnologia del Reg de la UdL - IRTA, els seus invents i programes han permès una part important dels resultats d'aquesta tesi, pel suport rebut sempre que ho he necessitat i pels "acudits desprevinguts". A Octavi Creus, per ensenyar-nos el camp de golf que manté, les explicacions *in situ* i en jornades, i l'optimisme que desprèn.

A l'Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA), institució on s'ha desenvolupat aquest treball i als directors del centre de Cabrils: Dr. Joan Juli Bonet i Dr. Pere Arús. Al departament d'Educació i Universitats de la Generalitat de Catalunya i al Fons Social Europeu pel finançament de l'ajut FI que m'ha permès dur a terme aquesta tesi.

Agraeixo a les següents persones, institucions i empreses que han intervingut o finançat els diferents projectes i contractes gràcies a les quals s'ha pogut realitzar la part experimental dels capítols 3, 4 i 5 d'aquesta tesi. A la Fundació Agrícola Catalana per finançar la primera instal·lació de reg. A CESPA i el *Ministerio de Educación y Ciencia* pel projecte (Petri PIR 95-0944-OP) titulat "Optimització de l'ús d'aigües no convencionals pel reg d'àrees verdes metropolitanes de climatologia contrastada". Al Dr. Rafael Mujeriego i Eduardo Álvarez dels departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental ETS Camins, Canals i Ports de la Universitat Politècnica de Catalunya per proporcionar l'aigua regenerada de la planta pilot de Mataró i l'assessorament sobre l'ús. A la Dra. Núria Cañameras i Dr. Jordi Comas de l'Escola Superior d'Agricultura de la Universitat Politècnica de Catalunya i Diego Mérida i Juan Miguel Oddo per l'anàlisi de l'aigua i sòls en els treballs final de carrera. A Josep Cirera i Laia Fitó de Semillas Fitó per proporcionar-nos bona part de les llavors en els diferents assajos.

Al projecte PETRI contracte amb CESPA "Projecte d'investigació de reg amb aigües residuals regenerades en camps esportius" on van participar Port Aventura S.A, GP Resort S.A., CESPA S.A. i Fundació Agbar. Al Dr. Miquel Salgot i Dra. Josefina Tapias del departament de Productes Naturals, Biologia Vegetal i Edafologia de la Facultat de Farmàcia de la Universitat de Barcelona per la direcció del projecte i anàlisis químics. Al Dr. Joan Girona del departament de Tecnologia del Reg Universitat de Lleida – IRTA pel disseny del reg i assessorament en la posta a punt de l'assaig. Al Dr. Francesc Ramírez i Dr. Gerard Arbat de l'Escola Politècnica Superior, Grup de Recerca CT56 Enginyeria Agrària de la Universitat de Girona pels anàlisis i assessorament en el reg. A Octavi Creus, *greenkeeper* del Camp de Golf de Llanernes per l'assessorament en el manteniment de les gespes. A Anna Vilarnau, responsable de paisatgisme i Control Ambiental de Port Aventura per oferir les instal·lacions i responsabilitzar-se del manteniment de les parcel·les. Finalment al personal de CESPA Mariona Pascual, Rafael Sans, Susana Martínez, Marissa Estorach i Tomàs Garcia.

Al personal de l'IRTA de Cabrils, especialment del departament d'Horticultura Ambiental per fer que l'estada fos molt agradable i ajudar-me en qualsevol consulta: Feli de Herralde, Xavi Aranda, Mimar Alsina, Jeffrey Clary, Nacima Meghelli, Toni Pardo, Roser Cristóbal, Carolina Miguel, Yuksel Kaya, Oriol Marfà, Rafi Càceres, Juan Ignacio Montero, Pere Muñoz, Asun Anton, Sònia Guri, Ashwin Vijay, Anna Puerta, Eulàlia Serra i Bea Canovas. Al personal de suport, que ha participat en un moment o altre en els mostres i la preparació de les parcel·les: José Montero, M^a Carmen Bellido, Marc Pujol, Cristian

Morales, Esther Pons i Neus Rovira. Als estudiants de pràctiques dels estius: Gamito, Shirin, Baris, Alícia, Núria i Maria; al personal de camp, en la preparació de les parcel·les i el manteniment de les gespes. Agraïixo a en Quim Adillón per la part en els tractaments fitosanitaris i alguns consells més...

Al personal del departament de la *Unidad Integrada* Balcarce (EEA, INTA - *Facultad de Ciencias Agrarias* UNMdP, Buenos Aires, Argentina): Osvaldo N. Fernández, Pedro Laterra, Néstor Maceira, Lorena Herrera, Natalia Murillo i Sebastian Cambareri. També a M^a Rosa Desirello, Caro, Flor, Liti, Ainara, Nico, Mariana i Marisa, que entre tots van fer que l'estada a l'Argentina fos molt càlida tot i les baixes temperatures.

Als col·lectius D-Recerca i Precarios per l'esforç de reivindicació d'una carrera investigadora digna, especialment en la fase inicial.

A Cristina Bas, Sònia Malo, Meri García, Miguel Louis i Rafa Zapata, vaig aprendre molt de vosaltres a les tardes a la caseta de doctorands. I als següents ocupants, per tot el què hem compartit: Marta Busquets, Sara Hortal, Sole Martos, Amaia Nogales, Laura Cortada, Katherine Franco, Rafa Moreno, Amparo Viera. També als que s'afegien als esmorzars, dinars al jardinet, farres i excursions: Anna Barba, Victor Muñoz, Job Roig, M^aJosé Pons, Oriol González, Rosa Quero, Jordi Sabaté, Paqui Oliver, Olga Jurado, Montse Prat, Gisela Peña i Kadri Abbassi.

L'estada a TEAGASC Carlow, Irlanda que entre tots em vau animar a la part final de l'escriptura. Paul per ser tot un artista, els intercanvis de coneixements i tenir *mà esquerra*. També a Laura, Maria Laura, Gina, Chiara, Nina, Mariateresa, Gigi, Mónica, Chloe, Ariadne, Kayo, Rosanna, Catia i Sandro, que van fer molt agradables els dies tot i les *showers*. Als companys de viatge: Carme, Manel, Mireia, Josep, Alba, Anna, Alba, Amaia, Angie, Dani, Vir i Andrea, pel "bon rotllo" i ganes de fer que les coses fossin molt senzilles.

A Glòria, Néstor i família, Raül, Àngel, Meri "de la Seu" i família, Rita, Rosa i Marc, Amparo, Sara i Artur, per ser tant alegres, donar bons consells i passar bones estones.

Finalment, a la família més propera Meri, Gerard, Rosamari, Isabel, Pere, Joan i Anna M^a.

ÍNDEX

1 - Introducció general

1.1 Tendències en el paisatge i la jardineria de gespes en climes semi-àrids	13
1.2 Consum i gestió de l'aigua a Catalunya	13
1.3 Optimització de l'aigua en el reg	14
1.4 Característiques d'un espai verd a regar	15
1.5 Estudi del continu hídric sòl - planta - atmosfera.....	15
1.6 Selecció d'espècies cespitoses adaptades a les condicions edafo - climàtiques	16
1.7 Resistència a la sequera i a la salinitat per estalviar aigua i usar-ne de baixa qualitat.	17
1.8 Avaluació de la qualitat d'una superfície cespitosa.....	18

2 - Material i mètodes general

2.1 Descripció de les espècies	21
2.2 Càlcul del reg a partir de l'Evapotranspiració	25
2.3 Mesura del potencial matricial del sòl - sensors de matriu granulosa.....	26
2.4 Índexs de reflectància de la coberta vegetal i índexs derivats de fotografies	27

3 - Efecte de regs deficitaris en la qualitat ornamental de gespes

3.1 INTRODUCCIÓ	33
3.2 OBJECTIUS.....	38
3.3 MATERIAL I MÈTODES	
3.3.1 Disseny experimental	38
3.3.2 Sembra i pràctiques culturals	39
3.3.3 Dosi de reg	39
3.3.4 Mesures.....	41
3.3.5 Anàlisi estadística.....	42
3.4 RESULTATS	
3.4.1 pH, CE i tensió de l'aigua al sòl	42
3.4.2 Qualitat a la primera sembra	45
3.4.3 Pes específic foliar, contingut relatiu de clorofil·les totals i l'eficiència fotoquímica màxima del fotosistema II.....	48
3.4.4 Contingut relatiu d'aigua	48
3.4.5 Biomassa	50
3.4.6 Producció a la primera sembra.....	53
3.4.7 Cobertura de gespa	54
3.4.8 Índexs espectralradiomètrics.....	60
3.4.9 Índexs derivats de fotografies digitals.....	72
3.5 DISCUSSIÓ	
3.5.1 Qualitat de les gespes.....	80
3.5.2 Biomassa	82
3.5.3 SLW, SPAD, Fv/Fm i RWC	83
3.5.4 Índexs espectralradiomètrics i índexs derivats de fotografies.....	84
3.6 CONCLUSIONS	86

4 - Efectes d'un gradient salí amb aigua regenerada en gespes i sòls de textura diferent

4.1 INTRODUCCIÓ	
4.1.1 Aigua de reg.....	89
4.1.2 El sòl	90
4.1.3 Estrès salí en les plantes.....	90
4.2 OBJECTIUS.....	93
4.3 MATERIAL I MÈTODES	
4.3.1 Disseny experimental	93
4.3.2 Característiques del sòl.....	93
4.3.3 Material vegetal	94
4.3.4 Qualitat de l'aigua, tractament de reg i pràctiques culturals.....	94
4.3.5 Mostres i paràmetres analitzats.....	97
4.3.6 Anàlisi estadística.....	98
4.4 RESULTATS	
4.4.1 pH i CE del sòl	98
4.4.2 Pes específic foliar.....	102

4.4.3	Contingut relatiu de clorofil·les totals, SPAD	103
4.4.4	Potencial osmòtic foliar	104
4.4.5	Concentració d'elements a la part aèria de la gespa	106
4.4.6	Índexs derivats de fotografies.....	108
4.5	DISCUSSIÓ	
4.5.1	pH i CE del sòl	113
4.5.2	Mesures foliars de la gespa	114
4.5.3	Contingut d'elements a la part aèria de la gespa	115
4.5.4	Coberta de gespa.....	116
4.6	CONCLUSIONS.....	116
5	Efectes de l'aigua regenerada i reg per goteig subterrani en gespes	
5.1	INTRODUCCIÓ	
5.1.1	Reg per goteig subterrani amb aigua regenerada	119
5.1.2	Efectes de l'aigua en la gespa i la gestió	120
5.2	OBJECTIUS	121
5.3	MATERIAL I MÈTODES	
5.3.1	Disseny experimental	121
5.3.2	Aigua regenerada, sistema de reg, dosi i variables meteorològiques	121
5.3.3	Pràctiques culturals	123
5.3.4	Mesures.....	124
5.3.5	Anàlisi estadística.....	124
5.4	RESULTATS	
5.4.1	Característiques de l'aigua de reg.....	125
5.4.2	Potencial matricial del sòl.....	125
5.4.3	Taxa d'infiltració, pH i CE del sòl	126
5.4.4	N, P, K i matèria orgànica al sòl	128
5.4.5	Evolució de la germinació.....	128
5.4.6	Contingut relatiu d'aigua de fulles verdes.....	129
5.4.7	Potencial osmòtic de la part aèria a saturació i <i>in situ</i>	131
5.4.8	Cobertura de gespa.....	132
5.4.9	Índexs de reflectància de la coberta vegetal	136
5.4.10	Fotografies digitals	138
5.5	DISCUSSIÓ	
5.5.1	Reg per goters enterrats	142
5.5.2	Aigua de reg i els seus efectes en el sòl	142
5.5.3	La vegetació.....	144
5.6	CONCLUSIONS	146
6	Competència aèria i subterrània entre <i>L. tenuis</i> i <i>C. dactylon</i> a l'establiment en resposta als nutrients	
6.1	INTRODUCCIÓ	147
6.2	OBJECTIUS	149
6.3	MATERIAL I MÈTODES	
6.3.1	Disseny experimental	149
6.3.2	Material vegetal	149
6.3.3	Tractaments de competència i fertilització, i condicions ambientals	149
6.3.4	Mesures.....	150
6.3.5	Anàlisi estadística.....	150
6.4	RESULTATS	
6.4.1	Biomassa	151
6.4.2	Creixement de tiges	154
6.4.3	Resistència hidràulica de les arrels	158
6.5	DISCUSSIÓ	158
6.6	CONCLUSIONS	160
7	Efectes al·lelopàtics d'extractes de <i>C. dactylon</i> sobre la germinació i el creixement de plàntules de <i>L. tenuis</i> i <i>L. corniculatus</i>	
7.1	INTRODUCCIÓ	161

7.2 OBJECTIUS.....	162
7.3 MATERIAL I MÈTODES	
7.3.1 Plantejament experimental.....	162
7.3.2 Elaboració dels extractes.....	163
7.3.3 Sembra de llavors de <i>Lotus</i>	163
7.3.4 Percentatge de germinació i mesures a les plàntules.....	164
7.3.5 Anàlisi estadística.....	164
7.4 RESULTATS	
7.4.1 Percentatge de germinació de <i>L. tenuis</i> i <i>L. corniculatus</i>	165
7.4.2 Percentatge de plàntules respecte a les llavors germinades	166
7.4.3 Creixement de les plàntules	167
7.5 DISCUSSIÓ	
7.5.1 Propietats dels extractes	169
7.5.2 Potencial al·lelopàtic de <i>C. dactylon</i> sobre les lleguminoses <i>L. corniculatus</i> i <i>L. tenuis</i>	169
7.5.3 Quina fracció de <i>C. dactylon</i> presenta els efectes al·lelopàtics sobre <i>L. corniculatus</i> i <i>L. tenuis</i> ?	170
7.5.4 Recomanacions per afavorir a lotus en un prat	171
7.6 CONCLUSIONS	172
8 - Conclusions generals.....	173
9 - Bibliografia.....	177

Introducció general

1.1 Tendències en el paisatge i la jardineria de gespes en climes semi-àrids

El paisatge és l'àrea, tal com la percep la població, el caràcter del qual resulta de la interacció de factors naturals i/o humans (*European Landscape Convention* 2000). Un jardí és un espai del paisatge planificat, normalment a l'exterior, on es cultiven vegetals pel plaer dels sentits, espais d'oci. Els paisatges gestionats i els jardins són una mescla de plantes ornamentals llenyoses, herbàcies, gespes, cobertes orgàniques, minerals i altres materials naturals i artificials.

Una gespa és una coberta entapissant formada per un petit nombre d'espècies, gramínies, lleguminoses o barreges d'aquestes que, quan se sega regularment, forma un creixement dens de fulles i arrels (Bennett i Hazinski 1993). Se li poden atribuir funcions de cobrir del sòl i evitar l'erosió, ser la superfície de joc en camps esportius o imitar un prat, agrupant les zones d'arbres i parterres per aconseguir un conjunt final harmònic i agradable a la vista.

A finals del s. XIX va aparèixer el terme ciutat verda o ciutat jardí, amb el concepte de ciutat convertida en un *paradís verd*. La davallada del disseny tradicional de jardins, paisatges i espais verds urbans respon a la generalització de nocions de sostenibilitat, biodiversitat i optimització del manteniment (Hitchmough 2004; Iles 2003). La Organització Mundial de la Salut fixa el mínim d'espai verd dins de la ciutat de 9 m² habitant⁻¹. A Espanya es disposa de més de 15 m² habitant⁻¹, dels quals 7 m² són zones enjardinades i 8 m², espais verds naturalitzats (Ros 2007). A Barcelona, 7 m² habitant⁻¹ d'àrees verdes i 18 m² habitant⁻¹ comptant la serra de Collserola (Àrea de Medi Ambient de l'Ajuntament de Barcelona 2004). El marc legal vigent a Espanya respecte a la planificació d'espais lliures i zones verdes pertany a la Llei del Règim del Sòl i Ordenació Urbana (BOE 1998).

1.2 Consum i gestió de l'aigua a Catalunya

Malgrat la imatge tradicional de Catalunya com a regió molt urbanitzada i industrialitzada, és l'agricultura el sector que principalment consumeix aigua (Taula 1.1; Saurí 2005). Tot i que es troba en reconversió socioeconòmica i mediambiental (Sumpsi *et al.* 1998).

Taula 1.1 Distribució de la demanda d'aigua a Catalunya. Font: Saurí 2005, a partir de Agència Catalana de l'Aigua 2002a i 2002b

Tipus de demanda		Volum mitjà anual, Hm ³	Percentatge del total
Urbana	Domèstica	634.0	18.5
	Industrial	283.4	9.0
	Total	856.4	27.5
Agrícola	Reg	2202.0	70.5
	Ramaderia	64.6	2.0
	Total	2266.6	72.5
Total		3123.0	100.0

També cal considerar el model de creixement, d'ocupació de l'espai i en conseqüència d'ús dels recursos. El desenvolupament de grans àrees metropolitanes amb la ciutat difusa, la segona residència i el turisme amb el creixement de població fluctuant associada (Catalán *et al.* 2008; Domene i Saurí 2006; Shochat *et al.* 2006; Zorpas *et al.* 2008). En general, incrementa considerablement el consum d'aigua, tant en despesa directa per la població, com indirecta per usos metabòlics (Masjuan *et al.* 2008). Dels no metabòlics, destaquen els relacionats amb el lleure en les variants: esport, higiene en un sentit ampli, anticontaminació, antiestrès, etc. També, la vida en la ciutat compensada amb el contacte amb el verd, el relax, l'isolament, entre altres, que promouen l'increment de la superfície verda enjardinada i/o

revegetada de l'entorn, amb la cura del paisatge, en què s'hi inclou l'agricultura. Per altra banda, els recursos hídrics se sotmeten a pressions que poden resultar molt greus fins i tot a curt termini, per la població i la resta d'éssers vius que en depenen. Tenint en compte les sequeres típiques de la Mediterrània Occidental, amb patrons no massa previsibles, però prou importants i repetits, junt amb les perspectives d'increment del consum (Saurí 2005).

Gestionar l'aigua requereix planificació per crear infraestructures hidràuliques i contemplar l'aprofitament d'aigües subterrànies i/o regenerades (Llamas 2003; Mujeriego 1990; Salgot 2003). Actualment les despeses hídriques no són tant importants com es preveia fa uns anys per un millor aprofitament de la precipitació, millores tecnològiques en tota la cadena de l'ús de l'aigua, l'augment del cost i de l'energia per utilitzar-la, i a la progressiva conscienciació tant de les administracions com dels consumidors (Martínez - Alier i Roca 2000). La Directiva Marc de l'Aigua va implicar la redacció de varies lleis a Catalunya, que s'aprovés el Reglament de Planificació Hidrològica (2000/60/CE; DOCE 2000; Munné i Prat 2006) i el Pla Director de Camps de Golf de Catalunya, a finals del 2001. A més, s'han succeït decrets de sequera en funció de les necessitats al 2002, 2005, 2007 i 2008 (Agència Catalana de l'Aigua 2009). Dins les mesures en usos recreatius, els camps de golf que regaven amb aigües no procedents de depuradora quedaven subjectes a presentar un programa de millora d'estalvi i d'eficiència de reg (art. 19.2, Decret 84/2007). En general, en els espais verds s'han establert condicions i qualitats mínimes d'obligat compliment pel subministre de materials i en l'execució dels treballs de manteniment seguint criteris de qualitat, rendibles i sostenibles (Bosch *et al.* 2001; Fàbregas 1993).

1.3 Optimització de l'aigua en el reg

En la nostra climatologia, el cost de manteniment d'una gespa és tres vegades superior que en els països anglosaxons (Barton *et al.* 2006). Principalment per tres factors: llargs períodes sense pluja sobretot a l'estiu, que fan necessari regs importants; altes temperatures, que permeten el creixement de la gespa durant tot l'any, i per tant, implica segues sovintejades i de més adobs (Beard 1983; Köppen 1923; Kruger *et al.* 1983). Finalment, la humitat unida a les altes temperatures de la primavera i tardor afavoreix plagues més severes que cal tractar. Condicions que es poden acusar amb l'escalfament global (Meehl *et al.* 2007; Trenberth *et al.* 2007).

En agricultura, jardineria i restauració del paisatge, es requereix eficiència en l'ús de d'aigua per estalviar-la i conèixer els mecanismes de resposta de les plantes als factors ambientals (Savé 2009). En agricultura, l'eficiència en l'ús de l'aigua és la productivitat respecte a l'aigua emprada, expressat en pes sec per unitat de superfície i temps (Burt *et al.* 1997). En jardineria i paisatgisme, on la producció no és el més important, s'especifica com el valor ornamental o estètic respecte de l'aigua consumida (Costello *et al.* 2000).

L'eficiència d'aplicació mesura la quantitat de l'aigua a la rizosfera després del reg. Un excés es produeix per assegurar la hidratació quan no hi ha experiència en el reg o l'aigua és econòmica i fàcil d'aconseguir (Hilaire *et al.* 2008; Kjelgren *et al.* 2000). En els parcs públics es produeix reg excessiu, òptim o deficitari depenent dels ajuntaments, gestors, sistemes, àrees, etc. Sovint sense programador de reg, la despesa és més alta. O al contrari, l'esforç que representa el reg manual, evita que es malgasti (Kjelgren *et al.* 2000). En ocasions, els programadors de reg es configuren per a períodes de màxima demanda evaporativa sense modificar-los al llarg de l'any ni tenir en compte l'estat fenològic de les plantes. Sempre cal l'experiència del gestor, que rega d'acord amb les necessitats de la vegetació i la disponibilitat de reserves (Ervin i Koski 1998; Kjelgren *et al.* 2000).

La xerojardineria i l'aplicació del reg mínim condueixen a seleccionar espècies amb poca necessitat de reg; agrupar espècies pels requeriments hídrics; un adequat disseny de reg i planificar les pràctiques culturals per mantenir la qualitat paisatgística del jardí (Araújo-Alves *et al.* 1999; Nelson 1987; Sachs

1991; Sachs i Shaw 1992, 1993). En la nostra climatologia, la qualitat implica acceptar uns condicionants que passen per comprendre'n l'aspecte ornamental a l'estiu (Filippi 2008; Parera i Casanovas 2008) o a l'hivern en les gespes termòfiles, C₄. Un exemple són els camps de golf "rústics". L'alçada de sega i la fertilització nitrogenada que augmenten l'evapotranspiració (Brian *et al.* 1981; Barton *et al.* 2009; Krogman 1967). També reduir la qualitat de la gespa un temps, a part de l'estalvi directe d'aigua, influiria en l'augment de la resistència a la sequera de les espècies, reduint el consum anual d'aigua (Ackerson 1980; Bennett i Sullivan 1981; Brian *et al.* 1981; Eamus 1987). Utilitzar sistemes de reg eficients (Aronson *et al.* 1987); aigües no convencionals i recrear en jardineria ambients diferents utilitzant la diversitat morfo-fisiològica, des d'herbàcies fins a arbres; i ecològica, des de plantes aquàtiques fins a crasses, intentant reduir costos i mà d'obra (Hitchmough 2004). Gràcies a la homogeneïtat, la majoria del manteniment de les gespes és mecanitzable: l'aplicació de fitosanitaris i adob, el reg i la sega (Abad 2004).

L'ecofisiologia estudia com el medi biòtic i abiòtic afecta a les funcions fisiològiques dels organismes. Considera la fisiologia dels organismes en el medi, el qual està subjecte a canvis i alteracions com a resultat de fenòmens naturals o producte de l'activitat humana. Implica comprendre els processos moleculars que es produeixen a nivell cel·lular i el funcionament de l'organisme intacte en un context ambiental (Terradas 2001). Inclou els conceptes d'homeòstasis, adaptació i aclimatació. En l'ecofisiologia vegetal aplicada als ecosistemes mediterranis són importants les relacions hídriques, ja que l'aigua n'és el factor més limitant (Borlaug i Dowsell 2005).

1.4 Característiques d'un espai verd a regar

En l'ús eficient de l'aigua als espais verds, com parcs metropolitans i talussos de carretera, són notables els requeriments dels vegetals a nivell edàfic, els recursos hídrics i les condicions ambientals (Beard 1973; Franco *et al.* 2006; Taula 1.2). Als urbans, les condicions microambientals estan influenciades pels edificis o murs propers, que causen ombres compactes i modifiquen els corrents d'aire a aquesta escala (Danielson *et al.* 1978; Morari i Giardini 2001). I l'efecte "illa de calor" causat per superfícies dures pròximes, de ciment, asfalt, etc. que a més impedeixen la infiltració de l'aigua (Botkin i Beveridge 1997; Critchfield 1983).

Taula 1.2 Influències al reg i a l'eficiència en l'ús de l'aigua. Adaptat de Carrow 2006.

Variabilitat local de la part aèria	Variabilitat del sòl	Variabilitat dels sistemes de reg
Tipus de vegetació	Textura	Disseny
Radiació solar, ombres, latitud	Matèria orgànica i fertilitat	Sectorització del reg en funció de les hidrozones
Vent: velocitat, intensitat i direcció	Profunditat	Programació de regs
Temperatura	Pendent	Manteniment
Humitat Relativa	Capacitat de retenció d'aigua	Qualitat de l'aigua
Dèficit de Pressió de Vapor (VPD)	Infiltració	
	Salinitat: pH, CE,...	

1.5 Estudi del continu hídric sòl – planta – atmosfera

Per mitigar els efectes negatius de la sequera a nivell de reg, es recomana principalment reemplaçar els mètodes tradicionals pels "orientats a la demanda", amb sistemes de monitoratge a nivell de planta i sempre depenent de les condicions locals (Tuberosa *et al.* 2007). Considerant l'heterogeneïtat climàtica, la vegetació i l'ús que es vol donar a un espai verd, es disposa de mètodes per conèixer les relacions hídriques i avaluar la necessitat de reg, el Continu Hídric Sòl – Planta – Atmosfera (Lange *et al.* 1982; Larcher 1980). Per exemple ecofisiològics, micrometeorològics, morfològics, color i estat sanitari. Cal valorar les limitacions dels mètodes i el grau d'informació: destructius, més o menys laboriosos, la viabilitat econòmica del maquinari, els coneixements tècnics per utilitzar-los o interpretar els resultats, o condicionants com el vandalisme en un espai públic (Biel *et al.* 1999).

Pel sòl disposem de mètodes i sensors: gravimetria, tensiòmetres (Peyremorte i Isbérie 1988), TDR *Time Domain Reflectometry* (Topp *et al.* 1980), dispersió de neutrons (Gardner 1986), blocs de guix, etc. A nivell de planta, es pot tenir en compte, la mida de la capçada o de les fulles, l'enrotllament foliar, la pilositat, la senescència foliar, el color, l'anàlisi dels potencials hídrics, el contingut relatiu d'aigua, el bescanvi gasós, la conductivitat hidràulica, la fluorescència de la clorofil·la, la reflectància de la coberta vegetal, etc. I finalment a l'atmosfera, podem utilitzar el balanç de calor, fórmules empíriques, l'anàlisi de l'evapotranspiració, etc.

Els mètodes micrometeorològics permeten conèixer les necessitats hídriques de la vegetació a partir de les condicions a la immediatesa de les plantes, en espai i temps. El contingut d'aigua al sòl i l'evapotranspiració s'utilitzen per inferir l'ús de l'aigua de les plantes i planificar els regs agrícoles, municipals i residencials (Allen *et al.* 1998; Topp i Ferré 2002).

Mesures que estalvien aigua, diners, i els perjudicis de l'excés de reg a la vegetació (Blonquist i Jones 2006). En els capítols 3, 4 i 5 hem utilitzat l'evapotranspiració, els sensors de matriu granulosa, el contingut relatiu d'aigua foliar, anàlisis de la reflectància i de fotografies digitals.

1.6 Selecció de cespitoses adaptades a les condicions edafo - climàtiques

Uns 16 gèneres, de les 10.000 espècies de gramínies, s'usen per formar gespes (Watson i Dallwitz 1994). Les Poàcies són "les plantes més dominants ecològicament i les més importants econòmicament" (Heywood 1978). Són cosmopolites i ocupen estepes i prats. A més, espècies o varietats de gespa es poden conrear des de zones subàrtiques fins al tròpic, en regions humides de l'equador i en zones ben àrides (Watson i Dallwitz 1994). Les gespes es classifiquen en el grup "d'estació freda" i el "d'estació càlida" (Beard 1973). Tenen diferències anatòmiques i fisiològiques, sobretot perquè les primeres utilitzen la via de fixació del carboni tipus C_3 i les segones la C_4 , és el Cicle Hatch - Slack, auxiliar i previ al cicle de Calvin (Downtown i Treguna 1968; Johnson i Brown 1973; Krans *et al.* 1979).

La temperatura i la disponibilitat hídrica són dels factors principals que influeixen a la supervivència, la productivitat i la distribució de les plantes (Hatch 1992). Els estressos per altes temperatures i sequera coincideixen sovint i és molt perjudicial (Jiang i Huang 2000). Amb el canvi climàtic s'espera que la temperatura s'incrementi a moltes àrees del món, augmentant l'estrès per sequera (Sheffield i Wood 2008). Les C_4 s'adapten millor que les C_3 a climes àrids gràcies a l'ús més eficient de l'aigua (Long 1999; Sage *et al.* 1999). Els enzims primaris tenen major afinitat pel CO_2 , que els permet fotosintetitzar més ràpid, tot i una concentració de substrat estacionaria baixa al mesòfil. Davant d'una mateixa velocitat fotosintètica, poden tenir els estomes menys oberts, que les C_3 , i reduir la transpiració. També les temperatures òptimes de creixement són més altes perquè no fotorespiren (Foyer *et al.* 2009). Pel contrari, el mecanisme de concentració de CO_2 de les C_4 implica un cost energètic superior a la fotorespiració en condicions d'elevada concentració de CO_2 i temperatures baixes.

Les gramínies mesotèrmiques, C_3 pertanyen a la subfamília Pooidae com els gèneres estudiats: *Lolium*, *Festuca*, *Poa*, *Agrostis* i *Puccinellia* (Beard 1973). Es troben a la regió temperada de l'hemisferi nord i sud (Watson i Dallwitz 1994). Tenen més necessitats hídriques i pateixen estrès per temperatures estivals de climes temperats o càlids però són més resistents a les baixes (Beard 1973; Brian *et al.* 1981; Kneebone i Pepper 1982; Marsh *et al.* 1980). En canvi, les megatèrmiques, C_4 són més tolerants a la sequera i sensibles a les temperatures baixes, i tenen dormició hivernal (Beard 1973; Ghannoum 2009). S'adapten millor a medis salins, el Na^+ és un micronutrient essencial per elles (Brownell i Crossland 1972). Dins les C_4 , hi ha tres subtipus de mecanismes de descarboxil·lació: Nicotinamida Adenina Dinucleòtid Fosfat - enzim màlic, NADP-me; NAD-me; i fosfoeno/piruvat carboxiquinasa, PEP_{CK} (Gutiérrez *et al.* 1974; Hatch *et al.* 1975). A Austràlia i als EUA s'ha vist que el primer es troba en àrees menys humides, que els altres (Hattersley 1992; Taub 2000). Hem estudiat espècies de dues

subfamílies: la Chloridoideae es troba majoritàriament als climes tropicals i subtropicals secs. Presenta glàndules de sal, que els confereix tolerància a l'estrès salí (Marcum 2001). Per exemple els gèneres *Cynodon* (NAD-me) i *Zoysia* (PEP_{CK}). La subfamília Panicoideae es troba principalment als Tròpics, estenent-se cap a les zones temperades (Watson i Dallwitz 1994). En són exemples *Paspalum* i *Pennisetum* (NADP-me) (Dengler *et al.* 1994).

La dormició és la suspensió temporal del creixement visible de les estructures vegetals amb meristems per assegurar la supervivència i la viabilitat (Lang *et al.* 1987). És una resposta adaptativa. Retardant o suspent la majoria de processos metabòlics abans de l'estació desfavorable, s'evita el rebrot en episodis menys freds al mig de l'hivern a latituds elevades o en pluges ocasionals a l'estiu (Anderson *et al.* 2005; Hoen 1968; Vegis 1964 citat per Volaire *et al.* 2009; Figura 1.1).

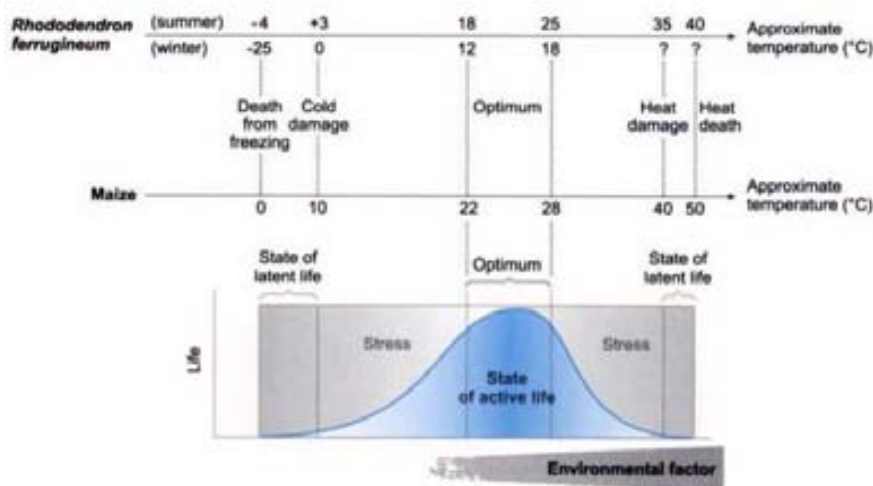


Figura 1.1 Processos vitals d'un organisme descrit com una funció d'un factor ambiental, abiòtic. La taxa de creixement (RGR) es pot utilitzar com a mesura d'aquests processos. Amb l'exemple de la temperatura, es compara una *Ericàcia* arbustiva adaptada a climes freds i alta muntanya C₃ *R. ferrugineum* respecte al *Zea mays* una gramínia C₄ (Schulze *et al.* 2005)

A qualsevol època de l'any, les gramínies perennes de regions temperades responen semblant al dèficit hídric sever sense implicar dormició. Disminueixen gradualment l'elongació foliar, aturen el creixement i una progressiva senescència de fulles madures fins a quedar els meristems. Els quals sobreviuen més o menys temps depenent de la tolerància a la deshidratació (Volaire *et al.* 1998; Volaire i Lelievre 2001).

Els espais verds mediterranis s'han basat en gespes C₃ sobretot *Poa pratensis* L., *Lolium perenne* L. i *Festuca arundinacea* Scrb. Les llavors disponibles contribueixen majoritàriament a la seva popularitat (Martiniello 2005; Veronesi *et al.* 1997; Volterrani *et al.* 1997; Russi *et al.* 2001). Empreses públiques i privades del nord d'Europa, Canadà i EUA han produït un nombre important de cultivars, però cal conèixer els que s'adapten millor al nostre clima (Martiniello i D'Andrea 2006).

1.7 Resistència a la sequera i a la salinitat, per estalviar aigua i usar-ne de baixa qualitat

La sequera, la inundació, les altes i les baixes temperatures, els contaminants, la salinitat, etc. són factors d'estrès que provoquen canvis fisiològics i poden reduir el vigor, inhibir el creixement, causar lesions o la mort. Tenen interès les espècies resistents a la sequera per permetre un estalvi d'aigua i la salinitat pot ser un problema en el reg amb aigües de mala qualitat, en parlem en els capítols següents.

La resistència a un estrès causada per un factor ecològic específic és la reacció de les plantes que els permet sobreviure i reproduir-se tot i l'estrès. Varis autors n'han identificat tres tipus principals: evasió, evitació i tolerància. Referent a la sequera mencionem Levitt (1980), Ludlow (1989), i May i Milthorpe (1962) entre altres. L'evasió es considera una resistència en sentit ampli, són mecanismes pels quals la planta es protegeix de les influències de l'estrès "escapant-se o fugint". Creix només a zones o a estacions de l'any favorables i completa el cicle vital abans que comenci l'estrès. L'evitació consisteix en mecanismes de la planta per retardar l'arribada a la situació d'estrès. Finalment, la tolerància es basa en

les adaptacions que li permeten resistir-ho. Quan l'estrès no és molt sever, sovint utilitza l'evitació i segueix creixent activament. Però quan s'intensifica actua la tolerància, amb mecanismes diferents segons les espècies. La resistència depèn del període fenològic, l'edat i l'historial previ. Episodis d'estrès anteriors afavoreixen un cert enduriment que es pot potenciar provocant una adaptació gradual, per exemple amb una dosi de reg baixa tot l'any (Figura 1.2; Araújo-Alves *et al.* 1999; Sachs i Shaw 1993).

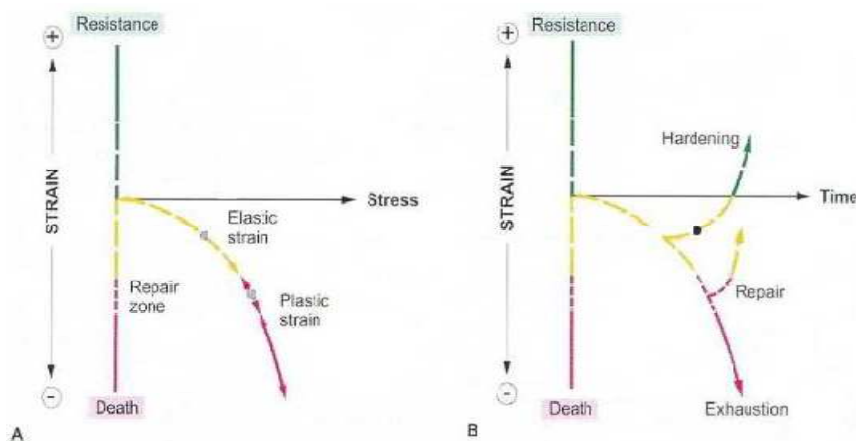


Figura 1.2 (A) Relació entre estrès i resposta en un sistema sense capacitat d'enduriment. (B) Relació entre l'estrès, la durada i la resposta en un sistema capaç d'adaptar-se i endurir-se (Schulze *et al.* 2005, Lichtenthler 1998, Savé 2009).

1.8 Avaluació de la qualitat d'una gespa

La qualitat és important en espais verds i sobretot en camps esportius. Per gestionar-los calen criteris objectius, a partir de paràmetres senzills, repetitius i econòmics. Però la majoria d'anàlisis quantitativs consten d'anàlisis de submostres de plantes que no ho compleixen. Una opció són les mesures no destructives i repetitives d'àrees concretes o a l'atzar, com els transsectes lineals, que poden determinar la cobertura, la densitat, la presència i distribució de plantes (Kershaw 1973; Laycock i Canaway 1980; Murphy *et al.* 1995).

Pel contrari, la qualitat d'una gespa mesura l'ús funcional i estètic propi de l'espècie o varietat (Turgeon 2006). La funcional engloba factors com: resiliència, rigidesa, elasticitat, verdor i producció. Es dona un valor integrat del color, la densitat, la textura de la fulla, la uniformitat, plagues i malalties, males herbes, acumulació de felle, estrès per sequera o trepig i l'hàbit de creixement (Beard 1973). Però no deixen de ser criteris subjectius de l'observador, la cultura i també entre experts avaluadors; que afavoreixen uns resultats inconsistents (Beard 1973; Horst *et al.* 1984; Landschoot i Mancino 2000). En les gespes, la qualitat ja es discutia a Birth i McVey (1968) i més recentment a Gooding i Gamble (1990). Al nord d'Europa es valoren fulles estretes i de verd clar però a la mediterrània es prefereix un verd intens (Cirera 2003). La percepció del color varia tot i utilitzar taules, com les de Munsell, que també depenen de la llum (Munsell Color Co., Baltimore; *American Society for Testing Materials* 1989; Mills i Engelke 1997). A més, els avaluadors experimentats tendeixen a puntuar més alt depenent de l'espècie o varietat (Landschoot i Mancino 1997 i 2000; però veure Skogley i Sawyer 1992). Tot i així, en Salehi i Khosh-Khui (2004) aquests resultats s'han correlacionat positivament amb mesures fisiològiques.

La gespa permet l'avaluació qualitativa amb tecnologies basades en sensors òptics, que integren superfícies i són el 80% més repetibles (Bell *et al.* 2002). Amb programes informàtics es converteixen les longituds d'ona o els píxels en paràmetres quantitativs que s'analitzen estadísticament (Casadesús *et al.* 2005; Erwing i Horton 1999; Mangiafico i Guillard 2005).

L'espectroradiometria s'utilitza en agronomia des de mitjans dels 60, des de coberta, amb satèl·lits; fins a nivell de fulla, amb aparells portàtils (Hatfield 2008; Milton *et al.* 2009). No es considera viable per a gestors d'espais verds, però s'estan desenvolupant aparells portàtils i fàcils d'utilitzar que se centren en

càlculs concrets per gestionar el reg (Dettman-Kruse *et al.* 2008; Keskin *et al.* 2008; Park *et al.* 2007 Sönmez *et al.* 2008). Les regions de l'espectre relacionades amb propietats físiques i fisiològiques de les plantes són comuns entre espècies (Knippling 1970). Així, s'han descrit models de resposta de la reflectància espectral basats en una o dues bandes de longitud d'ona per avaluar les característiques de la gespa: qualitat, color, grau de cobertura; estimació de l'efecte de l'estrès per sequera, per trepig, deficiències nutricionals, plagues, etc. (Bell *et al.* 2002; Fenstermaker – Shaulis 1997; Nutter *et al.* 1993; Trenholm *et al.* 1999a i b, 2000). Tot i així, els índexs difereixen entre cultius i cal analitzar cada situació (Serrano 2008; Thenkabail *et al.* 2000). També doncs, poden discriminar espècies i varietats (Hutto *et al.* 2006; Irisarri *et al.* 2009; Jiang i Carrow 2005; Trenholm *et al.* 2000).

L'anàlisi d'imatges digitals ha aparegut recentment en la literatura agronòmica (Richardson *et al.* 2001). Permet determinar el color i la fertilitat, la cobertura o la vegetació seca, la intercepció de la llum i les característiques del gra d'*Avena sativa* L. (Doehlert *et al.* 1999; Erwing i Horton 1999; Purcell 2000). En gespes permet estimar la qualitat, el vigor, la biomassa, la cobertura, i avaluar la incidència d'algun estrès que es manifesti en el recobriment o en el color de les fulles. A més, els gestors d'espais verds la poden utilitzar gràcies a què és ràpida, econòmica i senzilla (Adamsen *et al.* 1999; Casadesús *et al.* 2005 i 2007; Karcher i Richardson 2003; Olmstead *et al.* 2004; Richardson *et al.* 2001).

Material i mètodes general

2.1 Descripció de les espècies

***Agrostis stolonifera*, L.**

Agrostis stolonifera pertany a la subfamília pooidae és C_3 . Les fulles poden ser bastant grans i presenten la nerviació marcada (Figura 2.1). La llavor és molt petita, 15.000 unitats g^{-1} (Thomas i Guerin 1990). És sensible a les altes temperatures però suporta bé el fred, exigeix fertilització i reg, i resisteix mitjanament la salinitat (Lehman 1993; Smith *et al.* 1993; Wang *et al.* 2004).



Figura 2.1 Representació d'*Agrostis stolonifera*. Lígula, inflorescència, part basal de la planta i llavors (Thomas i Guerin 1990).

Admet segues de fins a 3 mm de part aèria i diàries, que sumat a la qualitat, la fa idònia per *greens* de camps de golf (Beard 1973; Liu i Huang 2001). Però les segues baixes accentuen les arrels poc profundes, que impedeixen la resistència mecànica (Beard 1973; Beard i Daniel 1965; Krans i Beard 1985; Murphy *et al.* 1994; Salaiz *et al.* 1995). Els rizomes i estolons permeten un creixement rastrer i reproduir-se vegetativament; per recuperar, en cert grau, la cobertura davant d'un estrès (McCarty i Dudeck 1993). És relativament delicada a malalties i plagues, principalment de fongs (McDonald, *et al.* 2006).

***Festuca arundinacea*, Schreb.**

És una planta C_3 i perenne, que pertany a la subfamília pooidae. És l'espècie més utilitzada com a gespa junt amb *Lolium* sp. (Massalles *et al.* 1988). És típica dels herbassars sobre sòls rics i humits de la terra baixa (Massalles *et al.* 1988). Presenta la panícula ramificada (Figura 2.2). Les fulles són bastes i llargues, de 4 a 6 mm d'ample, glabres, amb les vores rugoses i aspres al tacte. Els nervis són prominents a la part superior i desapareixen a la zona basal. La tija és vermellova o porpra a la base. Tendeix a fillolar formant una mata de fulles molt densa. Presenta un sistema radicular molt potent, que la fa resistent al trepig i adequada per ajudar a estabilitzar talussos. Amb manteniment baix forma gespa poc densa però molt resistent i un color verd fosc intens molt apreciat. Motius pels que domina molts paisatges urbans (Brown *et al.* 2004).



Figura 2.2 Representació de *F. arundinacea*. Lígula, inflorescència, part basal de la planta i llavor (Thomas i Guerin 1990).

Adaptada a sòls poc fertilitzats, salinitzats, alcalins i drenatges escassos. No admet segues inferiors a 35 mm. Està adaptada al clima mediterrani, resisteix la sequera per les arrels profundes i a l'ajust

osmòtic però a l'estiu té requeriments hídrics elevats (Devitt *et al.* 1995; Qian *et al.* 1996; White *et al.* 1992). Resisteix considerablement les temperatures altes i moltes malalties (Turgeon 1999). És molt agressiva en l'establiment i pot limitar el creixement de la resta d'espècies acompanyants, però mostra poca competència davant *Poa pratensis* i *Lolium perenne* és una mescla utilitzada sovint per formar gespes (Skirde 1989).

***Lolium perenne*, L.**

És una gramínia C₃ que pertany a la subfamília pooidae. Nativa d'Europa i l'Est d'Àsia, i es coneix com a ray-grass anglès o *Perennial ryegrass*. Planta vivaç, fulles de 2 a 6 mm d'amplada i més o menys glabres i brillants a la part inferior (Figura 2.3). A la part central tenen un solc prominent a tota la longitud. La base de la planta és vermellosa o porpra. L'espiga consta d'espiguetes molt estretes. No sol tenir rizomes ni estolons. El sistema radicular és fibrós i no supera els 20-25 cm de profunditat. Creix formant mates, que li impedeixen recolonitzar àrees deteriorades.



Figura 2.3 Representació de *Lolium perenne*. Inflorescència part basal de la planta, més ampliat al centre i fotografia a la dreta (Massalles *et al.* 1988; Marquès *et al.* 1983).

Germina i s'instal·la ràpid i és agressiva al principi. Suporta el trepig amb resistència i recuperació. Resisteix determinades malalties per fongs. La superfície cespitosa és uniforme, fulles grosses i de poca densitat, resisteix segues freqüents, no suporta les altes temperatures ni la sequera (Sheffer *et al.* 1987; Turgeon 1999; Wehner i Watschke 1981). Requereix bona fertilització (Mangiafico i Guillard 2007). Tolera poc l'ombra i moderadament la salinitat. S'adapta a diferents tipus de sòl amb pH de 5 a 8 però prefereix els neutres.

***Poa pratensis*, L.**

Poa pratensis, de nom vulgar poa de prat i en anglès *Kentucky Bluegrass*, és una planta C₃ que pertany a la subfamília pooidae. El gènere es caracteritza una inflorescència de panícula piramidal amb espiguetes petites amb 2-8 flors (Figura 2.4). La fulla és fina i en forma de V de 2 - 5 mm i de color verd blavós característic. Nervi central amb dues línies transparents paral·leles a ambdós costats. Les tiges poden arribar als 75 cm. Els rizomes li permeten la multiplicació vegetativa. Tolera el trepig, que li permet l'ús en zones amb desgast i necessitats de talls baixos com a tees de camps de golf, pistes de tennis, camps de futbol, etc.

És sensible a malalties fúngiques (Jiang *et al.* 1998). Hi ha varietats que toleren moderadament l'ombra. Resisteix el fred i tolera la calor amb reg ja que és molt exigent en aigua i amb fertilitzants (Jiang i Huang 2000a; Wehner i Watschke 1981). Triga uns 21 dies a instal·lar-se, que dificulta la implantació en mescles amb espècies més ràpides.

La mescla formada per *Festuca arundinacea* + *Poa pratensis* + *Lolium perenne* és molt comú i es comercialitza en diferents proporcions de varis cultivars, per assegurar l'establiment i cobertura en

diferents condicions ambientals. Les tres espècies pertanyen a la mateixa família. Un dels condicionants per poder barrejar determinades espècies i garantir la qualitat (una coberta homogènia) és que la tonalitat i textura de fulla sigui semblant. I a nivell d'eficiència de manteniment, interessa que tinguin unes mateixes necessitats de reg i fertilitzants.



Figura 2.4 Representació de *Poa pratensis*
(Massalles *et al.* 1988, Thomas i Guerin 1990, Marquès *et al.* 1983).

***Puccinellia distans* (Jacq.) Parl.**

És de tipus C_3 , és originària d'Euràsia i pertany a la subfamília pooidae. Planta perenne que fa de 10 a 40 cm d'alçada. Les fulles són planes i mesuren d'1.5 a 3.5 mm d'amplada. Forma una panícula piramidal (Figura 2.5). Tolerant les altes temperatures, la sequera i es considera de les espècies C_3 més tolerants a la salinitat (Ashraf *et al.* 1985; Harivandi *et al.* 1983; Macke i Ungar 1971; Salo *et al.* 1996 entre altres). Es troba als vorals de les carreteres i àrees ruderals (Garlitz 1992; Moravcova i Frantik 2002). S'utilitza en camps de golf regats amb aigua regenerada perquè tolera la salinitat i sòls alcalins però la taxa d'establiment és baixa i presenta dormició a l'estiu (Qian i Mecham 2005; Semple *et al.* 2003).



Figura 2.5 Representació de *Puccinellia distans* Inflorescència i part basal de la planta. Fotografia a la dreta (Britton i Brown, 1913).

***Cynodon dactylon*, [L.] Pers.**

És una gramínia de mode de fixació de carboni tipus C_4 , que pertany a la subfamília Chloridoideae. Té varis noms vulgars: bermuda comú, agram, gram fi, herba de les Bermudes, brena, etc. És vivaç i perenne que es reproduïx bé vegetativament per rizomes i estolons. El limbe de la fulla és pla, d'1 a 4 mm d'ample, rígid i lleugerament pubescent a la part superior i als marges (Figura 2.6). És glabre a la part inferior i de color verd blau a la superior. Les tiges són erectes ascendint des de la base prostrada. Es reconeix per les 4 o 5 espigues digitades llargues i primes.

Aquest gènere produeix gespes de qualitat per varies activitats esportives, és la més utilitzada per camps de golf a les zones tropicals i temperades d'arreu del món i forma moltes gespes de jardins (Richardson 2004). Apareix als conreus i als terrenys sorrencs, preferentment humits de les terres mediterrànies i de la part baixa de l'estatge muntà (Massalles *et al.* 1988). Resisteix malalties i estressos ambientals. A Espanya es planta en moltes regions atlàntiques i mediterrànies on les pluges escassegen. Presenta una dormició hivernal, que en els límits de distribució arriba a set mesos l'any (Richardson 2004). Això fa que s'hagi de ressemar amb espècies C_3 per garantir una gespa verda (Duedeck i Peakok 1980; Schmidt i Shoulders 1977).



Figura 2.6 Representacions de *Cynodon dactylon*. Planta i detall de la lígula. Fotografia a la dreta (Massalles et al. 1988; Marquès et al. 1983).

***Zoysia japonica*, Steud.**

Planta perenne i C_4 que pertany a la subfamília Chloridoideae. En anglès se la coneix com a *japanese lawn Zoysiagrass* o *Korean lawn grass*. És nativa de Xina, Japó i altres parts de sud-est d'Àsia. Textura de fulla gruixuda i de verd intens. Forma estolons, rizomes i un sistema radical molt profund (Figura 2.7). Es pot sembrar però és molt lenta per establir-se. Sovint es planta d'esqueix, tot i el cost afegit que comporta (Richardson i Boyd 2001).



Figura 2.7 Representació de *Zoysia japonica*. Lígula, espiga i part basal de la planta (Thomas i Guerin 1990).

Es va utilitzar per primera vegada en un camp de golf als 50 (Grau i Radko 1951). Es tendeix a introduir pel bon aspecte i propietats (Richardson i Boyd 2001). Tolera les temperatures altes, la sequera i el fred de climes temperats i càlids, i presenta dormició hivernal (Forbes i Ferguson 1947; Grau 1952; Rogers et al. 1995 i 1977; Warmund et al. 1998). Tolera el trepig però, no a zones molt transitades perquè, es recupera lentament. És de les gespes que millor tolera l'ombra i està adaptada a tot tipus de sòls. És poc agressiva però molt densa, de manera que impedeix l'entrada de males herbes. Presenta pocs problemes de malalties, la majoria són per sobre-fertilització i l'acumulació de feltre, ja que, tot i el creixement lent, és propensa a formar-ne.

***Paspalum notatum*, Flugge.**

Planta C_4 de la subfamília Panicoideae, originària de regions subtropicals de Sud-amèrica i es coneix per *Bahiagrass*. Les fulles són amples, des de verd clar a verd - grogós i amb el solc del nervi principal ben marcat. Disposa d'estolons, rizomes i, un bast i profund sistema radicular (Figura 2.8).

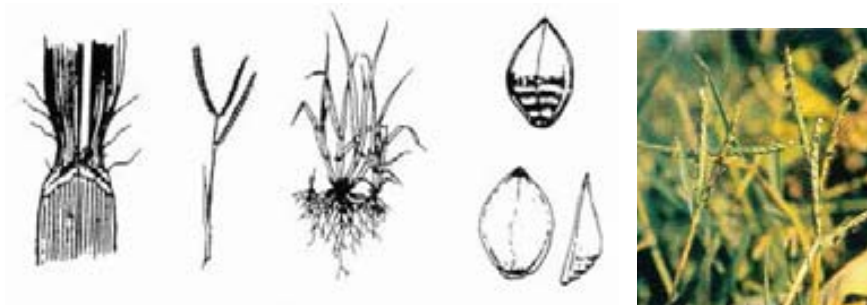


Figura 2.8 Representació de *Paspalum notatum*. Lígula, espiga, part basal de la planta i llavors. Fotografia a la dreta (Thomas i Guerin 1990; Marquès et al. 1983).

Forma una gespa basta i resistent sense problemes greus de malalties. Tolera varis estressos abiòtics, pH del sòl extrems bàsics i àcids, l'ombra, el trepig i la sequera (Duncan i Carrow 1999; Huang *et al.* 1997; Trenholm *et al.* 1999; Wilkinson i Duncan 1994). Comparada amb altres gespes, mostra la tolerància més alta a la salinitat (Dudeck i Peacock 1985; Lee 2000; Marcum i Murdoch 1994; Morton 1973). És adequada per estabilitzar talussos o dunes, i en general, és apte per àrees de manteniment baix, com els parcs públics.

***Pennisetum clandestinum*, Hochst. ex Chiov.**

Planta de metabolisme C_4 i perenne, que pertany a la subfamília Panicoideae. En anglès se la coneix com a *Kikuyu grass* o *west african pennisetum*. És originària de l'oest tropical d'Àfrica. Les fulles són amples, de fins a 5 cm de longitud i verd-grogóses. Forma rizomes i estolons molt gruixuts i de 30 a 120 cm de llargària. La inflorescència consta de 2 a 4 espícules sèssils de 10 - 20 mm (inflorescències elementals), més o menys embolcallades per la beina foliar superior (Figura 2.9; Holm *et al.* 1977). La floració s'estimula per segues regulars o pastures intenses.

Adaptada a climes temperats secs i humits. Tolera diferents tipus de sòl i el trepig, i amb una màxima resistència a la salinitat. És agressiva, invasora, incompatible amb altres gespes i plantes. Es considera una de les pitjors males herbes en determinats ecosistemes (Wagner *et al.* 1999).



Figura 2.9 Representació de *P. clandestinum* (1) part basal de la planta, (2) lígula, (3) inflorescència, (4) espiga (Mannetje i Jones 1992). Imatge d'una parcel·la experimental de *P. clandestinum* florit a la dreta.

2.2 Càlcul del reg a partir de l'evapotranspiració

L'**Evapotranspiració** (ET) inclou l'Evaporació del sòl (E) i la Transpiració de la planta per les fulles (T). Perquè es produeixi cal el gradient de pressió de vapor entre la fulla i l'atmosfera: aigua a la superfície de la planta, energia solar que l'evapori i un mecanisme que l'extregui. El gradient es manté gràcies al vent o altres mecanismes. L'ET considera les necessitats reals de les plantes i les característiques del sòl; i serveix per optimitzar el reg, amb una dimensió adequada de les instal·lacions per aplicar les freqüències i dosis d'aigua apropiades. La taxa d'ET és la capacitat evaporativa d'un ambient donat (Fereres 1981). L'ET de referència (ET_o) és la taxa d'ET d'una superfície de referència on l'aigua no és limitant. És un cultiu de gespa hipotètic, *Lolium perenne*, amb característiques específiques (Pruitt *et al.* 1986, FAO nº24).

L'ET_o expressa la demanda evaporativa de l'atmosfera en una localitat i època de l'any sense considerar el cultiu, l'estadi fenològic o les característiques del sòl. Per tant, es pot calcular a partir de dades meteorològiques. Des dels anys 50 s'han desenvolupat mètodes empírics o semi-empírics per obtenir-ne el valor: el mètode de Blaney-Criddle, la radiació solar, el Penman Modificat i els evaporímetres (Crabbe *et al.* 1984, FAO nº22). Però poden generar errors superiors al 20% en l'estimació diària de l'ET_o quan s'extrapolen a climes diferents d'on van ser dissenyats (Castel *et al.* 1987). L'equació Penman-Montheith és la més fiable i la recomanada per la FAO (Allen *et al.* 1998, FAO nº 56). Utilitza: temperatura,

humitat relativa, vents i radiació solar neta i global. Interessa una mitjana per al període a considerar, a partir de dades diàries, setmanals o mensuals, depenent de la disponibilitat de dades i la precisió necessària.

L'ET de cultiu en condicions estàndard (ET_c) és la taxa d'ET d'un cultiu en condicions òptimes de creixement, fertilització, disponibilitat hídrica en el sòl, sense malalties i assolint una producció en unes condicions climàtiques donades. Es pot calcular a partir de l'efecte de les dades climàtiques i les característiques del cultiu: **ET_c = ET_o · K_c**

El coeficient de cultiu (K_c) es refereix a l'edat de les plantes, la densitat de plantació, l'època de l'any, les característiques dels estomes, les propietats aerodinàmiques, etc. (Costello *et al.* 2000; Doorenbos i Pruitt 1977; Goldhamer 1989). L'edat pot influir en l'àrea foliar i en conseqüència al consum d'aigua. La mida o forma de la capçada d'arbres i arbusts modifica la taxa d'evaporació d'aigua al sòl i la quantitat d'aigua disponible per la vegetació. La superfície d'intercepció de la radiació de les capçades condiciona la taxa de transpiració. En la bibliografia es troben sobretot valors de K_c per a herbàcies obtingudes majoritàriament amb lisímetres. El coeficient de jardí (K_L) és una extensió del K_c per obtenir una qualitat ornamental determinada, en lloc de la màxima producció (Costello *et al.* 2000). Els arbres, arbusts i herbàcies donen una estructura complexa al jardí. Però un disseny agrupant les espècies pels requeriments de reg, en lloc de només l'estètica, permet mesurar una ET_c i assignar una K_c mitjana per sectors, amb la fórmula **K_L = k_e · k_d · k_m** (Taula 2.3) i llavors **ET_L = ET_o · K_L**.

Taula 2.3 Coeficients aproximats en funció de les espècies, densitat i microclima per calcular el coeficient de jardí. Valors depenent del consum hídric de les plantes estimats amb dades bibliogràfiques i de camp (Costello *et al.* 1991).

Tipus de vegetació	k _e , coeficient d'espècie ^a			k _d , coeficient de densitat			k _m , coeficient de microclima ^b		
	alt	mitjà	baix	alt	mitjà	baix	alt	mitjà	baix
Arbres	0.9	0.5	0.2	1.3	1.0	0.5	1.4	1.0	0.5
Arbusts	0.7	0.5	0.2	1.1	1.0	0.5	1.3	1.0	0.5
Entapissants	0.7	0.5	0.2	1.1	1.0	0.5	1.2	1.0	0.5
Plantacions mixtes	0.9	0.5	0.2	1.1	1.1	0.6	1.4	1.0	0.5
Gespes	0.8	0.7	0.6	1.0	1.0	0.6	1.2	1.0	0.8

^ak_e', si es considera l'època de l'any (f) que és 1.0 a l'estiu, i entre 0.6 i 0.8 per la resta **k_e' = f x k_e**.

^bEl valor mitjà de k_m és quan les edificacions, paviments i superfícies reflectants en general no influeixen al microclima.

Els sistemes de reg tenen una eficiència intrínseca (S_{ref}) a més de les condicions ambientals, vent, dèficit de pressió de vapor, etc. L'elecció depèn del sòl, usos, pendents, vegetació, etc. El degoteig pot arribar a un 95% de S_{ref} però l'aspersió és entre el 70 i el 80%.

En el càlcul de les Necessitats Hídriques (NH) es considera l'ET_c; unes quantitats suplementàries referents a la S_{ref}; el rentat de sals de la zona radicular (L_s), en cas d'existir; menys la pluja efectiva dels dies anteriors al reg (P_{ref}). L'equació és: **NHL = (ET_L + L_s - P_{ref}) / S_{ref}**. A partir d'aquí es pot assignar la dosi i freqüència de reg de forma localitzada que, a no ser que es desitgi aplicar L_s, no hauria de superar la capacitat de camp del sòl. Així, es condiciona l'aigua disponible per les plantes i la despesa hídrica en general. Depèn de les característiques físiques del sòl/substrat, la pluviometria de la zona, l'estat fenològic de les plantes i la profunditat de les arrels, la disponibilitat del gestor que les mantingui, la qualitat de l'aigua, etc.

Perquè els usuaris puguin utilitzar aquesta metodologia, el Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural de la Generalitat de Catalunya ha instal·lat la Xarxa Agrometeorològica de Catalunya que registra les condicions atmosfèriques i l'ET_o, unida a l'"Eina de recomanacions de reg específica per a espais verds" i avisos a premsa i missatges a mòbil.

2.3 Mesura del potencial matricial del sòl - sensors de matriu granulosa

Els sensors d'humitat del sòl s'han utilitzat majoritàriament en agricultura de regadiu (Norrie *et al.* 1994; Singh *et al.* 1995; Tripathi 1992). Els de matriu granulosa ofereixen bons resultats per exemple a

Shock *et al.* (1998a), Stieber i Shock (1995); i en jardineria a DeOreo i Lander (1995) i Qualls *et al.* (2001).

Les arrels han de vèncer la força amb què l'aigua és retinguda al sòl per absorbir-la, el potencial de l'aigua al sòl (Ψ_s). El qual és més important quant menys aigua i més sals tingui el sòl. En un sòl no saturat és la suma de l'efecte de les forces d'adhesió i cohesió de la matriu porosa del sòl, potencial matricial (Ψ_m), i de les sals o potencial osmòtic (Ψ_o): $\Psi_s = \Psi_m + \Psi_o$. És proper a zero en el sòl saturat d'aigua, i negatiu quan no ho està. S'expressa en bar o pascal i els múltiples (1 bar = 0.1 MPa).

En un medi porós, la resistència al corrent elèctric és proporcional al contingut d'aigua i a la concentració de sals. Es pot determinar indirectament el Ψ_m , expressat en Ohm, amb els blocs de guix i una versió modificada, els sensors de matriu granular *Watermark*[®] (Irrometer Company, Riverside, CA; Larson 1985). Consten de dos elèctrodes concèntrics separats per una membrana sintètica i tot envoltat d'una matriu granular de guix. El conjunt es revesteix amb una malla d'acer inoxidable i goma als extrems. La quantitat d'aigua al sensor equival a la del sòl i el guix dissolt en aigua condueix electricitat bastant eficaçment, però a l'assecar-se augmenta la resistència al corrent elèctric entre els elèctrodes. La mesura de la resistència elèctrica amb equacions de calibratge, pel tipus de sòl i la temperatura, determina indirectament el Ψ_s , i sense calibrar indica la tendència de la humitat (Shock *et al.* 1998a, 1998b; Taber *et al.* 2002). La temperatura disminueix la resistència elèctrica, i per tant el Ψ_s , entre un 1 i 3% cada grau (Spaans i Baker 1992). El sensor és sensible de 0 a -200 KPa (Leib *et al.* 2003). El model *Watermark 200ss* fa 7.5 cm de llarg, és econòmic, senzill d'utilitzar i amb un mínim manteniment té una vida útil entre 5 i 7 anys (Qualls *et al.* 2001). Al ser un senyal elèctric, el registre dels valors és senzill i es pot automatitzar per obtenir mesures contínues en el temps (Larson 1985).

A les gespes, es van situar a 15 cm de profunditat, on es troba el 75% d'arrels (Boeker 1974; Ensign i Weiser 1975; Madison 1962) i alhora no registra excessivament la pèrdua d'aigua del sòl causada per la temperatura de la superfície del sòl (Aronson *et al.* 1987; Qian *et al.* 1997).

2.4 Índexs de reflectància de la coberta vegetal i índexs derivats de fotografies

Per obtenir la reflectància de la coberta de gespes es va construir un capçal connectat amb fibra òptica a un espectroradiòmetre (Model USB2000-VIS-NIR *Ocean Optics, Dunedin, FL*). Mesura entre 200 i 1100 nm amb 1 nm d'interval de mostreig de i 5 nm de resolució espectral.

Semblant a Baghzouz *et al.* (2006) i Bell *et al.* (2004), s'aconsegueix una il·luminació òptima i independent de l'època de l'any i de les condicions meteorològiques amb el capçal. Un cilindre buit i obert per la part inferior, de 12 cm de diàmetre per 20 cm d'altura i amb un recobriment intern d'alta reflectància difusa (WRC-680, Labsphere, USA) i dues làmpades halògenes de 10W (64415 S, OSRAM, Germany, Figura 2.10).

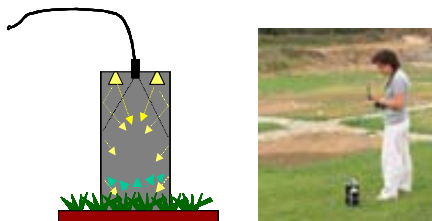


Figura 2.10 Esquema del capçal usat en les mesures espectroradiomètriques, les fletxes descendents indiquen la llum emesa per les làmpades halògenes (irradiància) i les ascendents, la reflectada per la vegetació (radiància). La fibra òptica capta el conjunt de les dues (reflectància). **Mesures** a la dreta (esquema i foto J. Casadesús).

El programa OOIBase 32 *spectrometer operating system* (*Ocean Optics, Dunedin, FL*) en un PC Palm (Hewlet Packard) adquiria 4 mesures per segon i en donava l'espectre promig. Aquests s'estandarditzaven amb un panell blanc de referència amb la mateixa pintura que l'interior del capçal, cada tres mesures. En els capítols 3 i 5 s'estudia el comportament d'índexs que tenen en compte regions de l'espectre (Figura 2.11). En els assajos comparem gramínies de subfamílies i tipus fotosintètics diferents. Cal tenir en compte les característiques de la coberta que forma cada espècie (Figura 2.12).

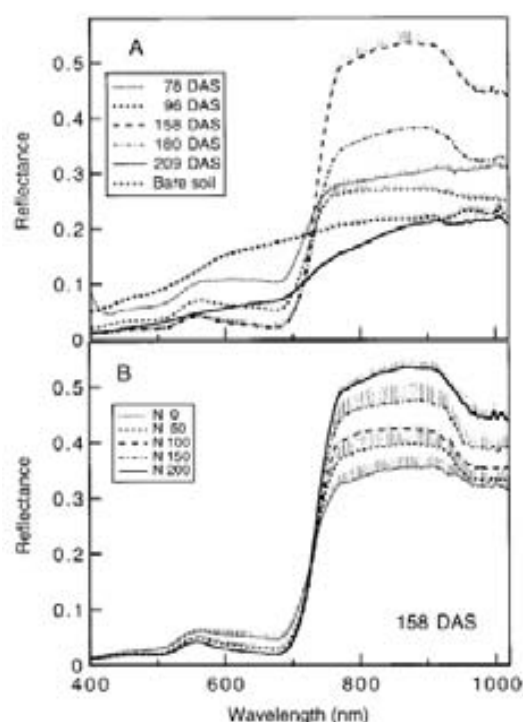


Figura 2.11 Signatures espectrals d'una coberta de blat (A) fertilitzada amb 200 kg N ha⁻¹ a diferents estadis fenològics. DAS, dies després de la sembra (B) Als 158 DAS depenent de les dosis de fertilització. Els valors representats són la mitjana de tres rèpliques i les barres d'error són +1 de l'error estàndard de la mitjana (Serrano *et al.* 2000).

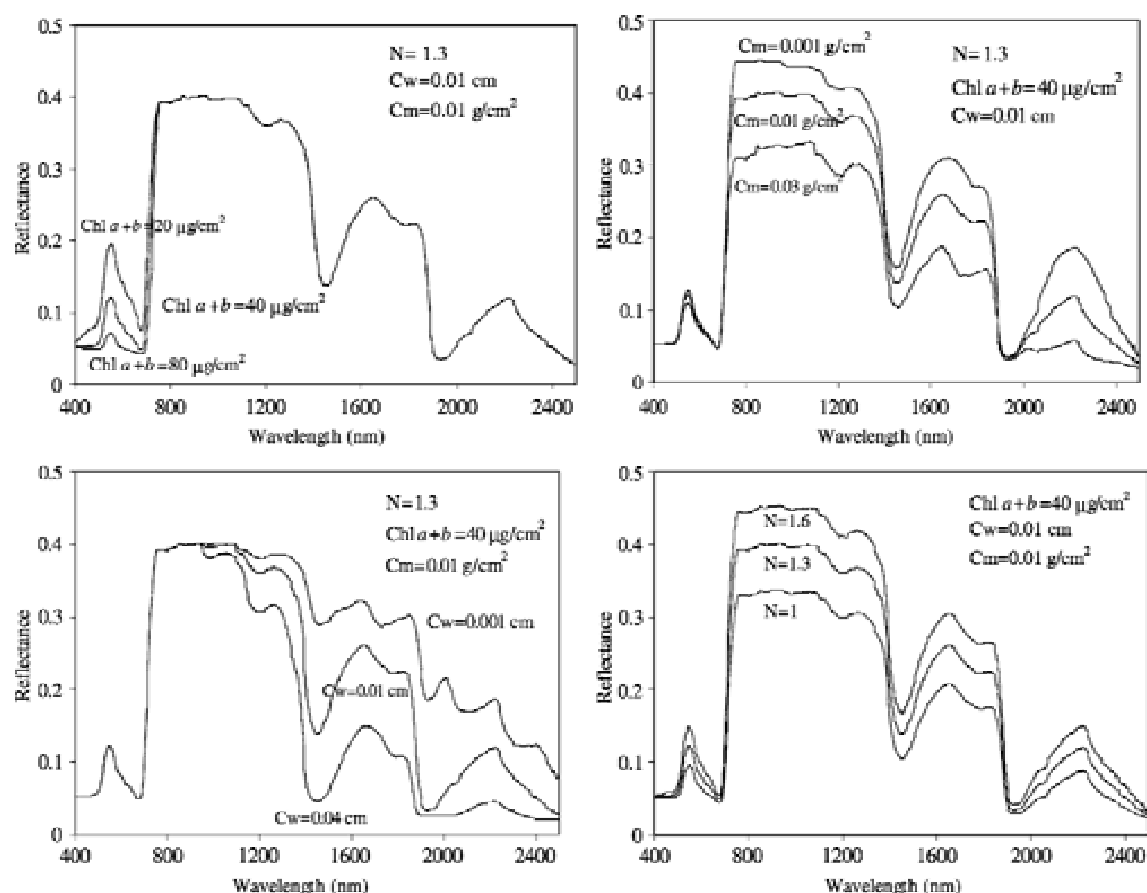


Figura 2.12 Efectes dels constituents bioquímics i paràmetres estructurals de fulla en la reflectància. Clorofil·la A+B (dalt esquerra); biomassa seca, Cm (dalt dreta); gruixària d'aigua equivalent, Cw (baix esquerra), i paràmetres estructurals de fulla, N (baix dreta) (Zarco - Tejeda *et al.* 2003). Cw (g/cm²) = (pes fresc - pes sec) / àrea foliar.

NDVI, Normalized Difference Vegetation Index L'índex de Vegetació Normalitzat és el més estès per estimar l'activitat fotosintètica d'una coberta vegetal i la quantitat de vegetació verda fotosintèticament activa, com per exemple: la biomassa verda, l'índex d'àrea foliar (LAI), l'índex d'àrea verda, la fracció PAR absorbida, etc. (Baret i Guyot 1991; Cater i Spiering 2002; Datt 1999; Filella *et al.* 1995; Gamon *et al.* 1995; Gitelson *et al.* 1994, 1996; Hall 1990; Price i Bausch 1995; Wiegand i Richardson 1990). Valors propers a 1 indiquen bon estat de la vegetació (Taula 2.4). Bell *et al.* (2002) en *A. stolonifera* obtenen que valors de NDVI de 0 - 0.29 es tracta de gespa morta; de 0.3 - 0.4, pobra coberta de la gespa; 0.41 - 0.55, indica requeriments de fertilització; 0.56 - 0.69, qualitat acceptable; 0.7 - 0.85, excés de fertilització.

R_{NIR} – Near infrared reflectance, DVI - Difference Vegetation Index i SR - Simple Ratio són combinacions més simples que el NDVI (Taula 2.4; Blackburn 1998; Zhu *et al.* 2007). En alguns casos el SR s'ha mostrat més sensible per detectar estrès per sequera (Serrano *et al.* 2000).

PRI, Photochemical Reflectance Index és un índex de reflectància fisiològic, sensible a l'estat de de-epoxidació del cicle de les xantofil·les i l'eficiència de la fotosíntesi (Bilger i Björman 1990; Demming – Adams i Adams 1996; Filella *et al.* 2009; Gamon *et al.* 1992; Guo i Trotter 2004; Taula 2.4).

Les plantes dissipen l'excés de radiació que no poden processar a la fotosíntesi per evitar danys a l'estructura foliar. Bona part la perden en forma de calor i a través de la fluorescència. Els processos de dissipació d'energia estan lligats al cicle de de-epoxidació de les xantofil·les. També es produeixen canvis en l'estructura dels cloroplasts, incrementa del pH dels til·lacoids, canvia la concentració de zeaxantina, i l'eficiència en l'ús de la radiació (LUE) disminueix en condicions d'estrès (Filella *et al.* 1996).

Varis processos de dissipació de l'excés de radiació es relacionen amb canvis en l'absorbància propera a 530 nm, que té en compte l'índex (Araus *et al.* 2001). L'índex es complementa amb el NDVI perquè fa una estimació de l'activitat fotosintètica (Gamon *et al.* 1993). Proporciona referències de: l'estat nutricional, la reducció de l'activitat al migdia, diferències entre espècies i tipus funcionals de fotosíntesi, es correlaciona amb la fluorescència, Fv/Fm; detecta els canvis en l'eficiència de l'ús de la radiació fotosintèticament activa, PAR (Gamon *et al.* 1992, 1993, 1997; Filella *et al.* 1996 i 2009; Peñuelas *et al.* 1995b; Thenot *et al.* 2002; Weng *et al.* 2006). És robust amb el LUE quan l'eficiència fotosintètica del PSII està ben coordinada amb l'assimilació del carboni (Guo i Trotter 2004, 2006; Inoue i Peñuelas 2006).

Chl a/b Index intenta reflectir la variabilitat en el quocient clorofil·la a/b (Blackburn 1998; Taula 2.4). En les plantes superiors, la clorofil·la a està associada a les proteïnes dels fotosistemes (PS). En el centre de reacció i en el complex antena, *light harvesting complex* LHC. La clorofil·la b només es troba en el LHC. El LHC I (del PS I) té l'índex clorofil·la a/b més alt que el LHC II. Les cèl·lules de la beina tenen menys PS II que les cèl·lules del mesòfil (Edwards i Walker 1983; Ghannoum *et al.* 2005; Hatch 1987). I encara menys en les gespes NADP-ME que les NAD-ME. Per tant, les fulles de gespes C₄ tenen més proporció de PS I que de PS II respecte a les fulles de les C₃. Així, l'índex en principi ha de ser més alt per les espècies C₄ que les C₃ (Hatch 1987).

NPCI, Normalized total Pigment to Chlorophyll Index, Índex del Contingut total de Clorofil·les Normalitzat fa una estimació del quocient carotens / clorofil·la a (Peñuelas *et al.* 1993; Taula 2.4). Els carotens tenen funció estructural, de protecció i capten llum de longitud d'ona més alta que les clorofil·les. L'índex és un indicador de l'estrès, perquè les clorofil·les tendeixen a degradar-se més ràpidament que els carotens en condicions adverses per la planta.

SIPI, Structural Independent Pigment Index, Índex de Pigments Independent de l'Estructura és equivalent al NPCI però minimitzant els efectes de la superfície foliar i l'estructura del mesòfil (Blackburn 1998; Peñuelas *et al.* 1995a; Taula 2.4).

NPQI, Normalized Phaeophytinization Index, Índex de Feofitinització Normalitzat es pot utilitzar com a indicador de la degradació de les clorofil·les (Ahern 1988; Barnes *et al.* 1992; Lorenzen i Jensen 1989; Peñuelas *et al.* 1995c; Taula 2.4).

WI, Water Index La reflectància a l'infraroig proper s'ha descrit com un indicador del contingut hídric de la fulla (Bowman 1989; Curcio i Petty 1951; Peñuelas *et al.* 1993; Rollin i Milton 1998; Taula 2.4). El WI ha mostrat bona correlació amb la conductivitat estomàtica i el Contingut Relatiu d'Aigua (RWC) en l'estrès hídric acusat, RWC inferior a 0.85 (Peñuelas 1993). També és un bon indicador de l'estat hídric de la planta com a resposta a la sequera i la salinitat (Peñuelas 1997 a i b). A més contingut d'aigua a la vegetació, valors de l'índex més alts.

WI/NDVI. Utilitzant el NDVI per obtenir una millor relació del WI amb el contingut hídric de la vegetació. Així es considera la degradació de les clorofil·les degut al dèficit hídric (Peñuelas *et al.* 1997; Wang *et al.* 2009).

Taula 2.4 Fórmules dels índexs espectroradiomètrics estudiats en els capítols 3 i 5.

$$\begin{array}{ll}
 R_{\text{NIR}} & \text{DVI} = R_{\text{NIR}} - R_{\text{RED}} \\
 \text{SR} = \frac{R_{\text{NIR}}}{R_{\text{RED}}} & \text{NDVI} = \frac{R_{\text{NIR}} - R_{\text{RED}}}{R_{\text{NIR}} + R_{\text{RED}}} \\
 \text{Chl a/b} = \frac{R_{650}}{R_{685}} & \text{NPCl} = \frac{R_{680} - R_{430}}{R_{680} + R_{430}} \\
 \text{SIPI} = \frac{R_{800} - R_{445}}{R_{800} - R_{680}} & \text{NPQI} = \frac{R_{415} - R_{435}}{R_{415} + R_{435}} \\
 \text{PRI} = \frac{R_{531} - R_{570}}{R_{531} + R_{570}} & \text{WI} = \frac{R_{900}}{R_{970}}
 \end{array}$$

R indica el valor de la reflectància a la longitud d'ona del subíndex. R_{RED} i R_{NIR} són les reflectàncies a la regió del vermell i a l'infraroig proper, *Red* i *Near - InfraRed*, a 680 i 770 nm respectivament. Veure text i comparar amb la figura 2.11.

A la bibliografia es troben petites variacions de les regions de l'espectre que tenen en compte els índexs. S'ha fet la mitjana del rang ± 10 nm al voltant de la longitud d'ona de referència (Poss *et al.* 2006).

Índexs derivats de fotografies

Es realitzaven fotografies zenitals a 1.40 m d'alçada, sobre un trípode amb un braç horitzontal. De manera que es cobria una superfície de 0.80 m². La distància focal de la càmera era de 48.5mm, la velocitat d'obturació i la obertura del diafragma automàtics (Fujifilm FinePix 6900 Zoom, Japan). Les fotografies es gravaven en format per defecte de la càmera: *Joint Photographic Experts Group* (.jpg), profunditat de color de 16.7 milions de colors i 1280 x 960 píxels. Les imatges es processaven amb un programa informàtic dissenyat per l'IRTA (Casadesús *et al.* 2005). Consisteix en una aplicació Java que usa el paquet *Java Advanced Imaging (JAI) API* (Sun Microsystems, Inc. 4150 Network Circle Santa Clara, CA 95054). Les regions de les fotografies amb artefactes s'excloïen de l'anàlisi pintant-les de blau (0, 0, 255 - coordenades RGB; Figura 1.13). A més, es col·locava un patró sobre la gespa, per corregir automàticament la imatge en funció de la llum (Figura 2.14).

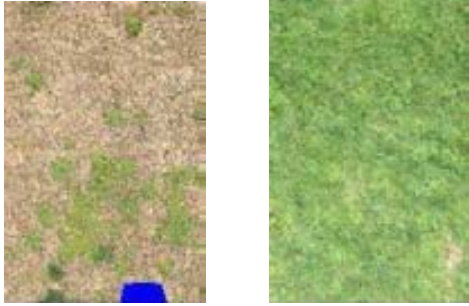


Figura 2.13 Exemples de cobertura de la gespa.

És d'un 30% a la imatge de l'esquerra i de pràcticament el 100% a la de la dreta. En la primera s'havia pintat de blau el peu del fotògraf per excloure'l de l'anàlisi (Casadesús *et al.* 2005).

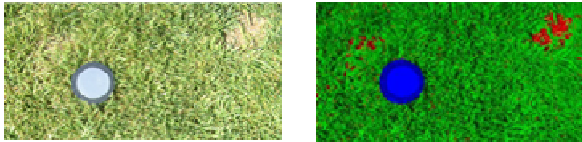


Figura 2.14 Exemple del processat d'una fotografia de *F. arundinacea*.

El patró s'ha identificat automàticament en blau i les clapes sense vegetació en vermell (Casadesús *et al.* 2005).

L'índex de tonalitat de color, es refereix al **Hue (H)** del model de color intensitat - tonalitat - saturació (*Intensity - Hue - Saturation*, IHS). L'H és l'atribut de la percepció del color pel qual es valora per ser vermell, taronja, groc, verd, blau, porpra o intermedis considerats en un cercle (American Society for Testing and Materials 1989). Dels components de la IHS, l'H és el millor indicador del color visual de la gespa (Landschoot i Mancino 2000; Thorogood *et al.* 1993). Pren valors en graus de 0° a 360° i, en gespes, la majoria de resultats són entre 70 i 110° però pot superar els 120° en espècies verd blavoses (Casadesús *et al.* 2005 i 2007; Karcher i Richardson 2003).

L'àrea verda de les imatges es va calcular com la suma de les freqüències de l'histograma de classes de 5° d'amplada d'H de 60 a 180°, del groc al verd-blavós. S'expressa en percentatge d'àrea verda respecte al total de la superfície fotografiada, i és un bon estimador de la cobertura verda (Casadesús *et al.* 2007; Lukina 1999).

L'índex de verdor o Greenness és la proporció de verd de la mostra. Els valors elevats indiquen millor estat de la vegetació (Casadesús *et al.* 2005). R, G i B corresponen a la mitjana dels valors de les coordenades RGB de la imatge, *Red Green* i *Blue* - vermell, verd i blau respectivament.

$$\text{Greenness} = \frac{G - \frac{R+B}{2}}{G + \frac{R+B}{2}}$$

Efecte de regs deficitaris en la qualitat ornamental de gespes

RESUM

La sequera ambiental i/o edàfica són dels estressos abiòtics més importants que limiten el creixement de la gespa. Sobretot a l'estiu, el consum d'aigua en el clima mediterrani excedeix a la precipitació, i durant extensos períodes sense pluja, es restringeix l'aigua de reg a favor d'usos prioritaris. En aquest estudi es va avaluar l'eficiència en l'ús de l'aigua de gespes que s'utilitzen en espais verds de clima mediterrani. Es va estudiar el comportament anual de les espècies i comparar varis mètodes de base ecofisiològica per avaluar la qualitat de gespes. Les espècies eren: ray-grass anglès (*Lolium perenne* L.), festuca (*Festuca arundinacea* Schreber.), poa de prat (*Poa pratensis* L.), agrostis (*Agrostis stolonifera* L.), paspalum (*Paspalum notatum* L.), bermuda comú o gram (*Cynodon dactylon* L.), puccinellia (*Puccinellia distans* L.), zoysia (*Zoysia japonica* Steud.), kikuyu (*Pennisetum clandestinum* Hochst.), una mescla a parts iguals de *F. arundinacea* + *P. pratensis* + *L. perenne* i una altra formada per *C. dactylon* + *P. notatum* + *P. distans*. A nivell de gestió, el reg a 40% ETo per *A. stolonifera*, *P. pratensis*, *C. dactylon* i *P. clandestinum* i els de 40 y 60% ETo per a *F. arundinacea* durant l'estiu no van aconseguir un desenvolupament òptim en cap dels atributs pels quals són cultivades. Destaquem que al 2005, un estiu amb pluja inferior a 10 mm mes⁻¹ i una elevada demanda evaporativa, *P. clandestinum* va assecar-se. A l'hivern es pot reduir el reg al 40 % de la ETo en totes les espècies. *L. perenne*, *P. distans*, *Z. japonica* i *P. notatum* no van assolir una bona cobertura en cap de les èpoques de l'any, fet que va afavorir la colonització de males herbes. La mescla de *F. arundinacea* + *P. pratensis* + *L. perenne* es va comportar millor que les espècies per separat, indicant complementarietat entre elles. La mescla de *C. dactylon* + *P. notatum* + *P. distans* no es va constituir. *P. clandestinum* va presentar la producció més elevada, sense colonització per males herbes i alhora molt invasiva. Les arrels no van profunditzar a més de 30 cm en el sòl. Els índexs espectroradiomètrics, especialment el NDVI i la fotografia digital es van mostrar com a paràmetres objectius per descriure l'estat de la vegetació, donant mesures integradores i versàtils de la gespa.

3.1 INTRODUCCIÓ

La sequera ambiental i/o edàfica són dels estressos abiòtics més importants que limiten el creixement de la gespa (Du *et al.* 2008). Des de fa uns 20 anys, una quantitat significativa de la recerca s'ha centrat en reduir les aportacions a les gespes, especialment de fertilitzants i reg. El consum d'aigua per les gespes en determinats climes excedeix a la precipitació, i durant llargs períodes sense pluja cal restringir-hi l'aigua a favor d'usos prioritaris. Com a resposta, s'han desenvolupat programes de millora d'espècies i varietats, i de tècniques de pràctiques culturals per reduir el reg (Aronson *et al.* 1987; Carrow 1995; Fry i Butler 1989; Johnson 2003).

El clima mediterrani i especialment el costaner, es caracteritza per temperatures suaus. Però les màximes i mínimes són suficients per influenciar a les gespes C₃ i C₄, veure capítol 1 (Brian *et al.* 1981; Su *et al.* 2007). El creixement de les C₃ és més actiu a la primavera i a la tardor quan les temperatures es troben entre els 15 i 24°C, i sovint disminueix a l'estiu, quan se sobrepassen aquests valors. Al contrari de les C₄, que són sensibles a les baixes temperatures. L'augment de temperatura porta associat la disminució de la humitat del sòl, l'increment d'infeccions, afectes al metabolisme de les plantes, etc. (Beard i Daniel 1965; Huang *et al.* 1998a, 1998b). La fotosíntesi és molt sensible a temperatures supra-òptimes i sovint és el primer procés metabòlic afectat (Huang *et al.* 1998a i 1998b; Huang i Gao 2000; Paulsen 1994). En general, es pot detectar per l'àrea foliar, el color i l'eficiència fotoquímica ja que condicionen la capacitat fotosintètica. El NDVI i el PRI es correspondrien amb el color i l'activitat fotosintètica respectivament (veure capítol 2).

Els mecanismes d'evitació i tolerància a l'estrès per sequera són els més interessants a potenciar en la selecció d'espècies de gespa o altres plantes de jardí, perquè permeten que es mantingui la qualitat ornamental estalviant aigua (Brian *et al.* 1981; Duncan i Carrow 1999; Harivandi 1998; Savé 2009).

En l'evasió a la sequera, les plantes regulen la presència en èpoques d'estrès, controlant la germinació amb la dormició de les llavors, dispositius morfològics o mida petita que facilitin enterrar-se a certa profunditat. Finalment mecanismes de regulació del creixement actiu de la planta, com la floració dependent de les condicions ambientals.

L'evitació a la sequera s'aconsegueix conservant el potencial hídric dels teixits elevat, és a dir, la turgència durant el període d'alta demanda evaporativa o de dèficit d'aigua al sòl (Jones *et al.* 1981). Aquests mecanismes permeten estalviar aigua o evitar perdre-la per evaporació i/o mantenir l'absorció d'aigua per les arrels.

Alguns dels mecanismes per disminuir la transpiració són: (a) la baixa densitat d'estomes, la localització majoritàriament al revers de la fulla, el tancament respecte al potencial hídric foliar (Carrow 1995); (b) la reducció de la superfície evaporativa amb l'abscisió foliar, obtenint més part subterrània en relació a la part aèria (Werner *et al.* 1999); (c) l'orientació de les fulles paral·lela als raigs solars o l'enrotllament foliar reversible (Abernethy *et al.* 1998; Pugnaire *et al.* 1996) o fins i tot, en les espècies C_4 (d) la presència de determinats pigments foliaris (verd clar), que els permetria reflectir energia en les longituds d'ona del visible, de manera que s'escalfarien menys i disminuiria la transpiració (Feldhake *et al.* 1983); (e) la presència de pèls i tricomes, que al ser blancs, també reflecteixen la llum i a més, mantenen la capa límit, o capa d'aire estacionària en contacte amb la fulla, més humida davant els efectes assecants del vent.

Finalment, les respostes a l'estrès hídric a les arrels: increment de l'absorció del recurs limitant mitjançant modificacions a les arrels: augmentar la profunditat a la què arriben (Spollen *et al.* 2000) o la permeabilitat gràcies a l'augment de pèls radiculars (Qian *et al.* 1997; Volaire *et al.* 1998; Figura 3.1), increment de l'eficiència en l'ús de l'aigua (Reich *et al.* 1997), reducció del moviment d'ions i d'absorció de nutrients (Ryan *et al.* 1996). L'ús més eficient de l'aigua i l'augment d'arrels en profunditat permet explorar el sòl per aigua i nutrients (Jordan *et al.* 2003; McCann i Huang 2008).

També la capacitat de reproducció vegetativa per estolons, que permet a la planta filla hidratar-se a través de l'estoló de la mare fins que aconsegueix un sistema radicular desenvolupat.

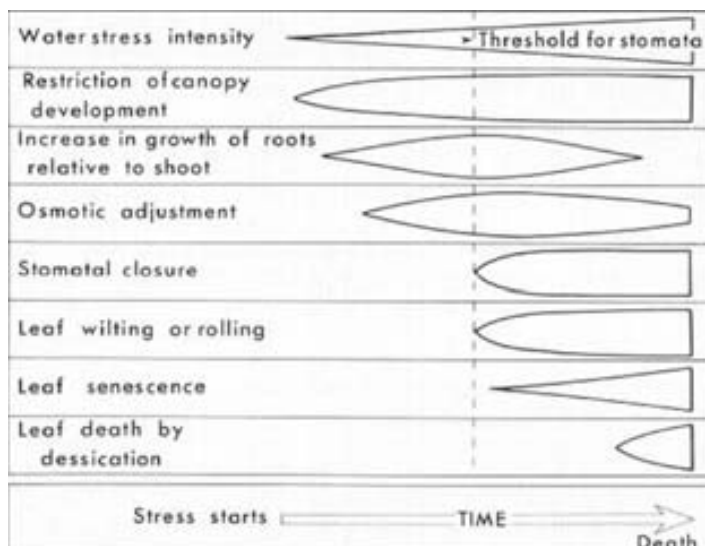
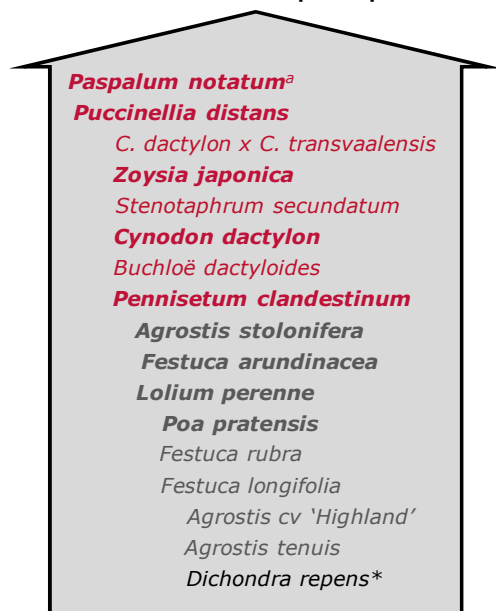


Figura 3.1 Respostes de les plantes d'acord amb el desenvolupament gradual de l'estrès hídric. (Bradford i Hsiao 1982).

La tolerància al baix potencial hídric dels teixits és a nivell cel·lular i molecular mitjançant l'ajust osmòtic i l'elàstic (Jones *et al.* 1981). El primer s'aconsegueix amb la síntesi o acumulació de substàncies osmòticament actives, i el segon depèn de l'elasticitat de la paret cel·lular. Que permet a les cèl·lules retenir més aigua a la nit i transpirar-la de dia, abans d'arribar a la pèrdua de turgència. De manera que el potencial hídric de la planta es pot fer més baix que el del sòl però mantenint la turgència (Lambers *et*

al. 2008; Ngugi *et al.* 2003). En clima mediterrani de Califòrnia es van classificar experimentalment cespitoses en funció de la tolerància a la sequera (Taula 3.1; Casler 2006; Harivandi 1998).

Tolerància a l'estès per sequera



Taula 3.1 Espècies de gespa segons la tolerància relativa a l'estrès per sequera (Harivandi 1998).

^a En negreta les espècies utilitzades a l'assaig. Les menys tolerants són les C₃, en gris; en vermell, les C₄.

^b El diferent nivell serveix per indicar les espècies que estan dins el mateix ordre. Així es considera per exemple que *C. dactylon x C. transvaalensis* és igual de tolerant a la sequera que *Z. japonica*.

* *Dichondra* no és una gramínia però també s'utilitza com a entapissant.

Una **qualitat** baixa a l'estiu es podria relacionar amb una disminució de la disponibilitat d'hidrats de carboni a causa de l'increment de la taxa de respiració i la reducció de la capacitat fotosintètica (Huang *et al.* 1998a; Huang i Gao 2000; Liu i Huang 2001; Paulsen 1994; Xu i Huang 2003). La qualitat, basada en l'escala 0-9 NTEP *National Turfgrass Evaluation Procedures* s'utilitza per determinar la qualitat de la gespa i la resposta de les varietats a diferents tractaments experimentals (Morris i Shearman 2000), és una integració de cobertura i color, ja que el verd indica nivells elevats de pigments i de nitrogen, i en conseqüència la possibilitat de taxes de creixement elevades (Garling i Bohem 2001). Si s'accepta reduir la qualitat per un període de temps, l'augment de la resistència a la sequera de les espècies possibilita reduir el consum anual d'aigua. Tot i que, les que tenen un potencial de resistència a la sequera elevat poden tenir també una alta taxa de consum d'aigua quan és disponible (Brian *et al.* 1981).

L'alçada de tall i la densitat de la coberta cespitosa poden ser decisius en esports on la pilota i els jugadors estan en contacte amb la gespa. En camps de golf, a més serveix per delimitar les zones de joc. La **producció** indica la taxa de creixement de la gespa i és un dels criteris de millora de varietats ja que condiciona la quantitat de segues, i al seu torn, el cost del manteniment (Richardson 2004). En general, una sega baixa augmenta la densitat de tiges i pot disminuir la biomassa d'arrels, per tant, repercutir en la producció ja que queda menys superfície fotosintetitzadora i respiratòria per planta. També pot afavorir la mobilització de recursos de les arrels cap a la part aèria, per reposar ràpidament la biomassa aèria extreta (Beard 1973; Beard i Daniel 1965; Brian *et al.* 1981; Hull 1987; Krans i Beard 1985; Lambers 1985; Salaiz *et al.* 1995).

Les **arrels** de gespa sovint es concentren a les porcions superiors del perfil del sòl i depenen de la freqüència de precipitació i de reg per evitar l'estrès per sequera (Beard 1973; Lehman i Engelke 1991). En gespes, l'evitació i la resistència a la sequera s'han correlacionat positivament amb la densitat d'arrels i la profunditat a la què arriben, i són característiques més importants que la producció total d'arrels (Hays *et al.* 1991; Gallardo *et al.* 1996; Levitt 1980; Marcum *et al.* 1995; Qian *et al.* 1997; Shi *et al.* 2007). La biomassa disminueix amb segues baixes, la maduresa de la planta i estressos ambientals com la poca oxigenació del sòl (Jordan *et al.* 2003; Madison 1962; Stenike i Stier 2003). En la producció d'arrels també hi influeix la longitud específica de les arrels (Eissenstat 1991).

A nivell de gespes i prats de pastura té molt interès el control de les **males herbes** (Busey 2005). En una gespa, són les plantes d'altres espècies que per diferent textura i tonalitat de color en disminueixen la qualitat (Masin *et al.* 2006; Morris i Shearman 2000; entre altres). A part dels tractaments químics, es pot incidir a llarg termini amb les pràctiques culturals: la dosi i la freqüència de reg, l'alçada i la freqüència de sega, la fertilització, seleccionant espècies de gespa per la capacitat competidora o al·lelopàtica, el període i la densitat de llavor de sembra, etc. (Busey 2005). *Digitaria sanguinalis* i *Poa annua* dominen entre les males herbes en els nostres camps de golf, gramínies C_4 i C_3 respectivament (Creus, comunicació personal). A l'estiu, la primera és problemàtica al clima mediterrani i subtropical; i a l'hivern *P. annua*, també en clima temperat o atlàntic (Bell *et al.* 1999; Kaminski i Dernoeden 2007; Masin *et al.* 2006).

El **pes específic foliar** (SLW) indica el nivell de xeromorfisme de la planta. A més, pot condicionar els resultats d'altres paràmetres com les mesures de l'SPAD (Yamamoto *et al.* 2002) sobretot si es comparen espècies. El **contingut relatiu d'aigua foliar** *Relative Water Content* (RWC), la quantitat d'aigua de la vegetació respecte la màxima que podria tenir, i és un indicador de l'estat hídric en què la fulla s'ha desenvolupat (Pearcy *et al.* 1989). Els dos són paràmetres senzills però laboriosos. Per l'anàlisi del **contingut relatiu de clorofil·les totals** en unitats SPAD i l'**eficiència fotoquímica màxima del fotosistema II** (Fv/Fm), fluorescència de la clorofil·la variable / fluorescència màxima, s'utilitzen aparells cars que mesuren parts de fulles (amb l'aparell de fluorescència utilitzat). Però per a determinar la qualitat d'una gespa interessa més la mesura de la superfície que, per exemple, es pot obtenir amb **espectroradiòmetres i càmeres digitals**. Es tracta d'informació a escales diferents (Richardson *et al.* 2001). El creixement basal de les frondes, implica que l'àpex conté el teixit més madur i amb més clorofil·la (Davidson i Milthorpe 1966; Kemp 1980). Una coberta és una mescla de fulles amb diferents orientacions, que a més, canvien amb el desenvolupament de la planta i com a resposta a les condicions ambientals. A la gespa, les fotografies zenitals capten les "cicatris de fulles per la sega", més o menys limbe depenent de l'angle d'inclinació de les frondes i la cobertura de la gespa (American Society for Testing and Materials 1989).

Els paràmetres que avaluen la clorofil·la i l'estat hídric de les plantes es correlacionen amb els índexs espectroradiomètrics de vegetació. Sobretot si es considera més d'una regió de l'espectre, de dues i fins a cinc, des dels 660 nm fins a 1480 nm s'ajusten amb la qualitat i la senescència foliar (Jiang i Carrow 2007). Així, el NDVI depèn de l'SPAD, el color (escala 1-10) i la $T_c - T_a$ (temperatura de la coberta vegetal menys l'ambiental). El PRI depèn del color, el potencial hídric de fulla i el contingut hídric dels teixits. El *Water Band Index* ($WBI = R_{910}/R_{970}$), semblant al WI, depèn de: l'SPAD, el contingut hídric del sòl, la concentració de nitrogen dels teixits i la relació evapotranspiració real respecte a la potencial (Baghzouz *et al.* 2006).

La correlació positiva entre **qualitat** i **NDVI** s'atribueix a què el primer és una integració de la cobertura i bon aspecte de la vegetació, i el NDVI mesura la superfície verda activa fotosintèticament (Bell *et al.* 2002; Morris i Shearman 2000; veure capítol 2).

El **contingut relatiu de clorofil·les** i el **NDVI** mesuren la tonalitat de verd i la capacitat fotosintètica. Unitats d'SPAD baixes indiquen fulles cloròtiques, que implica plantes poc actives i valors baixos de NDVI. En canvi, nivells baixos de NDVI però alts de contingut relatiu de clorofil·les denoten fulles velles, verd - blavoses (Peñuelas *et al.* 1995). La proporció de llum no reflectida és absorbida per la planta, ja que en les cobertes denses de gespa madura, la fracció atribuïble a la transmittància és negligible (Trenholm *et al.* 1999b). L'SPAD mesura una àrea de 0.06 cm^2 d'una fulla i calcula l'índex basat en l'absorbància a 650 nm i 940 nm (Adamsen *et al.* 1999; Babar *et al.* 2006; Francis i Piekielek 1999; Richardson *et al.* 2002). En canvi, hem utilitzat un capçal de 113 cm^2 d'àrea de mesura de l'espectroradiometria d'una coberta vegetal i l'índex NDVI, la reflectància al voltant de 680 i 770 nm. En

els dos aparells, les longituds d'ona corresponen a la regió de l'espectre del vermell i l'infraroig respectivament.

L'índex d'àrea foliar (LAI) afecta a la reflectància de la vegetació i es correlaciona amb la **cobertura**, i al seu torn amb la **producció**, fins que la coberta esdevé "tancada" ($LAI \geq 1$) (Mannetje 2000). El pendent positiu entre la producció i el **NDVI** indica que l'índex augmenta amb la vegetació verda i activa, en creixement.

El sentit de la correlació entre el **PRI** i el **contingut relatiu de clorofil·les**, és que a més clorofil·les, la planta pot utilitzar una proporció més alta de la radiació fotosintèticament activa que rep. El PRI és més elevat quant més eficient en aprofitar aquesta radiació és la planta. Però pot estar afectat pel quocient carotens / clorofil·les (Gamon *et al.* 2001; Sims i Gamon 2002; Stylinski *et al.* 2002). L'SPAD es basa en aquest quocient per estimar el contingut relatiu de clorofil·les, ja que tendeixen a degradar-se més ràpidament que els carotens en condicions d'estrès (Gitelson i Merzlyak 1994; Merzlyak *et al.* 1999).

Les plantes s'adapten de manera dinàmica a l'activitat fotosintètica d'acord amb les condicions ambientals abans de realitzar canvis significatius en la composició de pigments o l'estructura de la coberta (Hilker *et al.* 2008). La mesura de la fluorescència de la clorofil·la pot indicar la funcionalitat de l'aparell fotosintètic (Baker 2008). Els fotons de la regió del visible (400 – 700 nm) són absorbits en bona part pels pigments foliars. L'energia que no s'utilitza per la fotosíntesi, es dissipa en forma de calor o és reemesa com a fluorescència de la clorofil·la. La fluorescència és la llum de longitud d'ona més llarga que la necessària per excitació i representa només el 2-3% de la reflectància de la fulla en les regions de l'espectre vermell i IR (Zarco-Tejada *et al.* 2003). La correlació entre la **Fv/Fm** amb el **PRI** reflecteix que els dos paràmetres mesuren la quantitat de radiació desaproveitada per la fulla. Són índexs que tenen en compte les zones 680 – 690 nm i 720 – 740 nm, que corresponen a les bandes d'emissió dels fotosistemes II i I, P_{680} i P_{700} respectivament (Gamon *et al.* 1990). El PRI varia amb les condicions fisiològiques, ambientals i estacionals en les que es desenvolupa la planta (Filella *et al.* 2004 i 2009). Però també entre espècies amb la mateixa capacitat fotosintètica (Guo i Troter 2004; Methy 2000). A més dels dos índexs espectralradiomètrics anteriors, avaluarem el WI, Chla/b, NPQI, NPCI i SIPI, bàsicament en relació amb l'SPAD i el Fv/Fm (veure capítol 2).

A partir de les justificacions anteriors també els índexs derivats de fotografies es poden correlacionar amb els espectralradiomètrics, amb la qualitat que els dos tenen en compte superfícies. Però amb algunes consideracions. L'amplada de l'espectre, les càmeres fotogràfiques registren en principi només la regió del visible. El primer però es basa en la intensitat de la radiació reflexada i el segon amb la reflectància. La càmera capta la intensitat de radiació reflexada en cada color RGB, sense normalitzar per la intensitat en la radiació incident. En l'espectroradiòmetre es medeix reflectància, la radiació reflexada respecte la radiació incident (que es mesura en els controls, blanc; veure capítol 2). Finalment també, les càmeres digitals registren pixels, amb informació independent d'una imatge, mentre que amb l'espectroradiòmetre que utilitzem, obtenim la reflectància en un rang més o menys gran de longituds d'ona però d'una àrea de mesura concreta amb independència de l'escala que s'utilitzi (Casadesús *et al.* 2005).

Dins els índexs derivats de fotografies destaquem l'**angle de tonalitat de color** (H), per la quantitat d'estudis en què s'ha utilitzat. Per exemple a Landschoot i Marcino (2000) és menys sensible que la **qualitat** però més consistent entre avaluadors, independentment de l'experiència i el temps. Tot i que l'H indiqui qualitat elevada, en alguns casos l'avaluador ho percep com a deficient perquè considera a més, altres paràmetres: la densitat, la textura, l'hàbit de creixement i la brillantor de les fulles de la coberta cespitosa.

3.2 OBJECTIUS

Els objectius se centren en avaluar l'eficiència en l'ús de l'aigua d'espècies de gespa que s'utilitzen en espais verds de clima mediterrani. Estudiar el comportament anual de les espècies i comparar mètodes de base ecofisiològica per avaluar la qualitat de les gespes de manera objectiva. Davant dels resultats obtinguts al primer any es planteja una segona sembra per aprofundir en el coneixement de les espècies que s'han mostrat viables amb mínimes pràctiques culturals.

3.3 MATERIAL I MÈTODES

L'assaig va consistir en dues sembres: la primera, entre l'abril 2003 i el març del 2004; i la segona, entre l'abril 2004 i el gener del 2006. Es va realitzar en les instal·lacions de l'IRTA a Cabriels, Barcelona (41° 25' N, 2° 23' E) a 82 m d'altitud, en una parcel·la de 720 m². El sòl de zona té una textura franc - arenosa (73 % de sorres, 15 % de llims, 12 % d'argiles), a la què s'hi va incorporar 3 cm de terra vegetal en superfície durant la sembra.

3.3.1 Disseny experimental

Per la primera sembra, el disseny experimental va ser un *split-plot* amb el reg com a factor principal i l'espècie, el secundari. Tres dosis de reg: alta, mitjana i baixa respecte l'ET₀ (Taula 3.1). S'establiren tres blocs (Fotografia 3.1). Les nou parcel·les de 67.5 m² estaven separades per 0.5 m amb grava, i es regaven per aspersió.



Fotografia 3.1 Vista general de les parcel·les al juny.
S'indica les dosis del tractament de reg: alta, mitja i baixa. A sota, **detall de les subparcel·les** de les espècies i la caseta amb el programador de reg.

Pel factor secundari, cada una de les parcel·les del factor principal es va subdividir en dotze, de 2.5 x 2.25 m. Cada una contenia una espècie de gespa, distribuïdes a l'atzar i sense separació (Fotografia 3.1). Concretament, nou subparcel·les mono-específiques, dues amb mesclures d'espècies i una sense sembrar. En total, 99 unitats experimentals: 3 dosis de reg x 11 gespes x 3 rèpliques.

En la segona sembra, es van utilitzar 6 parcel·les de 67.5 m², separades per 0.5 m de grava. El factor principal va ser igualment el reg i el secundari, les espècies. Les parcel·les es van subdividir en quatre de 3 x 5 m amb tires de malla polipropilè de 0.25 m, per confinar les espècies. Finament, dues rèpliques de combinació de tractaments, dos blocs. En total, 24 unitats experimentals: 3 dosis de reg x 4 espècies x 2 rèpliques.

3.3.2 Sembra i pràctiques culturals

En la primera sembra es van utilitzar les espècies que apareixen a la taula 3.2. En la segona, només: *A. stolonifera*, *F. arundinacea*, *C. dactylon* i *P. clandestinum* (descrites al capítol 2).

Les densitats de llavor van ser les proposades pels proveïdors (Taula 3.2). Les mescles eren a 1/3 de la quantitat recomanada per cada espècie en monocultiu, *F. arundinacea* + *P. pratensis* + *L. perenne* i *C. dactylon* + *P. notatum* + *P. distans*.

Taula 3.2 Dosi de sembra

Espècie	g m ⁻²	nº llavors g ⁻¹
<i>Agrostis stolonifera</i> L.	10	15000
<i>Cynodon dactylon</i> L.	10	3000
<i>Festuca arundinacea</i> Schreber.	50	450
<i>Lolium perenne</i> L.	40	750
<i>Paspalum notatum</i> L.	40	440
<i>Pennisetum clandestinum</i> Hochst.	10	430
<i>Poa pratensis</i> L.	15	3000
<i>Puccinellia distans</i> , Parl.	9	4000
<i>Zoysia japonica</i> , Steud.	10	2200

Equiparant-ho al manteniment en un parc públic, es realitzaren unes mínimes pràctiques culturals, els punxats, escarificats, etc. no van ser necessaris (Turgeon 2006). Es va utilitzar una segadora rotativa tallant a 3 cm d'alçada; a l'hivern, quinzenalment i la resta de l'any, setmanalment.

Es va aplicar adob d'alliberació lenta granulat, amb IBDU (Isobutidin diurea), a la primavera 200 kg ha⁻¹ (20 N – 5 P₂O₅ – 8 K₂O); i a la tardor, 400 kg ha⁻¹ (15 N – 9 P₂O₅ – 15 K₂O). En la segona sembra, els dies 04/10/04, 28/04/05 i 30/09/05; a 400 kg ha⁻¹. Els dies 21/05/2003, 7/08/2003 i 24/02/2004, es va aplicar herbicida de contacte selectiu de dicotiledònies. Format per sals amines: 2,4 D, MCPA i Dicamba a 296, 265 i 100 g l⁻¹ respectivament i a la dosi de 0.8 l ha⁻¹. En la segona sembra es va aplicar l'herbicida al 10/06/2004.

3.3.3 Dosi de reg

Es va calcular la dosi de reg a partir de l'ETo mitjana mensual, entre el 1987 i el 2002 de l'estació meteorològica a 10 m de l'assaig (Figura 3.2a; veure capítol 2). Sis aspersors per parcel·la es gestionaven amb un programador. Quatre aspersors de 90° d'obertura als extrems i dos de 180° (Hunter PGM Rotatory Sprinklers amb cabal de 230 L hora⁻¹ i Hunter mode Pro-C Controllers).

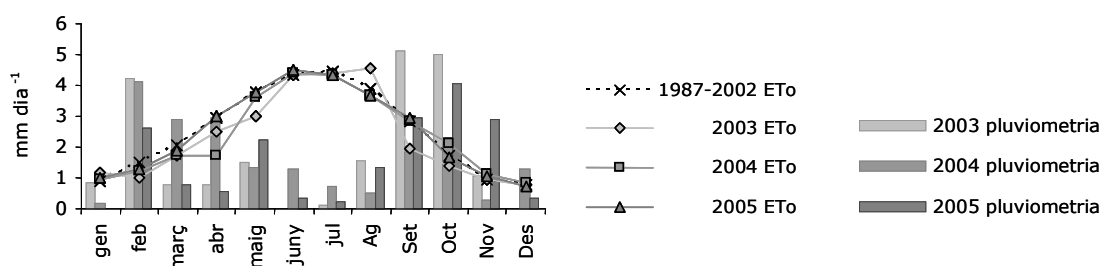
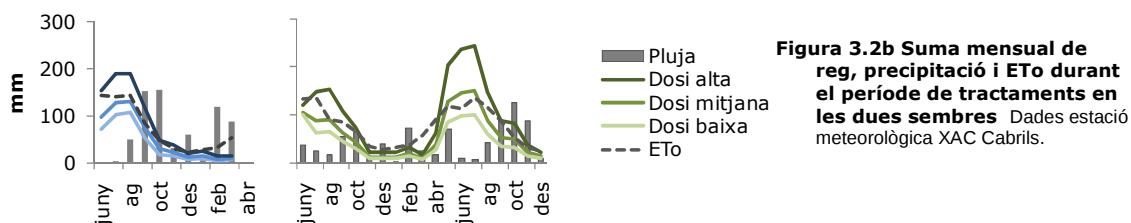


Figura 3.2a Mitjana mensual de la precipitació i l'evapotranspiració de referència, ETo (Estació meteorològica XAC a Cabriels). Càlcul de la ETo segons l'equació Penman – Monteith. Es mostren els tres anys sencers però els assajos van ser de l'abril del 2003 a abril del 2004 i de maig de 2004 a gener del 2006. Comparar amb la taula 3.3

L'ETo es va corregir amb el coeficient de cultiu 0.8 tot l'any tant per les C₃ i les C₄, ja que no es distingia el reg segons les espècies (Costello *et al.* 1991). Es va afegir el coeficient d'eficiència de reg per aspersió. La prova d'uniformitat del reg, coeficient de Christiansen era del 75 % (Burt *et al.* 1997). El reg s'aplicava a primera hora del matí, quan la temperatura, l'ETo i la velocitat del vent eren inferiors i la uniformitat del reg podia ser més alta. A les 7 h solar es registra 1 m s⁻¹, velocitat que va augmentant fins al migdia, quan supera els 2 m s⁻¹ i torna a ser mínima a les 19h. (Mitjanes des del 1987 al 2002 de l'estació meteorològica a Cabriels, XAC).

Sis setmanes després de la sembra, s'aportava 4.9, 3.0 i 1.9 mm dia⁻¹ segons el tractament: dosi alta, mitjana i baixa de la ETo (Figura 3.2b). En la segona sembra, al 22 de juny es va iniciar el tractament de reg. La quantitat aportada era de 5.1, 3.0 i 2.2 mm dia⁻¹ respectivament al 2004 però de maig a juliol del 2005 va ser 7.8, 4.9 i 3.2 mm dia⁻¹.

Es va concentrar el reg per afavorir el creixement de les arrels en profunditat (Ervin i Kroski 1998; Madison i Hagan 1962). S'aplicava la mateixa dosi d'aigua per tractament durant l'any, però la freqüència disminuïa en èpoques de demanda evaporativa inferior. Així, a l'estiu totes les parcel·les es regaven diàriament; al setembre, quatre dies a la setmana i al desembre només un (Taula 3.4). Per l'assaig del 2004 – 2006 la freqüència va ser equivalent.



La ETo de l'agost del 2003 va ser un 25% superior a la mitjana del període que es disposa de dades meteorològiques, mentre que un 26% inferior al setembre (Figura 3.2). Així, el reg es va adaptar a la meteorologia durant l'assaig (Taula 3.4). L'ETo va ser semblant al 2004 i 2005. Però el juny i el juliol del 2004, va ploure un 73% més que al 2005. Fet que es nota en el dèficit de pressió de vapor (Figura 3.3 esquerra). Destaquem que l'hivern del 2005 va glaçar i el nombre d'hores de fred era superior als dos anys anteriors (Figura 3.3 dreta). L'aigua de reg era de pou i la composició no variava remarcablement en els anàlisis periòdics (Taula 3.5).

Taula 3.4 Freqüència de reg a la primera sembra

		Dilluns	Dimarts	Dimecres	Dijous	Divendres	Dissabte	Diumenge
2003	Jun							
	Jul							
	Ag				1*			
	Set							
	Oct					2*		
	Nov							
	Des							
2004	Gen							
	Feb							
	Mar							
	Abr							

Les cel·les ombrejades indiquen els dies de reg.

* Els números indiquen les modificacions al programa de reg establert a l'inici de l'assaig a causa de variacions de les condicions meteorològiques de la temporada 2003-2004 respecte a la mitjana dels últims 15 anys a l'estació meteorològica de Cabrils (Figura 3.1)

(1) ETo superior a la mitjana històrica (Figura 3.2), es decideix regar cada dia tot i que a l'agost, segons la planificació inicial indicava 6 dies/setmana

(2) Al Setembre i Octubre la ETo és inferior a la mitjana històrica (Figura 3.1). Per aquest motiu a l'octubre es disminueix la freqüència de reg, de tres a dos dies per setmana.

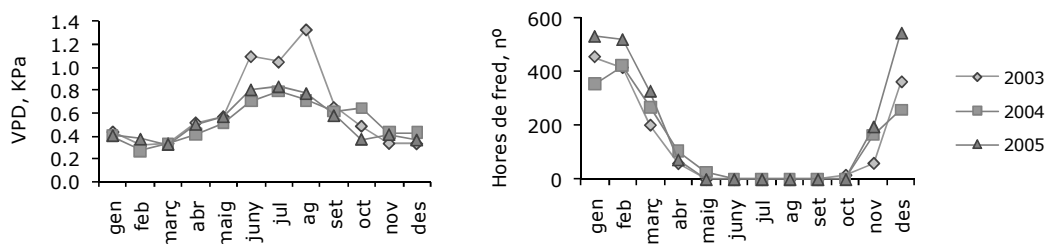


Figura 3.3a Mitjana mensual del dèficit de pressió de vapor, VPD (esquerra). Suma mensual d'hores de fred, temperatura inferior a 10 °C. (dreta) (Estació meteorològica XAC Cabrils).

Taula 3.5 Anàlisi de l'aigua de reg. Mostres del 25 d'abril del 2003.

	meq/L		meq/L	
Carbonats	0.00	Na ⁺	2.00	pH = 7.51
Bicarbonats	5.85	K ⁺	0.07	CE (a 25 °C) = 1.18 dS m ⁻¹
Sulfats	3.55	Ca ²⁺	2.26	
Nitrats	0.77	Mg ²⁺	1.73	
Clorurs	2.82	P	0.04	
		NH ₄ ⁺	<0.10	

3.3.4 Mesures

Es va mesurar el **pH** i la **Conductivitat Elèctrica (CE) del sòl** al juny i a l'agost del 2003, com a punts de referència de l'inici i final del període sec. Les mostres es prenen de cada espècie i tractament amb una sonda de 2.5 cm de diàmetre. La mostra es dividia en tres fraccions de 10 cm (Fotografia 3.2; Porta 1986).

El **potencial matricial del sòl** es mesurava amb tensiòmetres de matriu granulosa *watermark* (model SEN-W5SS, *Irrrometer*) enterrats a 15 cm de profunditat i registraven cada 15 minuts. En la primera sembra, al 20 de juliol se'n va col·locar un per tractament de reg a les parcel·les de *P. clandestinum* i *F. arundinacea*. En la segona sembra a l'abril del 2005, se'n va situar un per espècie i tractament (veure capítol 2).

**Fotografia 3.2 Sonda amb la mostra de sòl.**

Per la **producció** es van utilitzar unes cisalles manuals i elèctriques (SP45 Outils Wolf, França) (Salehi i Khosh-Khui 2004). Les mostres s'extreien just abans de la sega setmanal, a l'alçada de tall de la segadora. Aquest nivell no afecta al borró de creixement ni condiona de creixement de la planta, fet que impediria tornar a mostrejar en aquell punt en un futur pròxim (Mannetje 2000). L'alçada s'aconsegueix utilitzant una reixa amb potes de 3 cm, per recolzar-hi les cisalles. La reixa és de 2 cm de llum per evitar que les fulles es dobleguin a sota. L'àrea de mostreig era de 15 x 33 cm. Les mostres es van assecar a 60°C durant 48h en una estufa amb flux d'aire i després es van pesar (Scaltec SBA3, d = 0.0001g). L'expressem en relació al temps des de l'última sega (g m⁻² dia⁻¹). De manera equivalent es va mesurar la **biomassa** amb una sega rasa.

Es va realitzar una mesura de la **biomassa de les arrels** a l'agost del 2005, des de la superfície del sòl fins a 30 cm de profunditat en fraccions de 10 cm. Per la **densitat d'arrels** (*Root length density*, RLD, g m⁻¹ cm⁻¹) es van separar de les mostres de sòl amb l'ajuda d'un sedàs i aigua; i se'n va mesurar la longitud amb un digitalitzador d'imatges (DIAS, Delta – T Devices, UK) (Jordan *et al.* 2003; Tagliavini *et al.* 1993).

Mensualment s'obtenia el **RWC de fulles verdes** (%), una mesura per espècie, tractament i repetició. A més, es va realitzar una mesura del **RWC de fulles seques** a l'hivern per obtenir el valor mínim per espècie. Pel càlcul del RWC es necessita conèixer els valors de pes de les fulles en tres moments: fresca, saturada i seca (Pearcy *et al.* 1989). Es va utilitzar una balança de precisió (Scaltec SBA3, d = 0.0001g), tubs d'assaig de 10 ml de capacitat i taps. Per obtenir les fulles a saturació es col·loquen dins els tubs amb aigua 24h a 4°C i fosc. El pes sec de la mostra es mesura després de deixar les fulles durant 48h a l'estufa a 60 °C amb flux d'aire.

Pel SLW, mg cm⁻², en el laboratori s'obté l'àrea foliar de la mostra amb un mesurador d'àrees (*Area Meter* AM200 ADC, UK) (Tagliavini *et al.* 1993) i es mesura el pes sec, 48h a 60°C amb flux d'aire. Es va prendre una mostra per espècie, tractament i repetició. El **contingut relatiu de clorofil·les totals** es va obtenir mitjançant l'*SPAD Soil Plant Analysis Development* (Chlorophyll Meter SPAD 502, Minolta corp. New Jersey, EUA). Es van prendre 5 mesures per espècie, tractament i repetició, igual que per

l'eficiència fotoquímica màxima del fotosistema II (Chapman i Barreto 1997). Fluorímetre (*Plant Efficiency Analyser*, Hansateh Instruments Ltd. UK) a $\lambda = 650 \text{ nm}$, $3000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, corresponent a una intensitat de radiació de $2700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Baker 2008; Maxwell i Johnson 2000; Pearcy *et al.* 1989).

La **cobertura de les parcel·les** es va registrar visualment a camp dues vegades al mes. S'avaluava el percentatge de l'espècie de gespa corresponent, de males herbes i sòl nu o vegetació seca (Olmstead *et al.* 2004). En la segona sembra es va analitzar cobertura de les parcel·les mitjançant transsectes (Molloy i Moran 1991). Es traçaven dos transsectes a 0.5 m del marge de cada subparcel·la d'espècie i tractament. Cada 30 cm s'anotava la presència de l'espècie, males herbes o sòl nu. Per tal de ser més objectius en les mesures de la **qualitat visual**, quizenalment fotografiaven amb una càmera digital (Fujifilm FinePix 6900 Zoom, Japan). Les imatges es prenen des de punts panoràmics per incloure les parcel·les senceres, a 5m d'alçada i una 10m de distància. Al final de l'assaig, es van analitzar totes les fotografies segons l'escala de valors discrets del 0 al 9 de qualitat d'una gespa; el 0 indica que es troba senescent o morta; el 9, perfecte estat; i el 6, que és acceptable per un jardí privat d'una casa. L'avaluador fa una mitjana de diferents paràmetres com: la densitat, la cobertura, la textura, la tolerància a la sequera, la dormància hivernal, el trepig, l'acumulació de feltre i el color genètic (Bell *et al.* 2002). Com a color genètic s'entén el color inherent del genotip. La planta el mostra quan es troba en creixement actiu i sense condicions d'estrès. Dels paràmetres que intervenen en aquest índex, el color és considerat el més important i és un dels millors indicadors de l'estat ornamental i fitosanitari (Beard 1973; Cooper i Spokas 1991; Garling i Boehm 2001). Els **índexs espectralradiomètrics i de fotografies digitals** es descriuen al capítol 2. Amb l'espectralradiòmetre es van mesurar tres punts en cada subparcel·la (espècie – reg – repetició). I es prenia una fotografia zenital de cada subparcel·la. Les diferents mesures es realitzaven als mateixos dies per poder correlacionar els resultats.

3.3.5 Anàlisi estadística

L'efecte dels diferents paràmetres es va estudiar mitjançant l'anàlisi de la variància (ANOVA), utilitzant el PROC GLM del programa estadístic *SAS System for Windows* (versió 9.0 SAS Institute Inc. Cary, USA). En la qualitat i la cobertura, es va realitzar un anàlisi ANOVA per a mesures repetides en el temps (RANOVA). Quan hi havia diferències entre els factors, nivell de significació $\alpha = 0.05$, es va realitzar les proves de comparació múltiple o proves a posteriori: el test de Duncan i per les interaccions, la separació de mitjanes *LS Means*.

La cobertura de les parcel·les i l'àrea verda que s'expressen en percentatge es va fer la transformació del valors arc sinus de l'arrel dels valors en tant per u, abans de l'anàlisi estadística. Els resultats es mostren sense transformar per a una millor interpretació (Steel *et al.* 1997).

3.4 RESULTATS

3.4.1 pH, CE i tensió de l'aigua al sòl

En el pH i la CE del sòl no hi va haver diferències significatives entre tractaments de reg a l'estiu del 2003. La mitjana $\pm$ SE pel pH va ser de 7.3 ± 0.3 i per la CE de $0.27 \pm 0.12 \text{ dS m}^{-1}$. La tensió del sòl va ser més alta en els regs deficitaris a l'estiu i el sòl de *Pennisetum clandestinum* es mantenia més humit (Figura 3.4). El tractament de 60% de la ETo, arribava a valors màxims de tensió en les parcel·les de *P. clandestinum* a 60 KPa (Figura 3.5b). Mentre que *Festuca arundinacea* fins a 200 KPa a primers d'agost, la tensió màxima que pot mesurar el sensor.

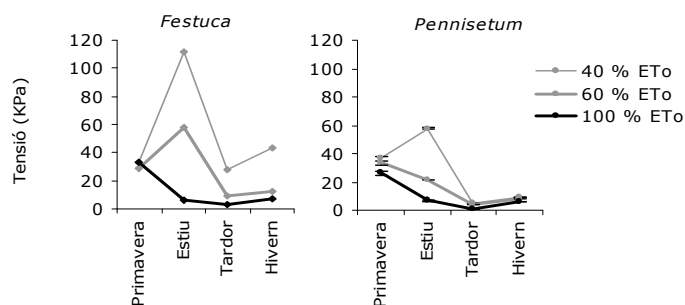


Figura 3.4 Tensió de l'aigua al sòl en parcel·les de *F. arundinacea* i de *P. clandestinum* Sembra del 2003. Les barres verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor, $p \leq 0.05$.

El reg 40% de l'ETo en gespes *F. arundinacea* obtenia una mitjana de 120 KPa i en *P. clandestinum* de 80 KPa, del 15 a 31 de juliol. Però el reg del 40% ETo en *F. arundinacea* generava tensions inferiors als altres tractaments al juliol. A partir del dia 15, la tensió augmentava progressivament, tot i els regs diaris incrementats un 10% (0.5 mm) només el control es mantenia a saturació. El tractament del 40% de l'ETo va sobrepassar el rang de mesura del sensor, el 31 de juliol.

De mitjans de juliol a finals d'agost, es va tornar a augmentar el reg un 20%. El 6 d'agost, després d'un reg abundant, el sòl es va saturar, excepte en *F. arundinacea* 40% que no ho fa fins a la precipitació del 18 d'agost (Figura 3.5). A partir de les pluges de finals d'agost, els tractaments de reg no es diferencien (Figura 3.5a). A principis d'octubre, el de 40% de l'ETo en *F. arundinacea* encara es troba per sobre de 20 KPa. Només els sensors a la gespa de *F. arundinacea* detecten la pluja de 58 mm del 15 d'octubre, en els altres la tensió ja era baixa.

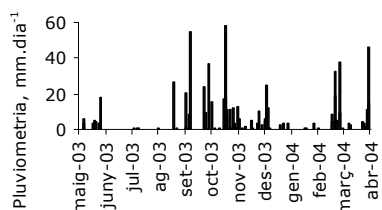


Figura 3.5a Pluviometria diària en la primera sembra. Comparar amb la figura 3.5b.

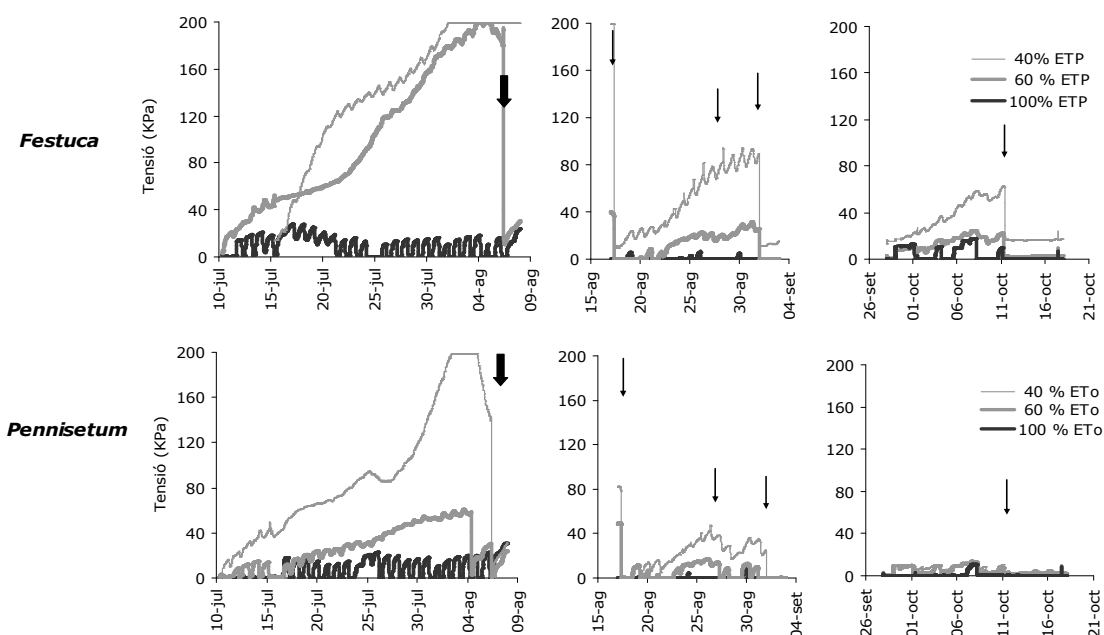


Figura 3.5b Tensió de l'aigua al sòl en parcel·les de *F. arundinacea* i de *P. clandestinum* segons el tractament de reg durant dos períodes d'estiu i un de tardor del 2003. Les fletxes primes indiquen precipitacions i les gruixudes un reg d'11 mm a tots els tractaments. Comparar amb la figura 3.5a.

Al 2005, la tensió de l'aigua al sòl va ser significativament més alta en el reg baix (Taula 3.6). I en general *F. arundinacea* i *P. clandestinum* van presentar una tensió més alta. En *A. stolonifera*, el tractament de reg mitjà va ser proper a saturació (Figura 3.6). Mentre que en *C. dactylon*, la tensió del reg mitjà es va aproximar al reg baix. Excepte en *P. clandestinum*, les precipitacions aconsegueixen saturar el sòl a l'estiu.

Taula 3.6 Evolució de la tensió de l'aigua a 15 cm de profunditat del sòl al 2005.

A la part superior de la taula es mostren les mitjanes de cada nivell de tractament en la tensió de l'aigua al sòl; dosi de reg: baixa, mitjana, alta respecte la ETo; espècie. A la segona part hi ha els valors de p de l'anàlisi de variància segons els blocs per determinar l'efecte dels tractaments.

Factor		Abril 2005	Maig 2005	Juny 2005	Juliol 2005	Agost 2005	Setembre 2005	Octubre 2005	Novembre 2005	Desembre 2005	Gener 2006
Reg											
Dosi baixa	36.5 a*	20.5 a	34.3 a	83.8 a	106.5 a	42.8 a	17.4 a	10.0 a	10.2 a	15.5 a	11.2 a
Dosi mitjana	17.8 b	13.1 b	16.4 b	32.4 b	42.7 b	19.0 b	10.2 b	7.6 b	8.5 b	13.7 b	10.3 a
Dosi alta	6.0 c	4.8 c	4.8 c	4.7 c	3.7 c	4.3 c	4.8 c	5.4 c	6.8 c	11.4 c	8.7 b
Espècie											
<i>A. stolonifera</i>	17.7 c	12.5 b	15.9 bc	27.8 c	40.8 b	22.8	11.7	7.9 b	8.8 a	13.8 b	10.1 a
<i>F. arundinacea</i>	21.0 b	17.7 a	23.5 a	44.6 b	39.4 b	21.8	13.1	8.8 a	9.1 a	17.0 a	11.5 a
<i>C. dactylon</i>	17.5 c	9.2 b	15.1 c	32.8 c	41.4 b	20.2	9.1	8.3 ab	9.5 a	13.3 b	10.6 a
<i>P. clandestinum</i>	24.2 a	11.8 b	19.5 b	55.9 a	82.3 a	23.3	9.3	5.6 c	6.6 b	10.0 c	8.1 b
Model	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Mes	<0.001										
Espècie	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	ns	ns	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Reg	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001
Espècie * Reg	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	ns

* Dins de cada factor i mes les mitjanes seguides de diferent lletra difereixen significativament $p \leq 0.05$.

^{ns} Diferències no significatives per $p > 0.05$.

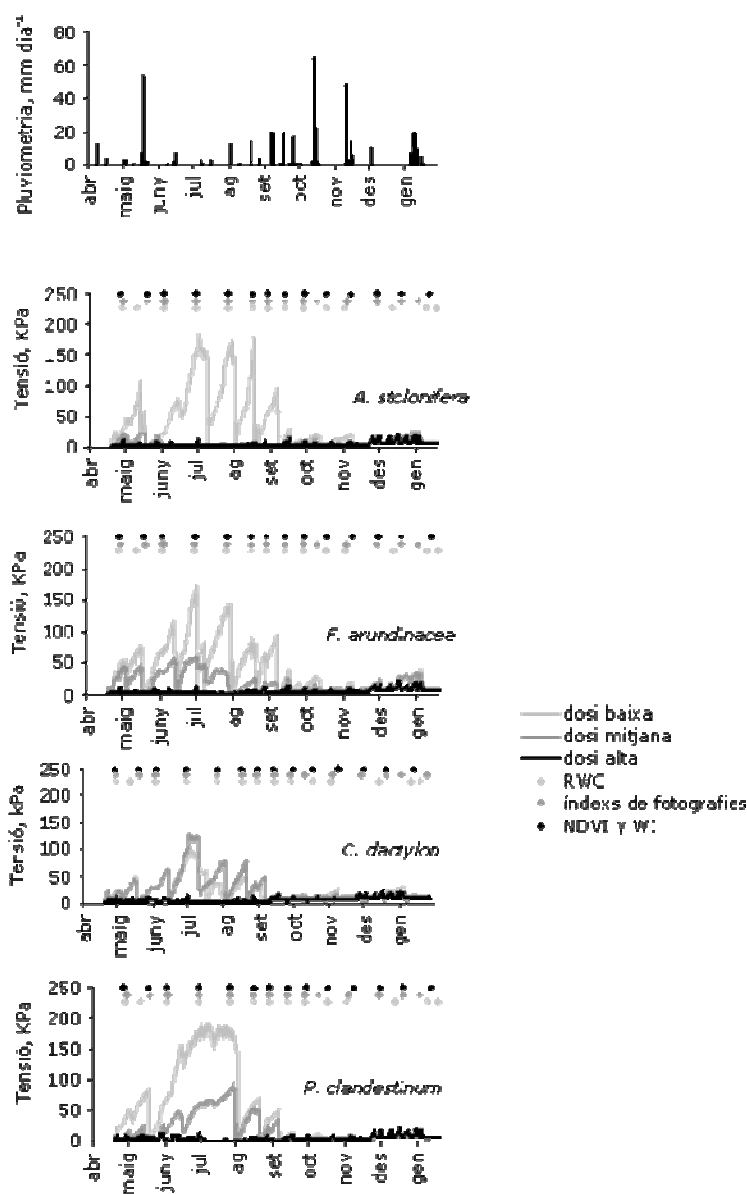


Figura 3.6 Precipitació diària, i tensió de l'aigua al sòl segons la dosi de reg i les espècies al 2005. Els punts indiquen els dies de mesura dels paràmetres.

3.4.2 Qualitat a la primera sembra

La qualitat va ser significativa pel reg a l'estiu (Taula 3.7). De les C₃, *P. pratensis* va mostrar la millor qualitat durant l'any. La mescla *F. arundinacea* + *P. pratensis* + *L. perenne* es va comportar millor que les espècies per separat, gràcies a *P. pratensis* a l'estiu i *F. arundinacea* a l'hivern. En les C₄ la qualitat era similar entre elles i millor que les C₃ a l'estiu, invertint-se la situació a l'hivern.

La baixa qualitat a *P. notatum* a l'agost era per la ressema. *F. arundinacea* i *L. perenne* van ser les més sensibles al reg (Figura 3.7). *A. stolonifera* va ser la única que mantenia la diferència entre els tractaments a l'hivern. Destaca la recuperació de *F. arundinacea* en els tractaments de 40 i 60% de la ETo a la tardor. El 40% de l'ETo de *L. perenne* presentava significativament millor qualitat a la primavera del 2004. Només a l'agost, la qualitat de *P. pratensis* era un 53% inferior en el reg baix que l'alt. *P. distans* després de la davallada estival i hivernal començava a recuperar-se a la primavera.

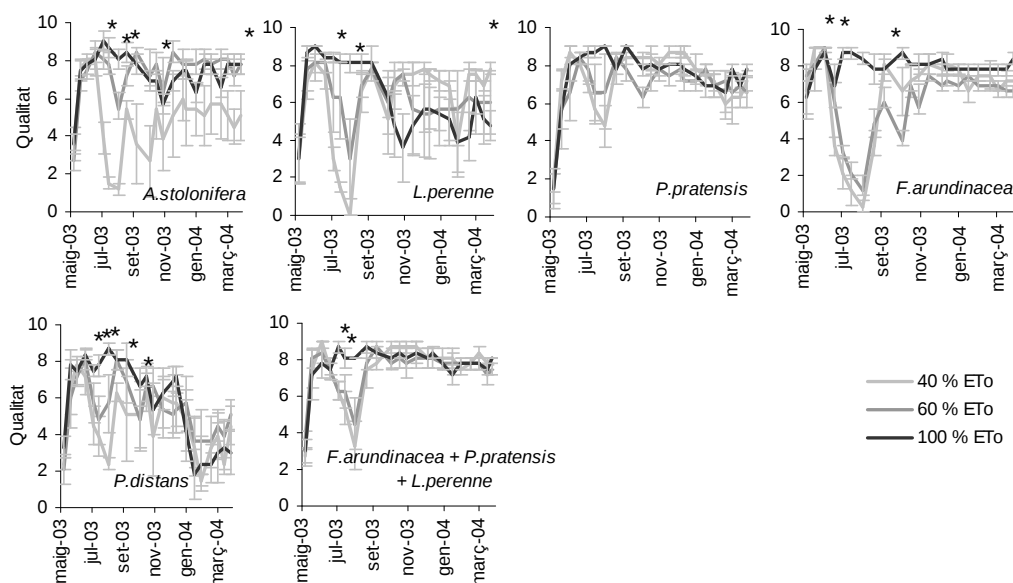
Taula 3.7 Evolució de la qualitat de la gespa en funció dels tractaments de reg a la primera sembra

Els valors de p de l'anàlisi de variància en mesures repetides per determinar l'efecte dels tractaments amb el temps. Dia de mesura, dosi de reg (R), espècie (E) i bloc. A l'esquerra l'anàlisi en mesures repetides. A la dreta per cada estació de l'any.

		2003			2004	
		primavera	estiu	tardor	hivern	primavera
Model	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Dia	<0.0001					
Dia * R	<0.0001	ns	<0.0001	ns	ns	ns
Dia * Bloc	<0.0001	0.0031	0.0291	ns	ns	ns
Dia * R * Bloc	<0.0001	ns	0.0080	0.0050	ns	ns
Dia * E	<0.0001	0.0001	0.0080	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Dia * R * E	0.0415	ns	0.0004	ns	ns	0.0156

ns Diferències no significatives per $p > 0.05$.

Espècies C₃



Espècies C₄

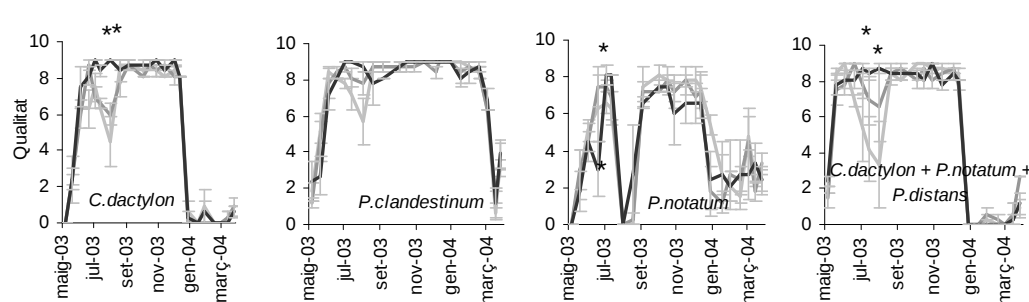
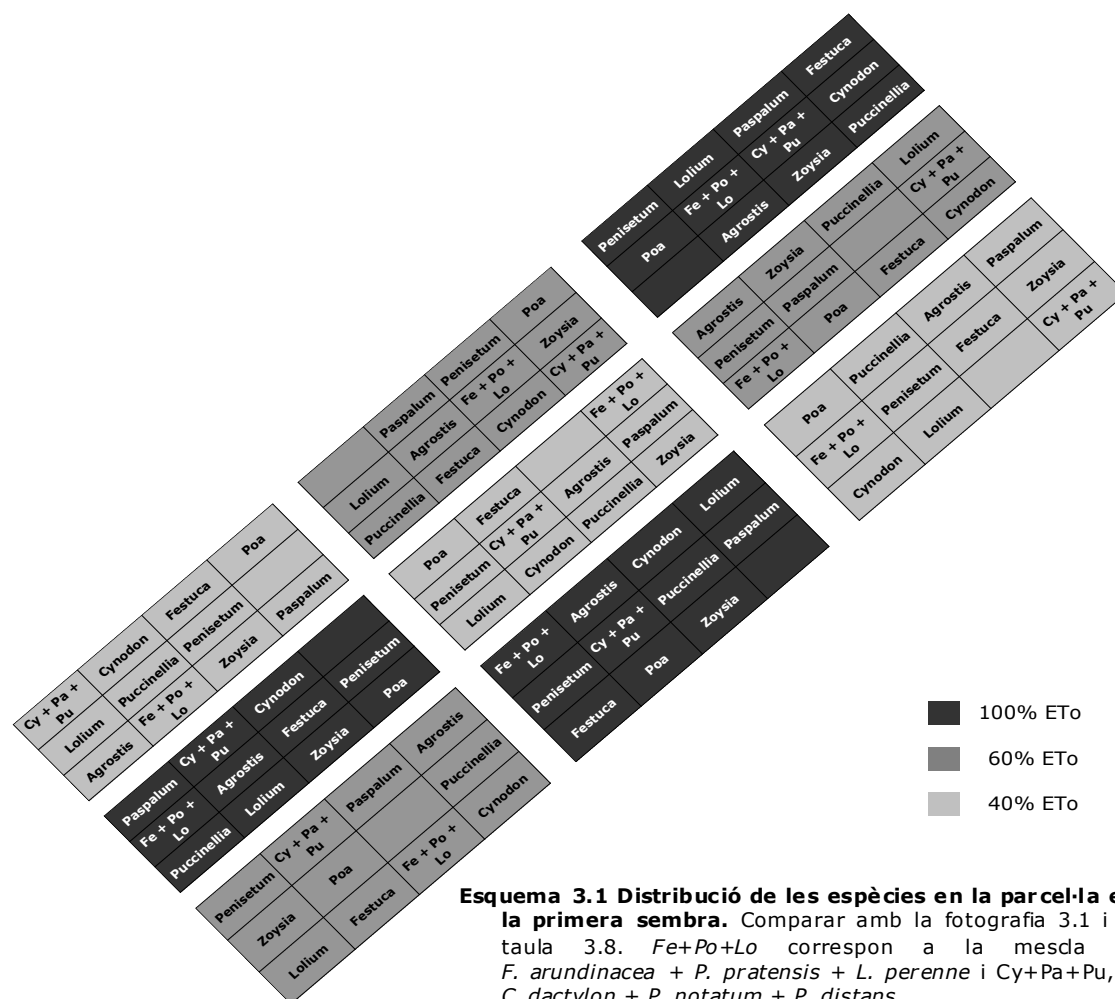


Figura 3.7 Evolució de la qualitat de la gespa en funció del tractament de reg, a la primera sembra. Mitjanes de $n=3$. Les mesures de la qualitat es van fer utilitzant la escala 0-9 de la NTEP on 0 representa color palla i 9 el color més verd fort "color genètic" que es pot obtenir segons l'espècie. Les línies verticals representen l'error estàndard. Els asteriscs indiquen diferències significatives entre tractaments de reg, $p \leq 0.05$.

En una visió general del comportament de les espècies en la primera sembra mostrem l'esquema 3.1 i les fotografies següents. *L. perenne* i la mescla d'espècies C₃ van ser les primeres a germinar (Taula 3.8). Al juny, ja s'apreciava la tonalitat de color depenent de l'espècie (Fotografia 3.1). A l'agost, es distingien els tractaments de reg i les subparcel·les de *Z. japonica* i *P. notatum* acabades de ressemar amb una capa de terra vegetal. Les subparcel·les amb textura de fulla gruixuda eren les colonitzades per la mala herba *Digitaria sanguinalis*. A l'octubre es manifestava la recuperació de la majoria d'espècies. Al gener de 2004, les espècies C₄ es trobaven en latència i s'observava la baixa cobertura d'algunes C₃ com *L. perenne*.



Taula 3.8 Vista general de l'assaig.
Veure Esquema 1



Finals d'abril de 2003.



Agost de 2003.



Octubre de 2003.



Gener de 2004.

3.4.3 Pes específic foliar, contingut relatiu de clorofil·les totals i l'eficiència fotoquímica màxima del fotosistema II

Es disposa de dades del pes específic foliar (SLW) d'octubre a febrer. En general, les C_3 mostraven valors inferiors a les C_4 , sobretot *A. stolonifera* (Taula 3.9). Les C_3 presentaven un mínim al desembre que després es recuperava. En canvi les C_4 no baixaven de prop de 3 mg cm^{-2} i es mantenien estables durant tot l'hivern. En *Z. japonica* era el doble que la resta. Reclaquem que tot i en pobre establiment, les mesures foliars s'han realitzat, encara que mostra un error estàndard elevat.

El contingut relatiu de clorofil·les incrementava a partir de l'octubre fins al gener en *F. arundinacea*, *P. pratensis* i *L. perenne*. A la tardor i hivern arribaven a superar les 40 unitats d'SPAD, valors que no assolien mai les C_4 . Els valors d'*A. stolonifera* i *C. dactylon* van ser inferiors sempre. A l'hivern, *C. dactylon* es trobava en latència.

En el quocient fluorescència de la clorofil·la variable/fluorescència màxima es va mantenir al voltant de 0.80 en les C_3 . Els més baixos es registraven a l'agost, sobretot en *L. perenne*. Les C_4 van disminuir el Fv/Fm a l'hivern i a principis de la primavera gràcies a la fenologia i fisiologia.

La relació del SLW amb l'SPAD és significativa per les espècies C_3 i amb Fv/Fm per les C_4 (Figura 3.8).

Taula 3.9 Anàlisi de la variància dels paràmetres fisiològics foliars, a la primera sembra i període tardor - hivern.

Els valors de p de l'anàlisi de variància per determinar l'efecte dels tractaments. Els paràmetres fisiològics: pes específic foliar, SLW, $n = 40$. Contingut relatiu de clorofil·les totals, SPAD, $n = 50$. l'eficiència fotoquímica màxima del fotosistema II, Fv/Fm, $n = 50$.

Factor	SLW, mg cm^{-2}	Unitats SPAD	Fv/Fm
Model	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Dia	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Reg	ns	ns	ns
Bloc	ns	ns	0.0021
Reg * Bloc	0.0002	ns	ns
Espècie	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Espècie * Reg	ns	ns	ns

ns Diferències no significatives per $p > 0.05$.

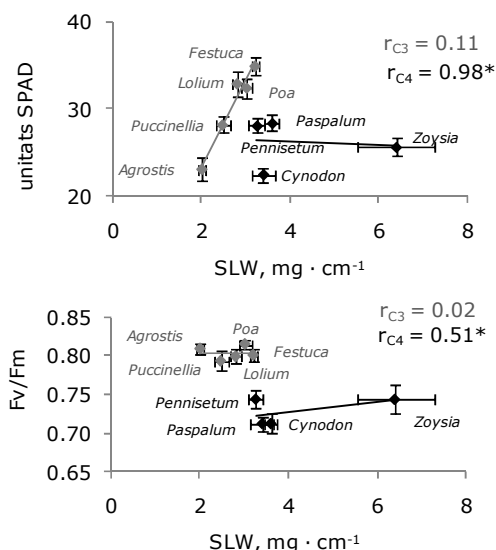


Figura 3.8 Correlació del pes específic foliar, amb el Contingut relatiu de clorofil·les totals i l'eficiència fotoquímica màxima del fotosistema II. Les línies representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor. C_3 $n = 255$, C_4 $n = 180$ respectivament. Rectes significatives per a $p \leq 0.01$

3.4.4 Contingut relatiu d'aigua de fulles verdes, RWC

El contingut relatiu d'aigua es va diferenciar significativament pels tractaments de reg a l'estiu i en general els valors eren més alts a la primavera i la tardor (Taula 3.10). *F. arundinacea* i *P. clandestinum* van obtenir el RWC també més elevat. *A. stolonifera* va mostrar una tendència estacional molt clara i és

la que presentava els valors més baixos a finals d'estiu (Figures 3.9 i 3.10). Només el RWC de *P. clandestinum* va mostrar una correlació significativa amb la tensió del sòl a l'estiu del 2005 (Figura 3.11). El RWC també es va correlacionar amb el SLW, en signe positiu per les C_3 i negatiu en les C_4 (Figura 3.12).

Taula 3.10 Anàlisi de la variància del contingut relatiu d'aigua de fulles verdes.

A l'esquerra de la taula es mostren les mitjanes de cada element per les combinacions dels tractaments. Espècie, dosi de reg i estació de l'any. A la dreta hi ha els valors de p de l'anàlisi de variància per determinar l'efecte del reg en la vegetació. n=2 per cada combinació dels tractaments.

Factor			Mitjana (%)	Model	<0.0001
Espècie	<i>A. stolonifera</i> <i>F. arundinacea</i> <i>C. dactylon</i> <i>P. clandestinum</i>		84.6 c* 89.8 a 84.8 c 88.1 b	Reg	ns
				Bloc	ns
				Reg * bloc	ns
				Espècie	<0.0001
				Espècie * Reg	ns
Estació	Hivern Primavera Estiu Tardor		84.7 b 90.6 a 82.9 b 89.5 a	Espècie * Reg * Bloc	ns
				Estació	<0.0001
				Estació * Reg	ns
				Estació * Espècie	<0.0001
				Estació * Reg * Espècie	ns
				Estació * Reg * Espècie * Bloc	ns

* Dins de cada factor, les mitjanes seguides de diferent lletra difereixen significativament $p \leq 0.05$ pel test de Duncan.

^{ns} Diferències no significatives per $p > 0.05$.

Taula 3.11 Anàlisi de la variància del contingut relatiu d'aigua de fulles seques

A l'esquerra de la taula es mostren les mitjanes de cada element per les espècies. A la dreta hi ha els valors de p de l'anàlisi de variància per determinar l'efecte del reg en la vegetació. n=2 per cada combinació dels tractaments.

Factor			Mitjana (%)	Model	0.0115
Espècie	<i>A. stolonifera</i> <i>F. arundinacea</i> <i>C. dactylon</i> <i>P. clandestinum</i>		48.9a* 41.2a 7.8b 15.4b	Reg	ns
				Bloc	ns
				Reg * bloc	ns
				Espècie	0.0004
				Espècie * Reg	ns
				Espècie * Reg * Bloc	ns

*Dins de cada factor, les mitjanes seguides de diferent lletra difereixen significativament $p \leq 0.05$ pel test de Duncan.

^{ns} Diferències no significatives per $p > 0.05$.

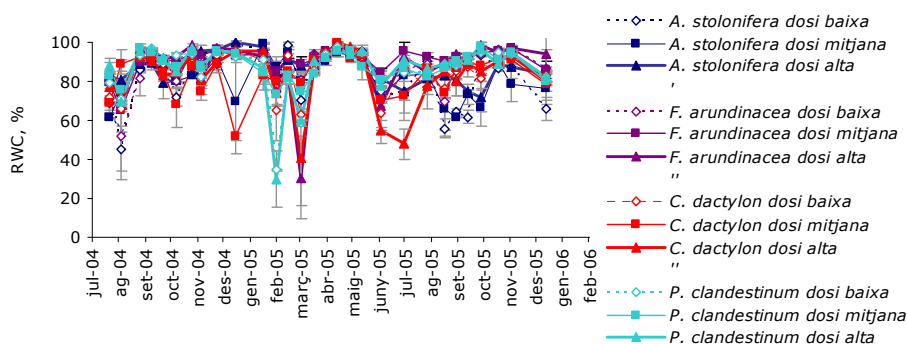


Figura 3.9 Evolució del contingut relatiu d'aigua de fulles verdes. Les línies verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor.

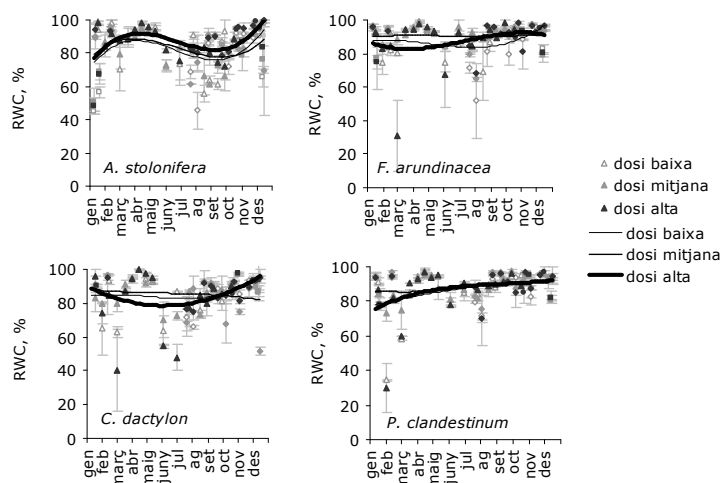


Figura 3.10 Evolució del contingut relatiu d'aigua de fulles verdes. Les línies verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor. Es mostren les línies de tendència dels valors. Correlació polinòmica de tercer grau. $n=2$ per cada combinació dels tractaments.

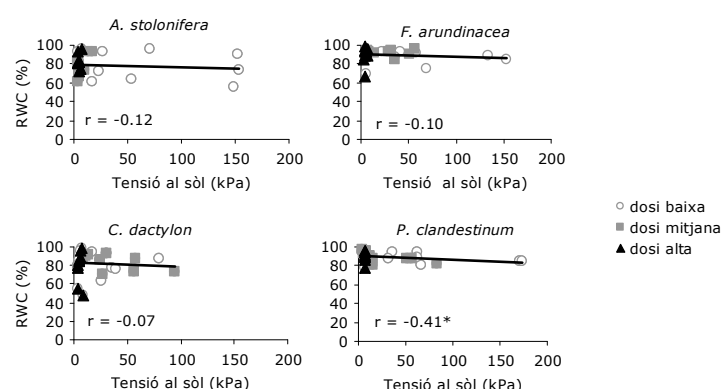


Figura 3.11 Correlació entre la tensió del sòl i el RWC a l'estiu del 2005. (*) rectes significatives per a $p \leq 0.02$, $n = 27$.

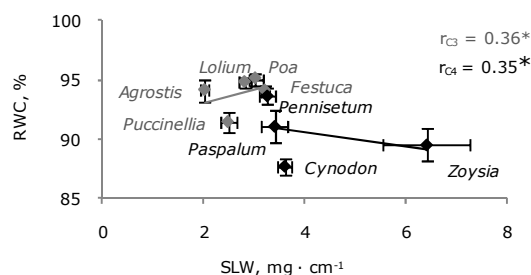


Figura 3.12 Correlació del pes específic foliar, amb el contingut relatiu d'aigua de fulles verdes. Les línies representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor. c_3 $n = 225$ i $c_4 = 180$ respectivament. Rectes significatives per a $p \leq 0.01$.

3.4.5 Biomassa

L. perenne va cobrir poc i es va mostrejar, però *Z. japonica* i *P. notatum* no s'establiren. Un mes després de la sembra, la biomassa aèria es diferenciava entre espècies (Taula 3.12). Al cap d'un any, constituïa més del 80% de la planta i les fulles eren el 50%. *A. stolonifera*, *C. dactylon* i *P. clandestinum*, estoloníferes, només les dues últimes van presentar més quantitat de tiges que fulles. La biomassa de fulles seques de les C_4 superava a les verdes a l'hivern, durant la dormició. *P. clandestinum* tenia significativament més fulles seques en el reg elevat, les mitjanes $\pm$ SE van ser: 180 ± 34 , 173 ± 24 i 248 ± 31 g m^{-2} respectivament pels tractaments de 40, 60 i 100% de la ETo.

Només *F. arundinacea*, *L. perenne* i *P. clandestinum* tenien una quantitat apreciable d'arrels entre 20 i 30 cm del sòl. *A. stolonifera* concentrava la biomassa als 10 cm primers més que cap altra. El 88% de la biomassa de *P. pratensis* es trobava als 20 cm primers, només $0.8 \text{ g } m^{-2} \text{ cm}^{-1}$ de 20 a 30 cm de profunditat, la més baixa de les espècies C_3 . En *C. dactylon* va ser la més baixa tot i els rizomes. Als 10 cm primers, *A. stolonifera* a reg alt tenia significativament més arrels que als altres dos. Els valors van ser: 86, 93 i 97% pels regs a 40, 60 i 100 % de l'ETo. El reg baix de *P. pratensis* mostrava significativament més arrels a prop de la superfície, amb valors: 85, 81 i 84 % respectivament.

Taula 3.12 Biomassa al principi i final de l'assaig de la primera sembra

Biomassa aèria obtinguda amb una sega rasa després de l'última sega a 3 cm d'alçada 7 dies abans. En gris, a l'inici de l'assaig. Mitjanes $n = 6$ i 3 del pes sec de cada combinació dels tractaments, al maig i al febrer respectivament. *Fe+Po+Lo*, correspon a la mescla de *F. arundinacea* + *P. pratensis* + *L. perenne* i *Cy+Pa+Pu* a *C. dactylon* + *P. notatum* + *P. distans*. Proporcions de les diferents fraccions de la biomassa: LWR = fulles, SWR = tiges, i RWR = arrels. La densitat d'arrels per les diferents fraccions de sòl. A la segona part de la taula hi ha els valors de p del anàlisi de variància segons els blocs, per determinar l'efecte dels tractaments.

		maig /03	Febrer/04	Febrer/04		Densitat d'arrels (g m ⁻¹ .cm ⁻¹)			%				
		fulles + tiges	fulles + tiges	Fulles (g m ⁻²)		Tiges							
Factor		(g m ⁻²)	(g m ⁻²)	verdes	seques	(g m ⁻²)	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	LWR	SWR	RWR	
Reg	Dosi baixa	6.60	413.6	137.5	77.4	220.5	61.5	6.0	3.6	46	39	15	
	Dosi mitjana	6.54	381.0	117.9	77.3	185.9	45.5	6.6	3.3	49	39	13	
	Dosi alta	6.82	450.4	120.3	78.0	252.1	59.8	4.3	4.4	42	44	15	
Espècie	C ₃	<i>A. stolonifera</i>	10.0 a*	379.3b	164.7a	45.4c	169.3bcd	73.3a	2.1c	1.7bc	50a*	35bc	15ab
		<i>F. arundinacea</i>	7.7 b	361.0b	166.7a	72.8b	121.5cd	74.8a	9.7a	4.7b	54a	25bc	21a
		<i>L. perenne</i>	6.7 b	415.9b	126.4a	43.2c	246.3abc	67.6a	5.6abc	4.6b	40ab	42bc	17ab
		<i>P. pratensis</i>	6.5 bc	400.2b	158.6a	59.9bc	181.7bcd	64.7a	3.8bc	0.8c	50a	38bc	14ab
		<i>P. distans</i>	5.8 bc	151.6c	70.3b	42.6c	63.8d	36.3ab	1.7c	1.3bc	59a	24c	17a
		Fe + Po + Lo	6.3 b	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	C ₄	<i>C. dactylon</i>	3.6 c	434.0b	39.5b	66.5bc	327.9ab	14.6b	6.9ab	3.2bc	25b	69a	6c
		<i>P. notatum</i>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
		<i>P. clandestinum</i>	7.1 b	700.8a	130.0a	200.8a	370.0a	49.6ab	8.5a	9.2a	46a	45b	9bc
		<i>Cy+Pa+Pu</i>	6.2 b	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Model		<0.0001	0.0005	0.0004	<.0001	ns	0.023	0.023	0.002	0.041	0.025	0.011
	Reg		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Bloc		ns	0.1011	0.051	0.001	0.007	ns	ns	0.024	0.001	0.005	ns	
Reg * bloc		<0.0001	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
Espècie		<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.010	0.038	0.001	0.000	0.024	0.001	0.001	
Espècie * Reg		ns	ns	ns	0.042	ns	0.031	ns	ns	ns	ns	ns	

* Dins de cada factor, les mitjanes seguides de diferent lletra difereixen significativament $p \leq 0.05$ pel test de Duncan.

^{ns} Diferències no significatives per $p > 0.05$.

-- Dades no disponibles

El tractament de reg elevat presentava significativament més densitat d'arrels (RLD) en *F. arundinacea* que *P. clandestinum* a les diferents fondàries al 2003 (Taula 3.13 i Figura 3.13). A tensions mitjanes, la RLD era inferior en superfície (Figura 3.14). *P. clandestinum* es va mostrar insensible al reg.

A l'agost del 2005, la longitud específica de les arrels no va ser significativa estadísticament segons el reg (Taula 3.13). La biomassa d'arrels respecte al sòl era significativament més alta en el tractament de reg alt, tot i que la RLD no es va afectar. *C. dactylon* va ser l'espècie amb menys arrels significativament i es concentraven als 10 cm primers. Que *A. stolonifera* presentés més RLD prop de la superfície i a dosi alta, podria ser per un diàmetre més important de les arrels, ja que la diferència no es detectava en la RLD.

Taula 3.13 Densitat d'arrels (RLD), biomassa i longitud específica de les arrels (SRL) a l'estiu

A la part superior de la taula es mostren les mitjanes de cada nivell de tractament: espècie de gespa, reg (baix, mitjà, alt respecte l'ET₀); profunditat respecte a la superfície del sòl. A la segona part hi ha els valors de p del anàlisi de la variància, per determinar l'efecte dels tractaments en la densitat de les arrels: n=2 per cada combinació dels tractaments.

Factor		Agost 2003	Agost 2005		
		Densitat respecte al sòl ^A (cm cm ⁻³ sòl)	Densitat respecte al sòl ^A (cm cm ⁻³ sòl)	pes sec respecte al sòl (g m ⁻² cm ⁻¹ sòl)	SRL (cm g ⁻¹)
Reg	Dosi Baixa	2.1 b*	2.9 a	34.5 b*	1216.8
	Dosi Mitjana	1.4 b	2.7 a	38.7 b	839.8
	Dosi Alta	3.6 a	3.3 a	68.8 a	912.5
Espècie	<i>A. stolonifera</i>	--	3.0 a	74.2 a	970.7
	<i>F. arundinacea</i>	2.69	3.7 a	52.5 a	1173.7
	<i>C. dactylon</i>	--	1.8 b	15.0 b	990.5
	<i>P. clandestinum</i>	1.91	3.2 a	46.6 a	701.2
Profunditat	0 - 10 cm	5.5 A	5.6 a	104.5 a	687.9
	10 - 20 cm	0.9 B	2.3 b	27.6 b	1147.8
	20 - 30 cm	0.4 B	1.0 c	12.9 b	1039.1
Model		<0.0001	<0.0001	<0.0001	ns
Reg		0.0253	0.0390	0.0301	ns
Espècie		ns	0.0005	0.0129	ns
Reg * Espècie		ns	0.0468	0.0253	ns
Profunditat		<0.0001	<0.0001	<0.0001	ns
Profunditat * Reg		0.0421	0.0400	ns	ns
Profunditat * Espècie		ns	ns	0.0315	ns
Profunditat * Reg * Espècie		0.0383	ns	0.0389	ns

* Dins de cada factor les mitjanes seguides de diferent lletra difereixen significativament $p \leq 0.05$ pel test de Duncan.

^{ns} Diferències no significatives per $p > 0.05$.

^A Root Length Density, RLD

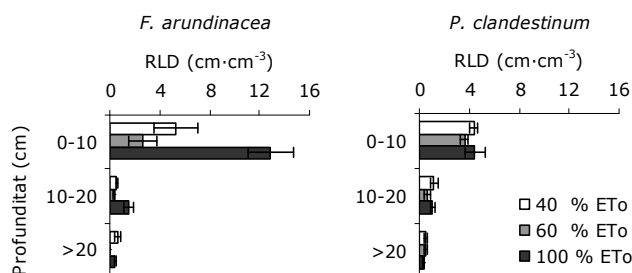


Figura 3.13 Densitat d'arrels, RLD, en *F. arundinacea* (C₃) i *P. clandestinum* (C₄) a l'agost 2003, als quatre mesos de la sembra. En funció del tractament de reg i profunditats en el sòl. Les línies horitzontals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor. n=3 per cada combinació dels tractaments, $p \leq 0.05$.

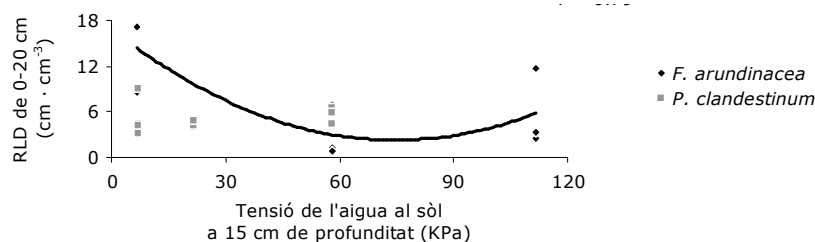


Figura 3.14 Correlació de la densitat d'arrels RLD als 20 cm primers de profunditat amb la tensió de l'aigua al sòl a l'estiu 2003. Es mostra la corba significativa $p \leq 0.05$, en *F. arundinacea* $r = 0.79$

3.4.6 Producció a la primera sembra

En general les espècies C_3 van produir menys biomassa aèria que les C_4 a l'estiu, però la diferència entre espècies es va igualar a la tardor - hivern (Taula 3.14 i Figura 3.15). Aquest paràmetre es va incrementar a la tardor per baixar pràcticament a zero a l'hivern a causa del fred (Figura 3.3b).

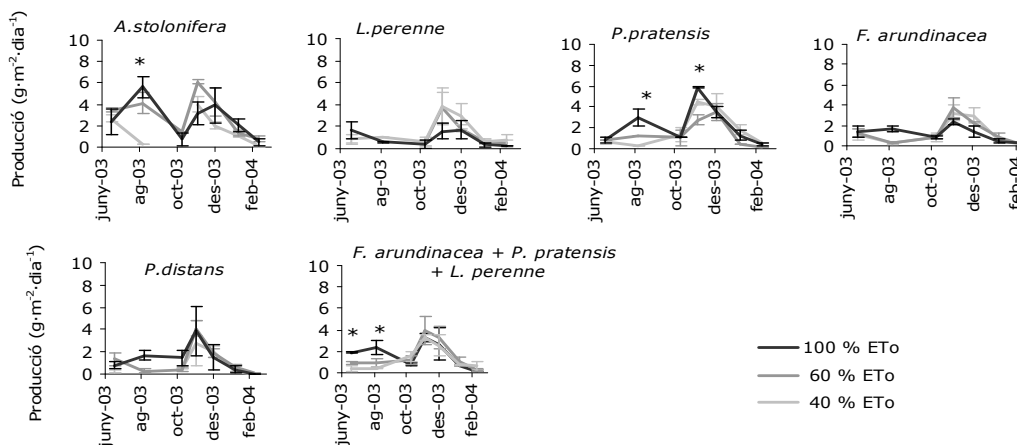
Taula 3.14 Evolució de la producció de la gespa en funció de les dosis de reg a la primera sembra.

Valors de p de l'anàlisi de variància per determinar l'efecte dels tractaments. $n = 3$ per cada combinació de tractaments.

Factor		2003					2004	
		juny	agost	octubre	novembre	desembre	gener	febrer
Model	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.008	<0.001	<0.001
dia	<0.001							
Reg	Ns	ns	0.002	ns	ns	ns	ns	ns
Bloc	0.003	0.008	ns	<0.001	0.003	0.001	ns	ns
Reg * bloc	<0.001	0.014	ns	0.021	0.016	ns	0.040	ns
Espècie	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001
Espècie * Reg	Ns	0.048	0.002	ns	0.016	ns	ns	ns

^{ns} Diferències no significatives per $p > 0.05$.

Espècies C_3



Espècies C_4

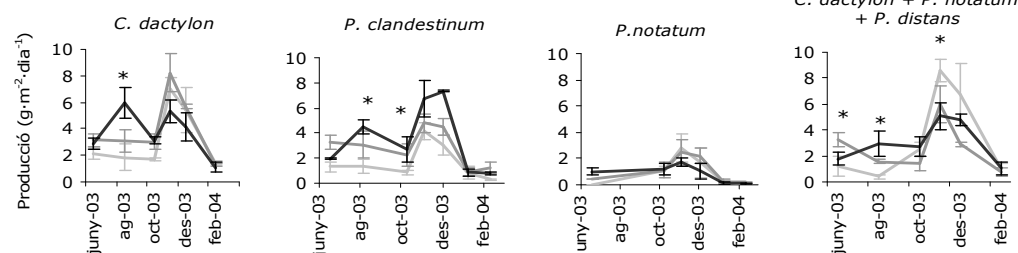


Figura 4.15 Evolució de la producció de la gespa en funció de les dosis de reg a la primera sembra. Mitjanes de $n = 3$. Les línies verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor. Els asteriscs indiquen diferències significatives entre tractaments de reg, $p \leq 0.05$.

La producció d'*A. stolonifera* era la més alta al juny, i només darrera de *C. dactylon* a l'agost, però a l'octubre va ser la més baixa. *C. dactylon* i la mescla *Cynodon* + *Paspalum* + *Puccinellia* mantenien la producció més alta al llarg de l'any i *P. clandestinum* en tercer lloc junt amb *A. stolonifera*. Al gener, la producció de *P. clandestinum* era la més alta de les C_4 i només rere d'*A. stolonifera* i *P. pratensis*. *P. notatum* va tenir un pobre establiment i la producció més baixa.

A. stolonifera en el tractament 40% de l'ETo aturava totalment la producció a l'estiu però en temporades de demanda evaporativa inferior, tendia a igualar-se als altres tractaments. A l'agost, *P. pratensis* tenia la producció més elevada a 100 % de l'ETo. Al novembre es diferenciava el reg alt del mitjà. En la mescla *F. arundinacea* + *P. pratensis* + *L. perenne* es diferenciava el reg alt i baix a l'estiu. El 100% de l'ETo de *C. dactylon* era estadísticament superior a l'agost. Al juny, el tractament de 60 % de *P. clandestinum* era estadísticament superior a la resta i inferior en el reg del 40% a l'agost. Al juny, el tractament de 60% de la mescla *C. dactylon* + *P. notatum* + *P. distans* presentava la millor producció, a l'agost es podia diferenciar entre el reg alt i baix, però al novembre, el tractament amb reg baix produïa més.

3.4.7 Cobertura de gespa

3.4.7.1 Cobertura al 2003 - 2004

Les espècies es van diferenciar estadísticament en la cobertura (Taula 3.15). Les males herbes eren constituïdes bàsicament per *Digitaria sanguinalis*. A partir del setembre aquesta espècie C_4 va començar a ser substituïda per la gespa o per altres males herbes com *Poa annua* (C_3) i vàries dicotiledònies.

La dosi de reg va ser significativa en la superfície coberta per males herbes al desembre. Així, en *A. stolonifera* i *F. arundinacea* el reg va condicionar la presència de males herbes. La cobertura de l'espècie de gespa més les males herbes va superar el 75% en la majoria de parcel·les de C_3 (Figura 3.16a). *L. perenne* tot i ser la primera en germinar, no va assolir una cobertura acceptable. En canvi, la cobertura de *C. dactylon* i *P. clandestinum* va ser gairebé total fins l'arribada de les temperatures mínimes, de 3 °C (Figura 3.16b). La cobertura de *Z. japonica* va anar disminuint amb la baixada de les temperatures.

Hi va haver clares diferències en la cobertura per males herbes depenent de l'espècie a la què li feien competència. A les C_3 , la gespa va anar prenent lloc a les males herbes sense variar la cobertura total de vegetació amb la tardor i l'hivern en els tractaments de 40 i 60% de l'ETo de *L. perenne*, tots els de *P. pratensis* i el de 100% ETo a *F. arundinacea*. En les C_4 , *C. dactylon*, *P. clandestinum* i la mescla de *C. dactylon* + *P. notatum* + *P. distans* les males herbes sempre es trobaven per sota el 10%, però constituïen més del 50% en *P. notatum* i sobretot *Z. japonica*.

La cobertura de l'espècie era significativament inferior en el tractament de reg baix en *A. stolonifera*, *P. distans* i *Z. japonica*. *A. stolonifera* a 100 % ETo a l'octubre tenia significativament més cobertura que els altres. *F. arundinacea* presentava menys males herbes en el reg alt al gener.

El tractament del 60% de *P. distans* mostrava una cobertura estadísticament superior al març però la dosi 40% presentava més males herbes al gener i març. De les C_4 , la cobertura formada per *C. dactylon* era estadísticament menys abundant en el reg del 100% ETo al desembre, on una petita part era constituïda per males herbes. Finalment, la cobertura de les parcel·les de *Z. japonica* era significativa en el tractament del 60% constituït tot per males herbes al març. Al gener també contenia més males herbes en el tractament de 60%.

Taula 3.15 Evolució del percentatge de cobertura a la primera sembra

Els valors de p de l'anàlisi de variància per determinar l'efecte dels tractaments en el temps, n=3. Tractaments: espècie de gespa; dosi de reg (baixa, mitjana i alta respecte a l'ETo).

			2003							2004		
			26/set	13/oct	28/oct	14/nov	02/des	12/des	30/des	16/gen	17/feb	15/març
Espècie d'estudi	Model	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	Dia	<0.0001										
	Dia * Reg	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Dia * Bloc	0.0067	ns	0.0215	ns	0.031	ns	ns	0.0485	ns	ns	ns
	Dia * Reg * Bloc	ns	0.0325	0.041	0.045	0.0334	0.0198	0.0354	ns	ns	ns	ns
	Dia * Espècie	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	Dia * Espècie * Reg	ns	ns	0.0292	ns	ns	0.0063	ns	ns	ns	ns	0.0022
Males herbes	Model	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	Dia	<0.0001										
	Dia * Reg	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.0136	ns	ns	ns
	Dia * Bloc	0.0534	ns	0.0374	0.0052	ns	ns	ns	ns	ns	<.0001	ns
	Dia * Reg * Bloc	<0.0001	0.0343	0.066	0.0029	0.0186	ns	ns	ns	0.0127	0.0168	0.0006
	Dia * Espècie	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	Dia * Espècie * Reg	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.0151	ns	0.0016

^{ns} Diferències no significatives per $p > 0.05$.

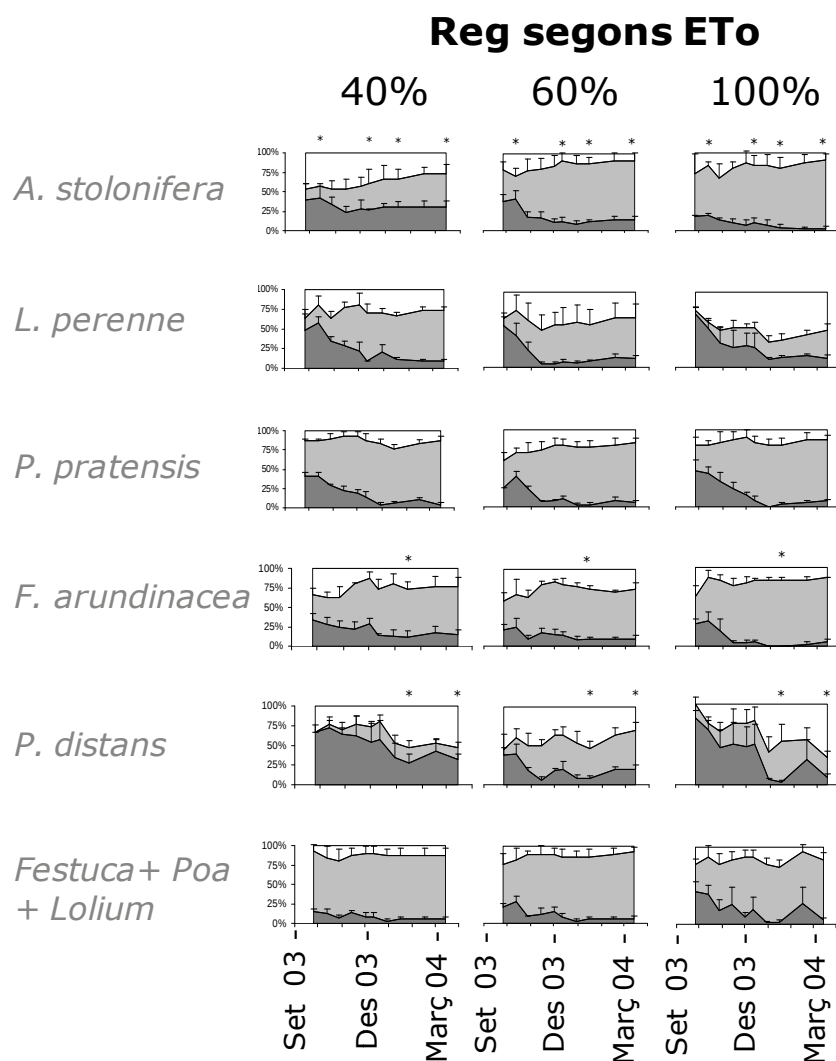
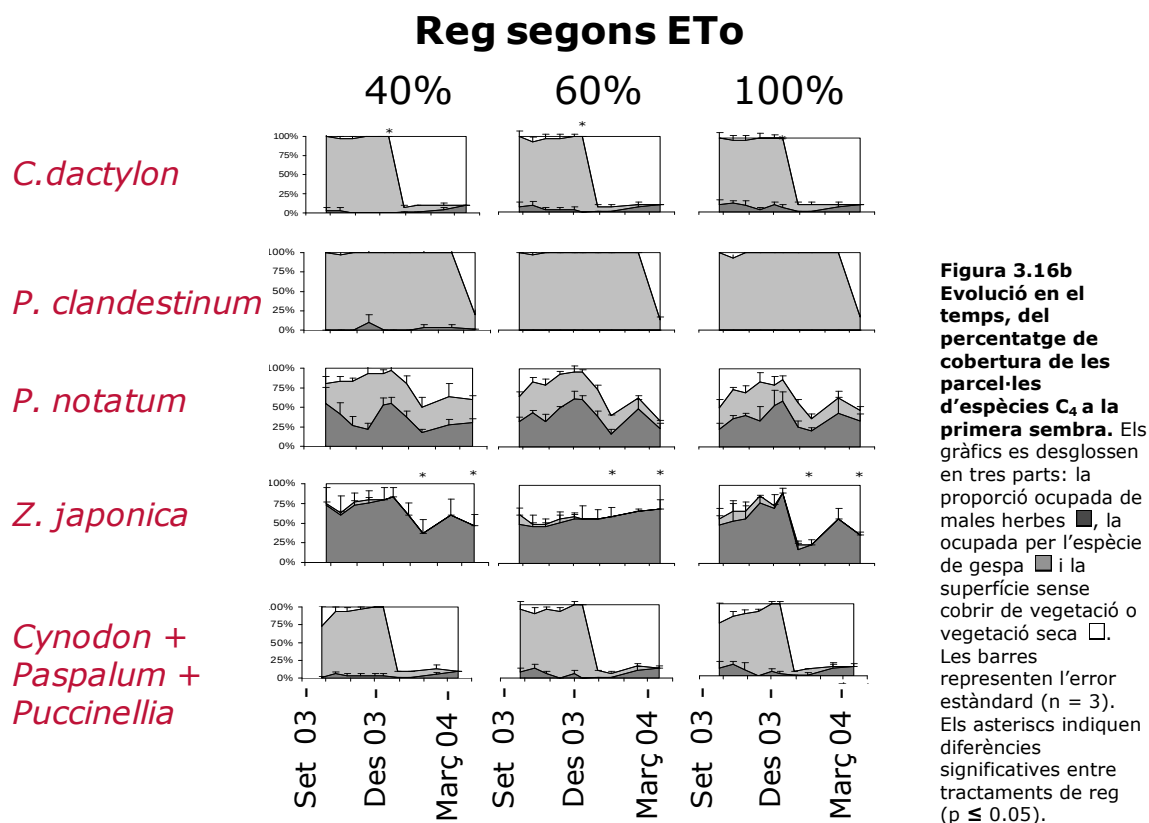


Figura 3.16a
Evolució en el temps del percentatge de cobertura de les parcel·les que contenen espècies C_3 , a la primera sembra. Els gràfics es desglossen en tres parts: la proporció ocupada de males herbes ■, la ocupada per l'espècie de gespa ■ i la superfície sense cobrir de vegetació o vegetació seca □. Les barres representen l'error estàndard ($n = 3$). Els asteriscs indiquen diferències significatives entre tractaments de reg ($p \leq 0.05$).



La correlació entre la cobertura i la producció és lineal i significativa per les espècies C₃, però en les C₄ és exponencial, en el període de tardor - hivern (Figura 3.17).

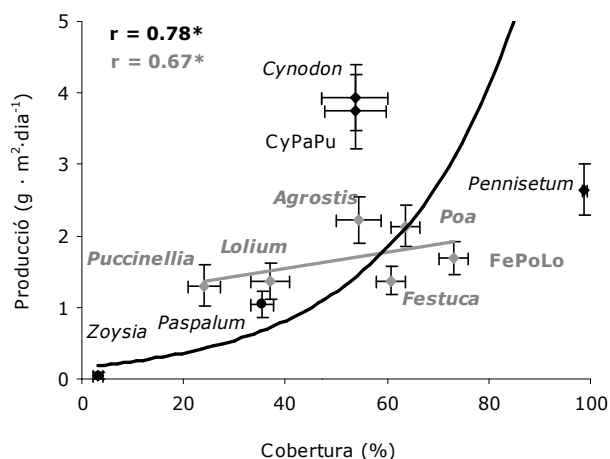


Figura 3.17 Correlació entre cobertura i producció des d'octubre 2003 al febrer 2004. En gris les espècies C₃ i en negre les C₄. Fe+Po+Lo correspon a la mescla de *F. arundinacea* + *P. pratensis* + *L. perenne* i Cy+Pa+Pu a *C. dactylon* + *P. notatum* + *P. distans*. Les barres representen l'error estàndard n = 21. Els asteriscs indiquen que rectes són estadísticament significatives, $p < 0.01$. C₃ i C₄ n = 270

3.4.7.2 Cobertura de les parcel·les a la tardor del 2005

La cobertura de les gespes es diferenciava depenent de l'espècie a la tardor del segon any (Taula 3.16). En *P. clandestinum* es mantenia pràcticament al 100% però *C. dactylon* arribava a un màxim del 50%.

A la tardor, no es detectaven diferències importants en la tensió del sòl però la cobertura es diferenciava segons la dosi de reg en *F. arundinacea* i *C. dactylon*. Pels valors de finals d'estiu podem suposar que es deuen en part, als efectes en la cobertura de l'estiu (Figura 3.18). *F. arundinacea* en dosi alta pràcticament el 40% de la parcel·la estava ocupada per males herbes i en *C. dactylon* encara més.

C. dactylon va entrar en dormició a finals de setembre i *P. clandestinum* més tard. En *C. dactylon* amb reg elevat, disminuïa primer la cobertura de males herbes però al final quedaven només elles (Veure exemples de males herbes en les fotografies 3.2 - 3.5).

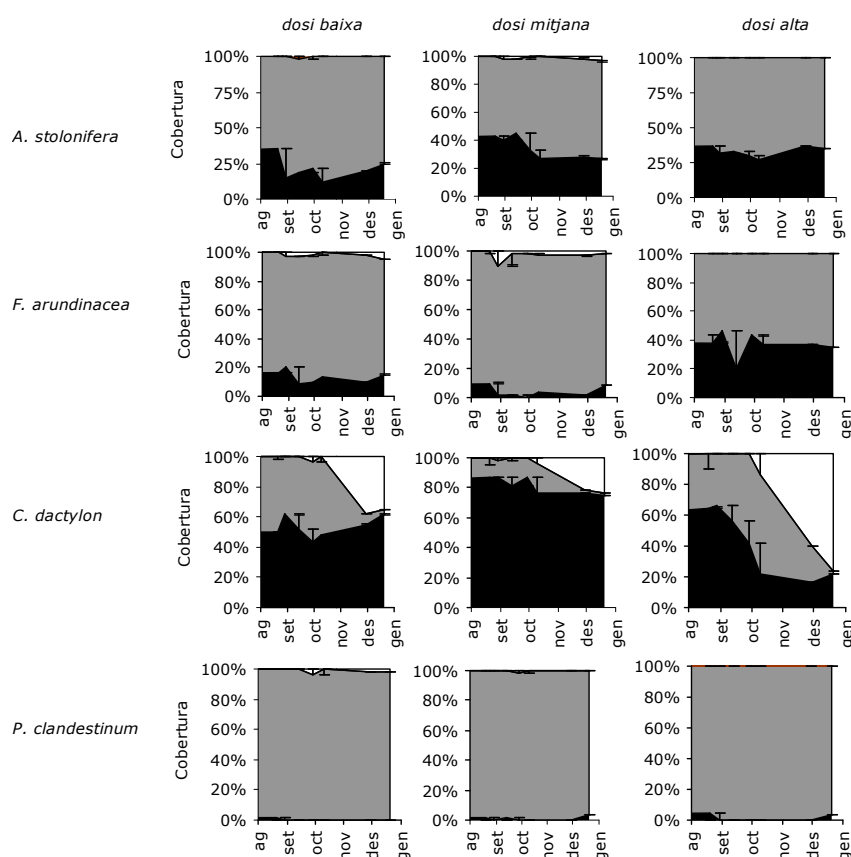
Taula 3.16 Percentatge de cobertura en les gespes a la tardor del 2005.

Valors de p de l'anàlisi de variància amb dades repetides, per determinar l'efecte dels tractaments de reg en la cobertura, n=2 de cada combinació dels tractaments. Espècie (*Agrostis stolonifera*, *Festuca arundinacea*, *Cynodon dactylon* i *Pennisetum clandestinum*); dosi de reg (baixa, mitjana i alta respecte a l'ETo).

Factor

Espècie		20/ag	29/ag	13/set	29/set	10/oct	02/nov	29/nov	20/des
Model (M)	<0.0001	0.0029	0.0021	0.0002	0.0034	0.0167	0.0409	0.0003	<0.0001
Temps (T)	<0.0001	--	--	--	--	--	--	--	--
T * Reg (R)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
T* Bloc (B)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
T*R*B	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
T * espècie (E)	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0006	0.0023	<0.0001	<0.0001
T* E * R	ns	ns	ns	ns	0.0306	ns	ns	ns	ns
Males herbes									
Model	<0.0001	0.0029	0.0024	0.0003	0.0009	0.018	ns	0.0283	0.0100
Temps (T)	<0.0001	--	--	--	--	--	--	--	--
T * Reg (R)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
T* Bloc (B)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
T*R*B	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
T * Espècie (E)	0.0024	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0002	ns	0.0026	0.0003
T* E * R	0.0016	ns	ns	ns	0.0124	ns	ns	ns	ns

^{ns} Diferències no significatives per p > 0.05.



Fotografia 3.2 Gespa d'*A. stolonifera* amb males herbes a l'estiu. *Oxalis* sp. una dicotiledònia, al centre, i estolons de *P. clandestinum* a la dreta.



Fotografia 3.3 Gespa de *F. arundinacea*, amb males herbes a l'estiu. A l'esquerra i en verd clar és *P. clandestinum*, que no li correspondria ser-hi.



Fotografia 3.4 Gespa de *C. dactylon* amb males herbes a l'estiu. Són graminies de textura de fulla gran i distribuïdes homogeniament.



Fotografia 3.5 Gespa de *P. clandestinum* amb males herbes a l'estiu. Són dicotiledònies "fulla ampla", a la dreta.

3.4.8 Índexs espectralradiomètrics

NDVI, *Normalized difference vegetation index*

En general, el NDVI es va relacionar amb el tractament de reg (Taula 3.17 i Figura 3.19). Disminuïa clarament en *A. stolonifera* i *F. arundinacea* a l'estiu, i en les C₄, de forma progressiva des de l'estiu a la primavera següent.

Taula 3.17 Evolució del NDVI *Normalized difference vegetation index*

Valors de p de l'anàlisi de variància en mesures repetides per determinar l'efecte dels tractaments en el temps. n = 9 per cada combinació de tractaments a la primera sembra i n = 6 a la segona. Tractaments: espècie de gespa; dosi de reg (baixa, mitjana i alta respecte a l'ET_o).

	1 ^a sembra				2 ^a sembra						
	2003		2004				2005				2006
	estiu	tardor	hivern	primavera	estiu	tardor	hivern	primavera	estiu	tardor	hivern
Model	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Reg	<0.0001	ns	ns	ns	<0.0001	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Bloc	ns	0.0008	ns	ns	0.0218	ns	ns	ns	0.002	ns	0.0095
Reg * Bloc	<0.0001	<0.0001	0.0058	ns	ns	ns	<0.0001	ns	0.0151	ns	ns
Espècie	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0033	<0.0001	<0.0001
Espècie * Reg	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0378	<0.0001	ns	0.0011	ns	0.0433	ns	ns
Espècie * Reg * Bloc	0.0005	<0.0001	<0.0001	ns	ns	ns	<0.0001	ns	ns	ns	ns

^{ns} Diferències no significatives per p > 0.05.

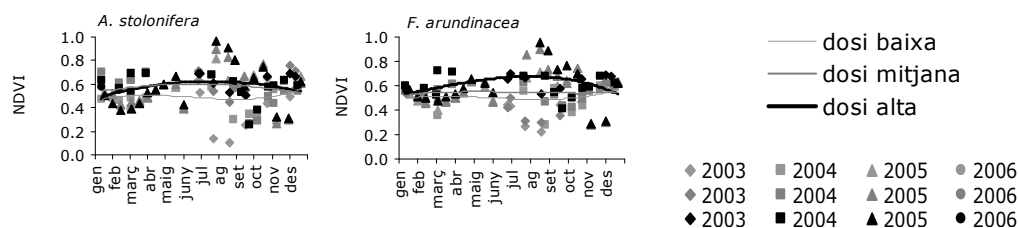


Figura 3.19 Evolució del NDVI al llarg de l'any segons la dosi de reg per les diferents espècies estudiades. Mitjanes de $n=3$ per cada combinació dels tractaments en la primera sembra i $n=2$ per la segona. Es mostren les línies de tendència dels valors. Correlació polinòmica de tercer grau.

En la primera sembra, el valor de NDVI del tractament 40% d'ETo d'*A. stolonifera* va ser fins un 80% més baix a l'estiu i es mantenia a una diferència del 30% a la resta de l'any (Figura 3.20). En *P. pratensis*, el reg a 60% de la ETo mostrava significativament valors inferiors que els altres tractaments. *F. arundinacea* amb reg a 100% de l'ETo era un 60 i 52% més elevat que els tractaments de 40 i 60% de l'ETo respectivament a l'estiu. La cobertura baixa de *P. distans* es va reflectir en l'índex. El tractament de 100% a *F. arundinacea* + *P. pratensis* + *L. perenne* obtenia significativament els valors més alts a l'estiu. En la resseembra, *P. notatum* mostrava els valors de sòl nu.

Espècies C_3

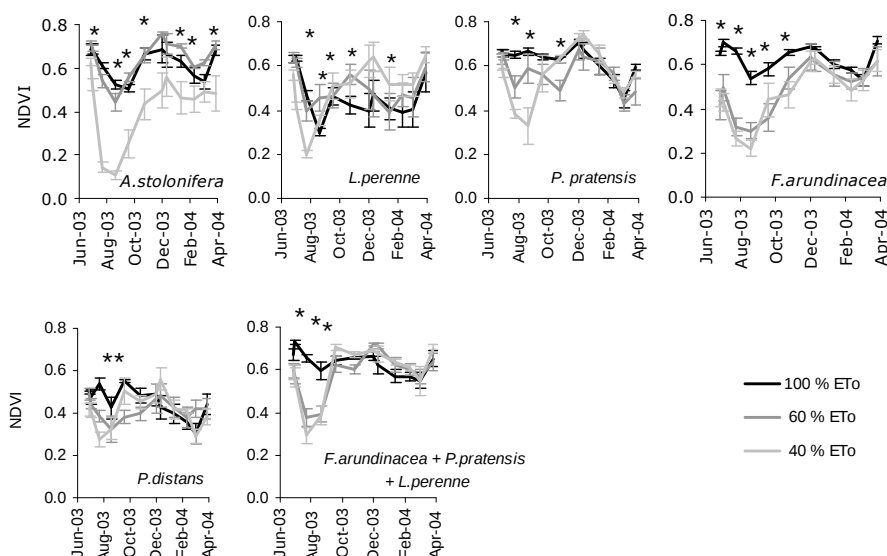
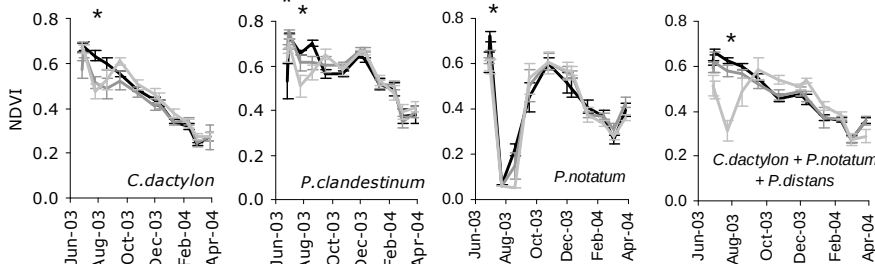


Figura 3.20 Evolució de l'índex NDVI en funció del tractament de reg a la primera sembra. Mitjanes de $n=3$. Les línies verticals representen l'error estàndard. Els asteriscs indiquen diferències significatives entre tractaments de reg, $p \leq 0.05$.

Espècies C_4



A l'estiu de la primera sembra, la correlació del NDVI és positiva els paràmetres definidors provats (Figura 3.21). La correlació més alta és amb la qualitat; amb la cobertura és significativa en el reg baix, i amb l'SPAD, només el de 100% de l'ETo. Amb la producció no es diferencien els tractaments de reg.

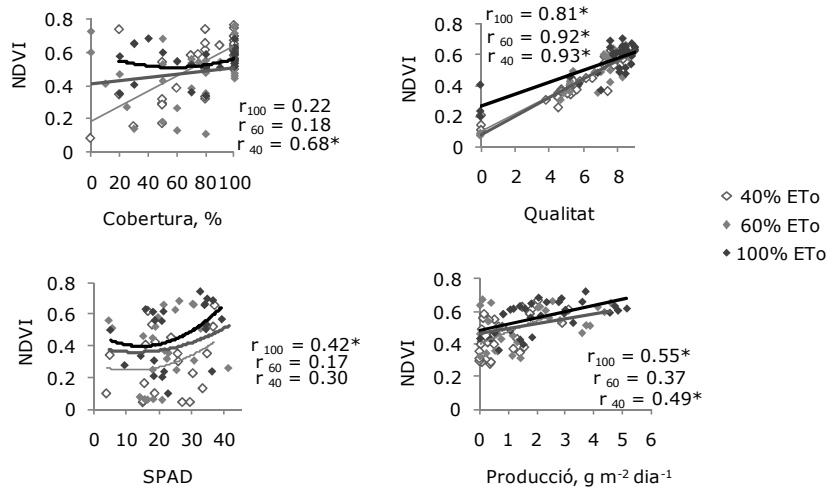


Figura 3.21 Correlacions de la cobertura, la qualitat, el contingut relatiu de clorofil·les i la producció amb el NDVI en funció del tractament de reg a l'estiu. $n = 32$, 32 , 22 i 29 respectivament. En la cobertura s'ha tingut en compte la suma de l'espècie de gespa més les males herbes. Qualitat a partir de la escala 0-9 de la NTEP (9 indica qualitat més alta, 6 coberta de gespa acceptable i 0 sòl nu o vegetació senescent). L'asterisc indica rectes estadísticament significatives $p \leq 0.05$.

Per espècies, les correlacions són significatives, lineals i positives excepte amb l'SPAD i les més altes són amb la qualitat (Figura 3.22). Amb la cobertura i la producció el pendent de les rectes és més alt en les C_3 que les C_4 . Els valors de *P. distans* són baixos en tots els paràmetres. Els resultats de *C. dactylon* són molt semblants als de la mescla *C. dactylon* + *P. notatum* + *P. distans*.

L'SPAD de *F. arundinacea*, *P. pratensis* i *L. perenne* és semblant, però es diferencien en el NDVI. Alhora aquestes espècies tenen una producció baixa, mostrant una relació SPAD - Producció. La producció és inferior a 4 g m⁻² dia⁻¹ en les espècies durant l'any. Valors de 8 g m⁻² dia⁻¹ pertanyen a *P. clandestinum*, *C. dactylon* i a la mescla de *Cynodon* + *Paspalum* + *Puccinellia* a l'hivern, que corresponen a diferents nivells del NDVI.

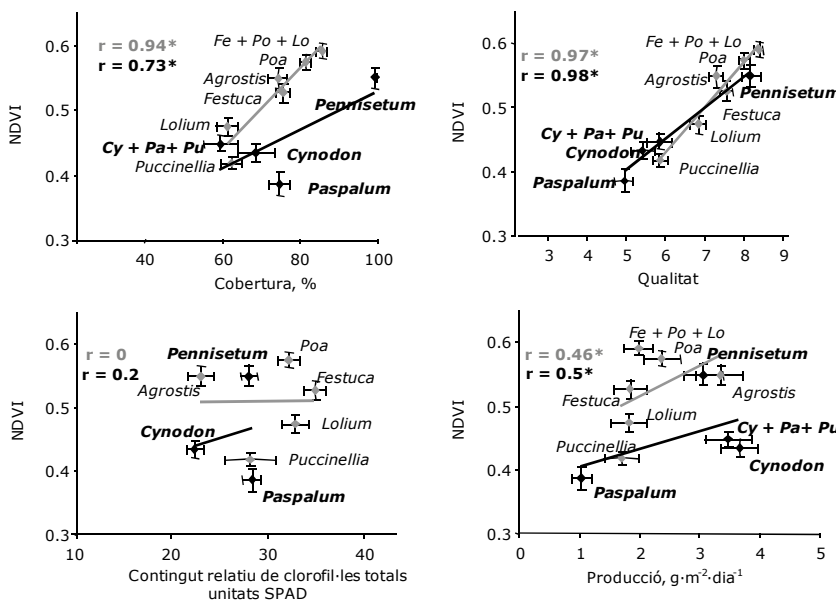


Figura 3.22 A la primera sembra, correlació del NDVI amb la cobertura, la qualitat, el contingut relatiu de clorofil·les i la producció. Qualitat a partir de la escala 0-9 de la NTEP (9 indica la qualitat més alta; 6, coberta de gespa acceptable i 0, sòl nu o vegetació morta). En gris correlació de les espècies C_3 i en negre de les C_4 . Fe+Po+Lo correspon a la mescla de *F. arundinacea* + *P. pratensis* + *L. perenne* i Cy+Pa+Pu a *C. dactylon* + *P. notatum* + *P. distans*. Les barres representen l'error estàndard. $n = 135$ pel NDVI, $n = 60$ per la cobertura, $n = 198$ per la qualitat, $n = 54$ per l'SPAD i $n = 42$ per la producció. Els asteriscs indiquen rectes estadísticament significatives, $p \leq 0.05$.

Els índexs han disminuït amb l'augment de la tensió del sòl (Figures 3.23 i 3.24). A l'estiu, l'òptim de les C_4 , la relació és positiva. *C. dactylon* ha mostrat tensions al sòl inferiors a la resta d'espècies, a més, les mesures a la vegetació no coincideixen amb els dies de tensions màximes (Figura 3.6).

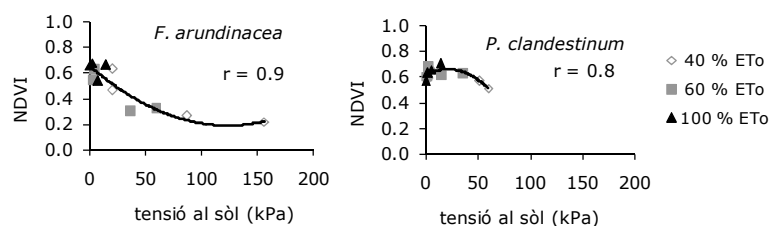


Figura 3.23 Correlació entre la tensió del sòl i el NDVI a l'estiu del 2003. La corba amb *F. arundinacea* és significativa, $p \leq 0.05$, $n = 24$.

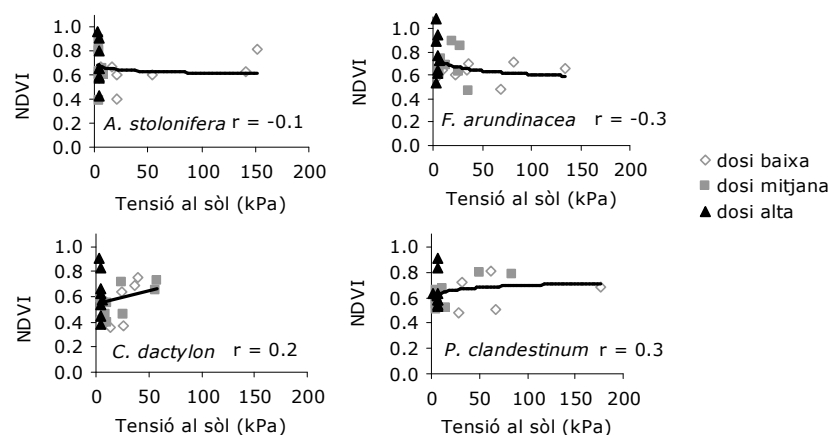


Figura 3.24 Correlació entre la tensió del sòl i el NDVI a l'estiu del 2005. Rectes no significatives, $p \leq 0.05$, $n = 24$.

Finalment destaquem que el NDVI es correlaciona significativament amb els seus índexs derivats i les regions de l'espectre de què consta (Figura 3.25), de manera que el comportament amb les espècies i els tractaments de reg és molt semblant (no es mostren els resultats). Destaquem però la correlació del NDVI amb l'índex Chl a/b, on les espècies C_4 tenen valors més elevats de Chl a/b respecte al NDVI que les C_4 (Figura 3.26).

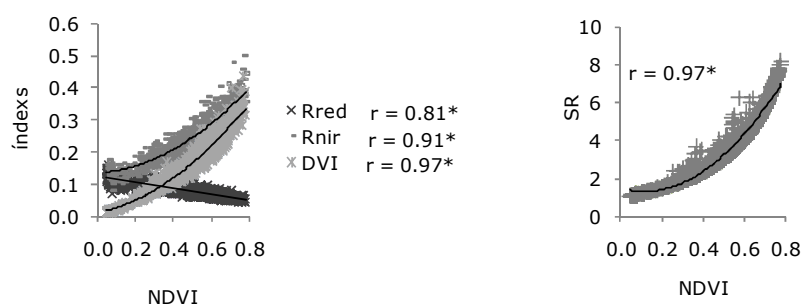


Figura 3.25 Correlació del NDVI amb les reflectàncies de què consta (Rred i Rnir) i dos índexs derivats, DVI i amb el SR a la dreta. Veure taula 2.4. Els asteriscs indiquen rectes estadísticament significatives $p \leq 0.05$.

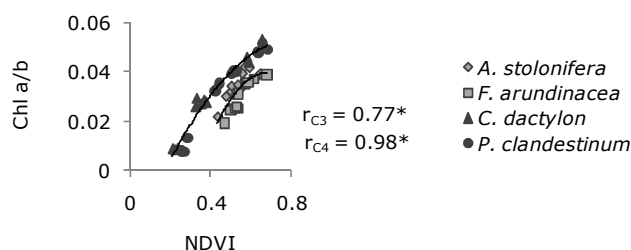


Figura 3.26 Correlació del NDVI amb el Chl a/b Veure taula 2.4. Els asteriscs indiquen rectes estadísticament significatives $p \leq 0.05$.

PRI, Photochemical reflectance index; Chl a/b, NPQI, NPCI i SIPI

L'evolució estacional del PRI és semblant al NDVI (Taula 3.18). Disminueix a l'estiu i arriba al màxim anual a finals de tardor (Figura 3.27). Seguidament torna a minvar fins a valors pròxims a zero i negatius, de manera molt marcada, però al març es recupera. El reg és significatiu en la majoria de les espècies a l'estiu de la primera sembra (Figura 3.28).

Taula 3.18 Evolució dels índexs: PRI Chl a/b, NPQI, NPCI i SIPI

Valors de p de l'anàlisi de variància en mesures repetides per determinar l'efecte dels tractaments en el temps. n = 9 per cada combinació de tractaments a la primera sembra i n = 6 a la segona. Tractaments: espècie de gespa; dosi de reg (baixa, mitjana i alta respecte a l'ETo).

	1ª sembra				2ª sembra						
	2003		2004		2004		2005				2006
	estiu	tardor	hivern	primavera	estiu	tardor	hivern	primavera	estiu	tardor	hivern
PRI											
Model	<0.0001	<.0001	<0.0001	<0.0001	0.0003	<0.0001	<0.0001	0.0034	<0.0001	0.0006	<0.0001
Reg	ns	ns	<0.0001	ns	ns	0.0021	ns	ns	ns	ns	ns
Bloc	<0.0001	<0.0001	ns	<0.0001	ns	<0.0001	ns	ns	<0.0001	ns	<0.0001
Reg * Bloc	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0208	ns	0.0045	ns	0.0075	ns	<0.0001
Espècie	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	ns	<0.0001	<0.0001	<0.0001	ns	<0.0001	<0.0001
Espècie * Reg	<0.0001	<0.0001	ns	0.0155	ns	0.0164	0.0221	ns	ns	ns	ns
Espècie * Reg * Bloc	0.0034	<0.0001	<0.0001	<0.0001	ns	ns	0.0004	ns	0.006	ns	0.0065
Chl a/b											
Model	<.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Reg	<.0001	0.0153	<0.0001	ns	<0.0001	0.038	<0.0001	ns	0.0079	0.0194	ns
Bloc	ns	<0.0001	0.006	0.0171	0.0007	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Reg * Bloc	<.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	ns	0.0468	<0.0001	ns	ns	0.0078	ns
Espècie	<.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Espècie * Reg	<.0001	<0.0001	<0.0001	ns	<0.0001	0.004	<0.0001	ns	ns	ns	0.0105
Espècie * Reg * Bloc	ns	<0.0001	<0.0001	<0.0001	ns	ns	<0.0001	ns	ns	ns	ns

^{ns} Diferències no significatives per p > 0.05.

Taula 3.18 (continuació) Evolució dels índexs: PRI Chl a/b, NPQI, NPCI i SIPI

Valors de p de l'anàlisi de variància en mesures repetides per determinar l'efecte dels tractaments en el temps. n = 9 per cada combinació de tractaments a la primera sembra i n = 6 a la segona. Tractaments: espècie de gespa; dosi de reg (baixa, mitjana i alta respecte a l'ETo).

	1 ^a sembra				2 ^a sembra						
	2003		2004		2004		2005				2006
	estiu	tardor	hivern	primavera	estiu	tardor	hivern	primavera	estiu	tardor	hivern
NPQI											
Model	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	ns	0.034	ns	ns	ns	ns	ns
Reg	ns	<0.0001	0.0038	<0.0001	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Bloc	0.0009	<0.0001	0.0197	<0.0001	ns	0.0114	ns	ns	ns	ns	ns
Reg * Bloc	<0.0001	<0.0001	ns	<0.0001	ns	0.0002	ns	ns	ns	ns	ns
Espècie	ns	ns	0.013	0.0052	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Espècie * Reg	ns	ns	0.0039	<0.0001	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Espècie *Reg *Bloc	0.0138	ns	<0.0001	<0.0001	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Model	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	ns	0.0075	<0.0001	<0.0001	ns	0.0388	<0.0001
Reg	ns	<0.0001	<0.0001	<0.0001	ns	ns	<0.0001	<0.0001	ns	ns	<0.0001
Bloc	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	ns	ns	<0.0001	<0.0001	ns	ns	<0.0001
Reg * Bloc	0.0002	<0.0001	<0.0001	<0.0001	ns	ns	<0.0001	<0.0001	ns	0.0155	<0.0001
NPCI											
Espècie	ns	<0.0001	<0.0001	<0.0001	ns	ns	<0.0001	ns	ns	ns	<0.0001
Espècie * Reg	ns	0.0122	<0.0001	<0.0001	ns	0.0203	ns	ns	ns	ns	0.0001
Espècie *Reg *Bloc	0.0414	<0.0001	<0.0001	<0.0001	ns	0.0318	ns	ns	ns	ns	<0.0001
Model	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	ns	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	ns	<0.0001
Reg	<0.0001	0.0002	<0.0001	<0.0001	ns	<0.0001	<0.0001	<0.0001	ns	ns	<0.0001
Bloc	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	ns	<0.0001	0.0008	0.0002	<0.0001	ns	<0.0001
Reg * Bloc	<0.0001	0.0003	<0.0001	<0.0001	ns	0.001	ns	0.0015	ns	ns	<0.0001
SIPI											
Espècie	<0.0001	0.0004	0.0156	<0.0001	ns	0.0171	<0.0001	ns	ns	ns	<0.0001
Espècie * Reg	<0.0001	<0.0001	ns	<0.0001	ns	ns	ns	<0.0001	ns	ns	<0.0001
Espècie *Reg *Bloc	<0.0001	<0.0001	ns	<0.0001	ns	ns	ns	0.0162	ns	ns	0.0087

^{ns} Diferències no significatives per p > 0.05.

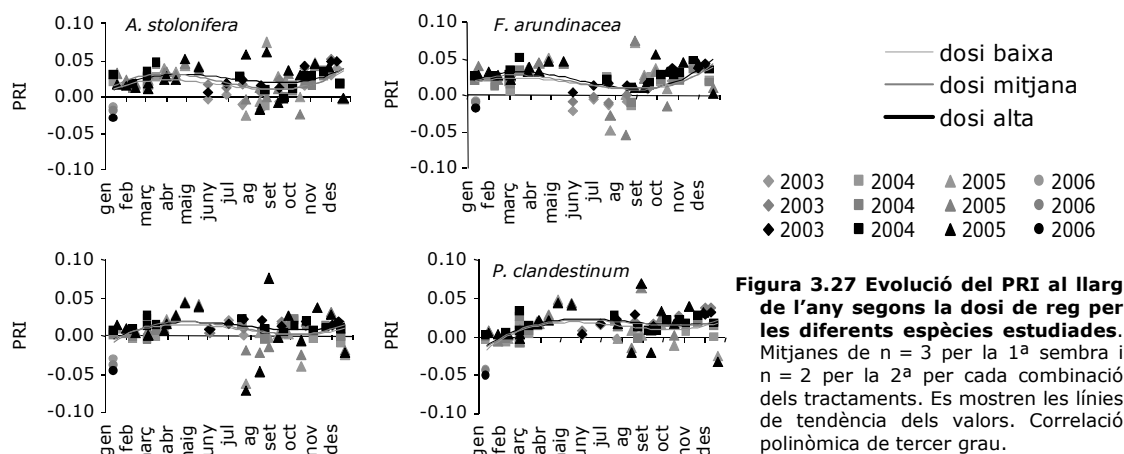
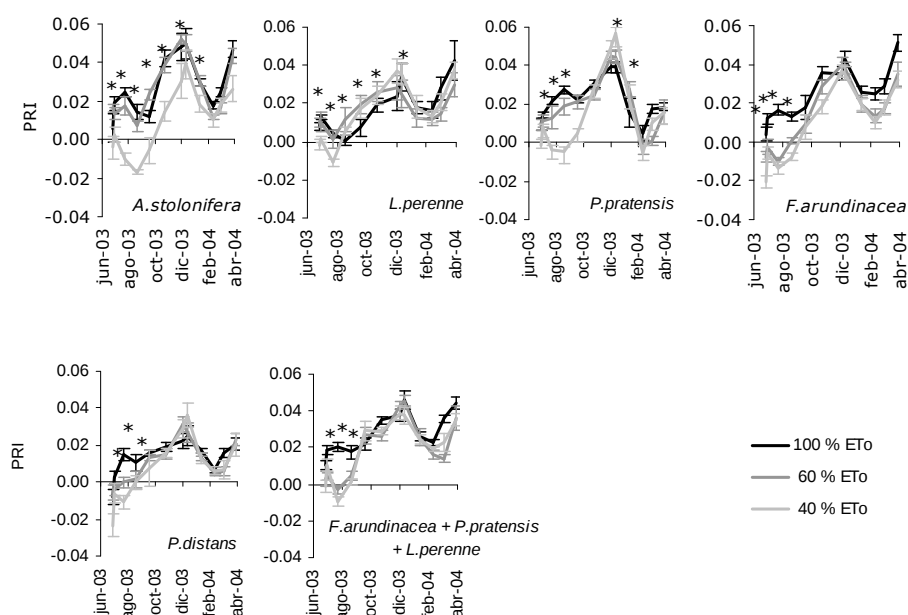
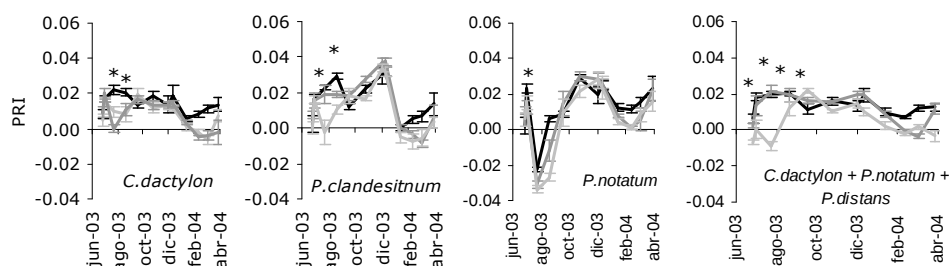
**Espècies C₃****Espècies C₄**

Figura 3.28 Evolució de l'índex PRI en funció del tractament de reg, a la primera sembra. Mitjanes de $n = 3$. Les línies verticals representen l'error estàndard. Els asteriscs representen diferències significatives entre tractaments de reg, $p \leq 0.05$.

La correlació entre el PRI i el contingut relatiu de clorofil·les a l'estiu és significativa pels tractaments de reg mitjà i alt, en canvi no és significativa amb Fv/Fm (Figura 3.29). Si tenim en compte també la tador i hivern les tendències canvien sobretot amb la Fv/Fm, ja que s'hi afegixen els efectes de la dormició de les espècies C₄. El PRI també es correlaciona amb l'SPAD segons les espècies (Figura 3.30) i també amb altres índexs espectralradiomètrics com Chl a/b, NPQI, NPCI i SIPI.

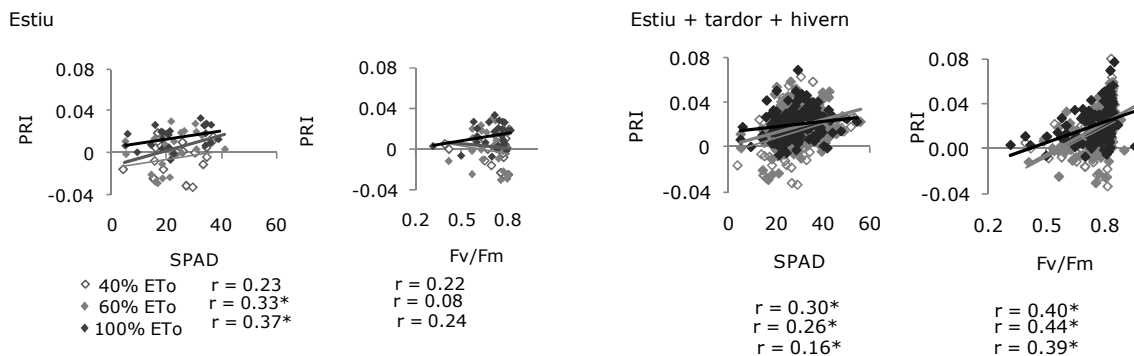


Figura 3.29 Correlació entre l'índex PRI i el contingut relatiu de clorofil·les, SPAD i amb el quocient fluorescència de la clorofil·la variable/fluorescència màxima, Fv/Fm, en funció del reg. L'asterisc indica rectes significatives, $p \leq 0.1$. $n = 30$ i 130 per l'estiu i per 'Estiu + tardor + hivern' respectivament.

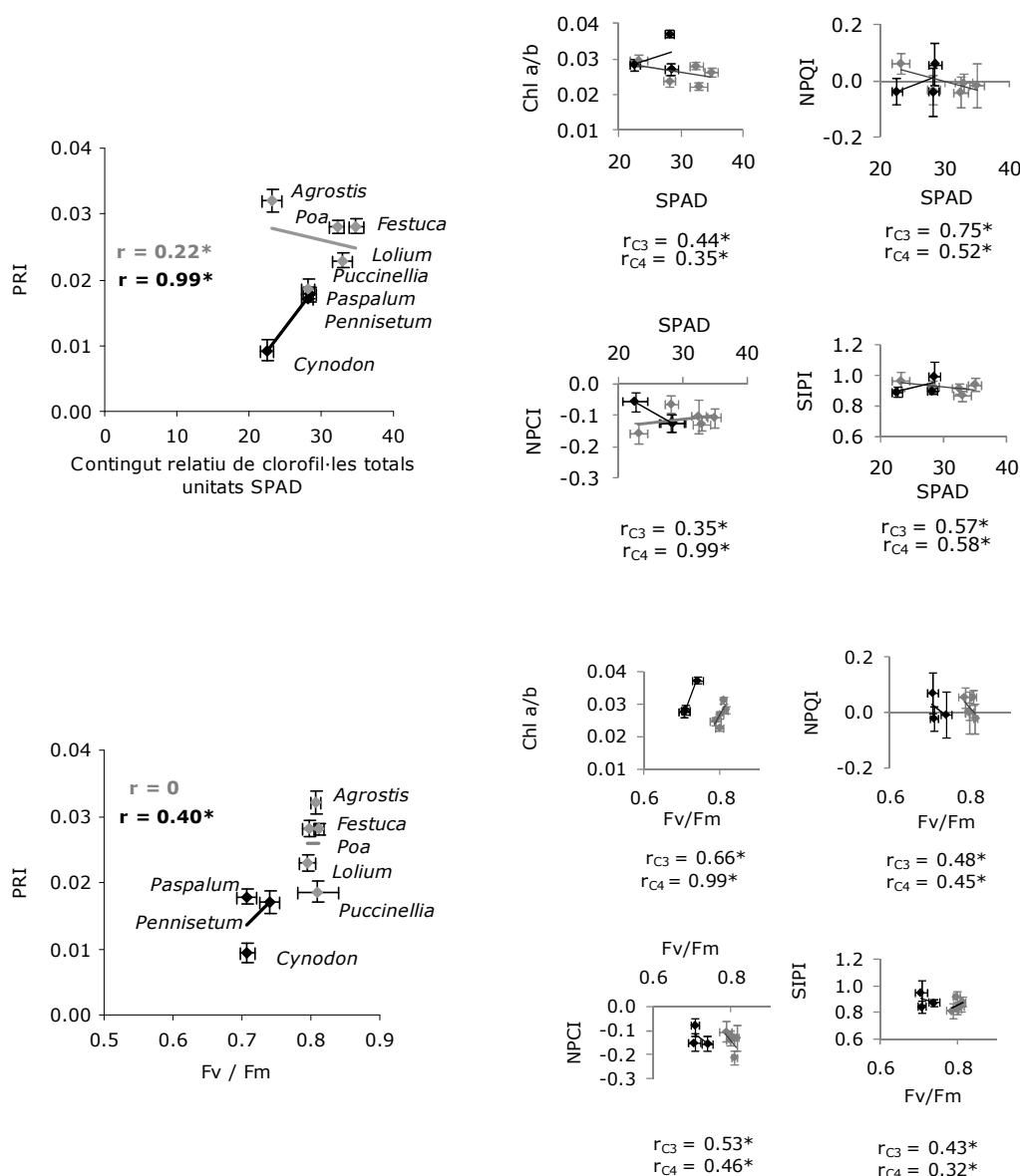


Figura 3.30 Correlació dels índex PRI, Chl a/b, NPQI, NPCI i SIPI amb el contingut relatiu de clorofil·les, SPAD i amb el quocient fluorescència de la clorofil·la variable / fluorescència màxima, Fv/Fm. En gris correlació de les espècies C₃ i en negre, de les C₄. Les barres representen l'error estàndard de $n = 135$ pel PRI i $n = 45$ per l'SPAD i Fv/Fm. L'asterisc indica la correlació estadísticament significativa, $p \leq 0.05$.

La correlació del PRI amb la Fv/Fm va ser significativa en les espècies C_4 (Figura 3.30). Les C_4 mostren un rang de valors més ampli tant de fluorescència com del PRI i són les que prenen valors mitjans i baixos del quocient Fv/Fm. També són significatives les correlacions amb Chl a/b, NPQI, NPCI i SIPI.

En el primer període de l'assaig, s'arrenquen les males herbes a les parcel·les sense sembrar. Després es deixa prosperar la vegetació espontània excepte els tractaments d'herbicida selectiu per dicotiledònies al maig i agost del 2003, i febrer del 2004. De manera que els índexs espectroradiomètrics mostren els valors de sòl nu, en el primer període (Figura 3.31).

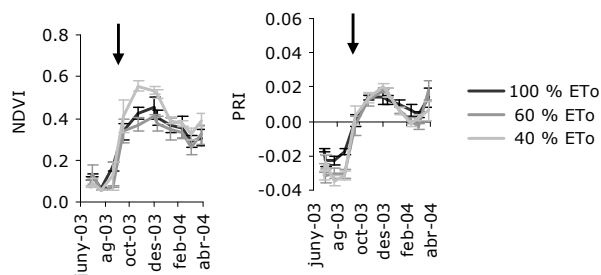


Figura 3.31 Evolució del NDVI i PRI de les parcel·les sense sembrar en funció del tractament de reg, a la primera sembra. Mitjanes de $n = 3$. Les línies horitzontals representen l'error estàndard. Les fletxes indiquen la data en què es va deixar de realitzar el control de males herbes a les parcel·les, per tant, el primers període mostra els resultats del sòl nu, mentre el segon, la vegetació espontània.

WI, Water index i WI/NDVI

A diferència dels índexs anteriors, el WI no va mostrar un comportament marcat al llarg de l'any però en la primera sembra disminuïa al llarg de l'assaig. Es va diferenciar entre espècies (Taula 3.19 i Figures 3.32 i 3.33). El tractament de reg elevat mostrava valors inferiors a l'hivern (Figura 3.33). Al relacionar el WI amb el NDVI es mostren unes tendències més clares, amb mínims a l'estiu en les espècies C_4 . Els valors alts de WI/NDVI corresponen a *P. clandestinum* a l'hivern i *C. dactylon* a l'hivern i primavera (Figura 3.34).

La correlació entre el RWC i el WI va ser estadísticament significativa (Figura 3.35), però no va correlacionar significativament amb la tensió del sòl.

Taula 3.19 Evolució del *Water Index*, *WI* i el *WI/NDVI*

Valors de p de l'anàlisi de variància en mesures repetides per determinar l'efecte dels tractaments en el temps. n = 9 per cada combinació de tractaments a la primera sembra i n = 6 a la segona. Tractaments: espècie de gespa; dosi de reg (baixa, mitjana i alta respecte a l'ETo).

		1a sembra				2a sembra					
		2003		2004		2004		2005			
		estiu	tardor	hivern	primavera	estiu	tardor	hivern	primavera	estiu	tardor
WI	Model	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	ns	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0015
	Reg	ns	ns	<0.0001	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Bloc	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	ns	<0.0001	0.004	<0.0001	<0.0001	0.0014
	Reg * Bloc	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	ns	0.0209	<0.0001	0.0076	<0.0001	ns
	Espècie	0.0008	<0.0001	<0.0001	<0.0001	ns	0.0024	<0.0001	0.0009	ns	<0.0001
	Espècie * Reg	<0.0001	<0.0001	0.001	<0.0001	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Espècie * Reg * Bloc	<0.0001	<0.0001	0.0046	<0.0001	ns	ns	ns	ns	ns	ns
WI / NDVI	Model	<0.0001	<0.0001	ns	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0078	<0.0001
	Reg	<0.0001	ns	ns	0.0384	<0.0001	0.0049	0.0009	ns	0.0034	ns
	Bloc	ns	0.0153	ns	ns	ns	0.002	ns	ns	ns	ns
	Reg * Bloc	0.0003	<0.0001	ns	0.0005	0.0501	ns	ns	0.0109	0.0063	ns
	Espècie	<0.0001	<0.0001	ns	<0.0001	0.0009	<0.0001	<0.0001	<0.0001	ns	<0.0001
	Espècie * Reg	<0.0001	<0.0001	ns	0.0034	0.0005	ns	0.0015	ns	ns	ns
	Espècie * Reg * Bloc	ns	<.0001	ns	<0.0001	ns	ns	ns	ns	ns	ns

^{ns} Diferències no significatives per p > 0.05.

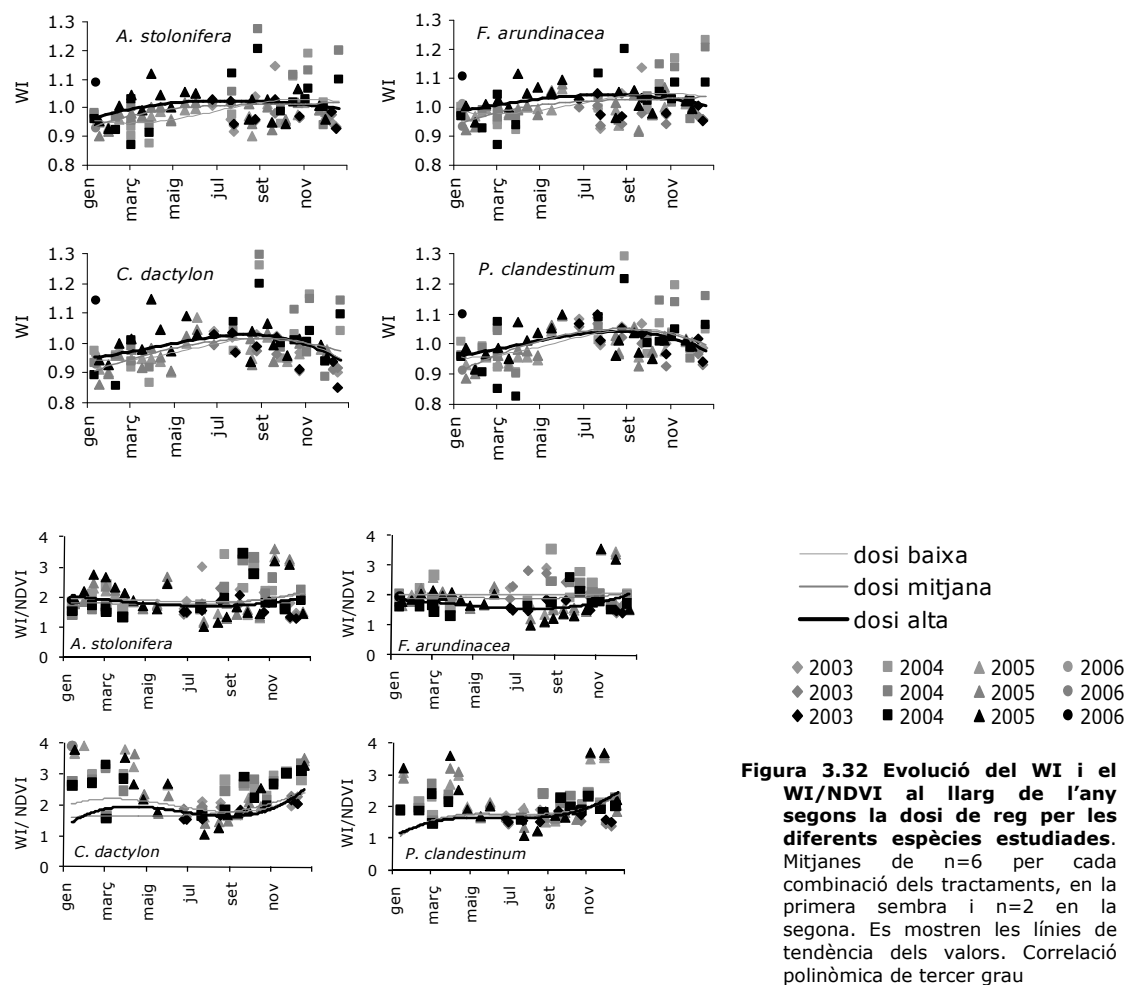


Figura 3.32 Evolució del WI i el WI/NDVI al llarg de l'any segons la dosi de reg per les diferents espècies estudiades. Mitjanes de $n=6$ per cada combinació dels tractaments, en la primera sembra i $n=2$ en la segona. Es mostren les línies de tendència dels valors. Correlació polinòmica de tercer grau

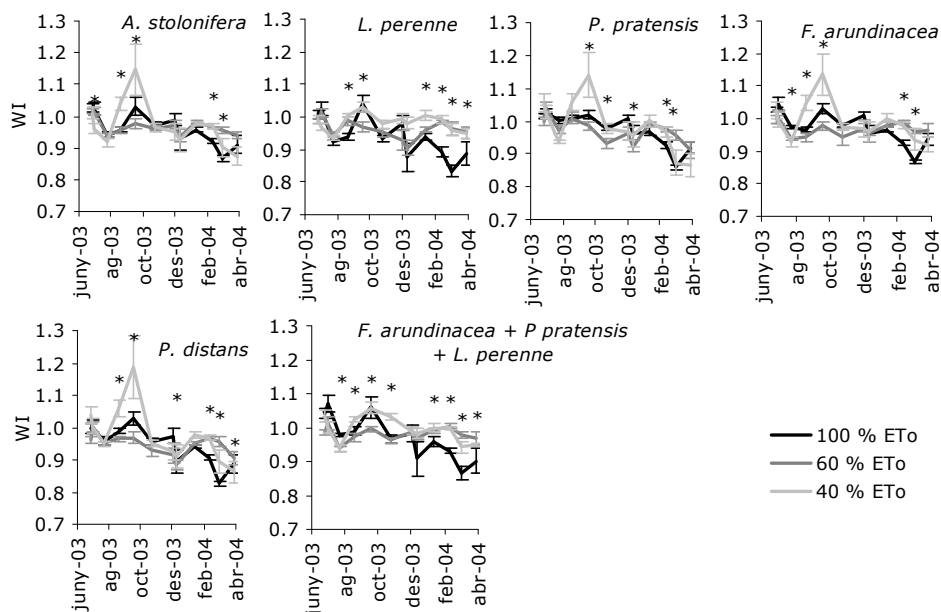
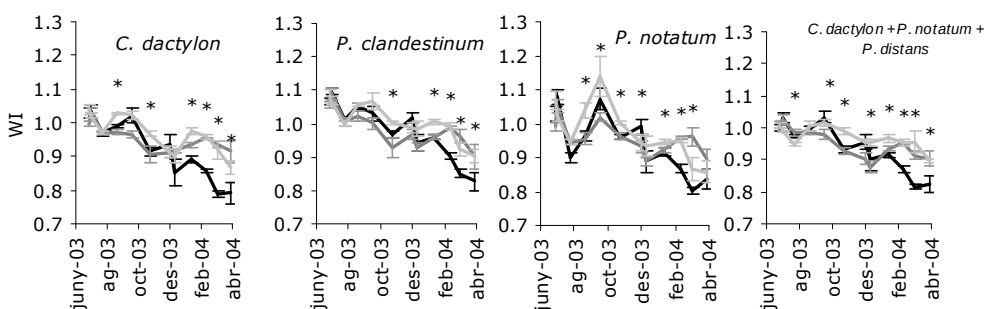
Especies C₃Especies C₄

Figura 3.33 Evolució de l'índex espectralradiomètric WI de la gespa en funció del tractament de reg, a la primera sembra. Mitjanes de $n = 3$. Les línies verticals representen l'error estàndard. Els asteriscs representen diferències significatives entre tractaments de reg, $p \leq 0.05$.

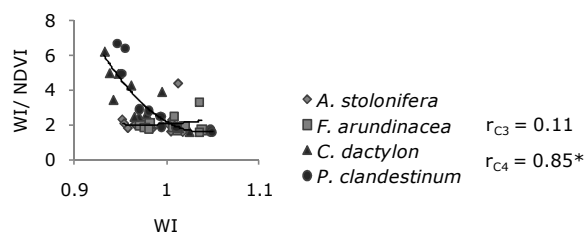


Figura 3.34 Correlació de l'índex WI amb el WI/NDVI. En gris les espècies C₃ i en negre les C₄. L'asterisc indica la correlació estadísticament significativa, $p \leq 0.05$.

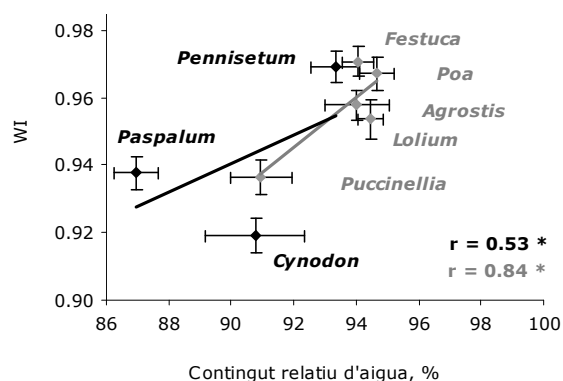


Figura 3.35 Correlació de l'índex WI amb el contingut relatiu d'aigua, RWC. En gris les espècies C₃ i en negre les C₄. Les barres representen l'error estàndard. Dades des de l'octubre del 2003 fins al febrer del 2004. Correlacions estadísticament significatives, $p \leq 0.05$.

3.4.9 Índexs derivats de fotografies digitals

Els índexs derivats de fotografies van obtenir valors més alts en la dosi de reg alta a l'estiu (Figura 3.36). En general els valors eren més elevats a l'estiu, seguit de la primavera i la tardor. *F. arundinacea* va ser l'espècie amb els valors més alts durant l'any.

El percentatge d'àrea verda i l'índex de verdor es correlacionen significativament amb la tonalitat de color, H (Figura 3.37). L'àrea verda no és tan sensible als extrems del seu rang de valors.

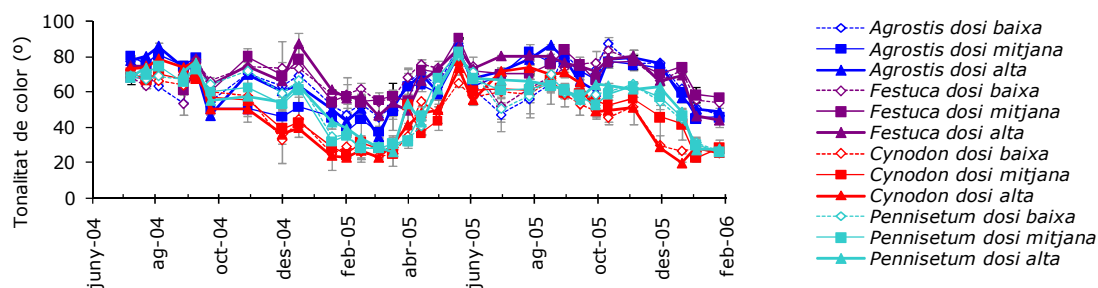


Figura 3.36 Evolució la tonalitat de color durant l'assaig en funció de la dosi de reg per les espècies. Comparar amb la Figura 3.39. La tonalitat de color és: vermell, 0°; groc, 60°; verd 120°; cian, 180°; blau, 240° i magenta, 300°. Les línies verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor. n=2 per cada combinació dels tractaments.

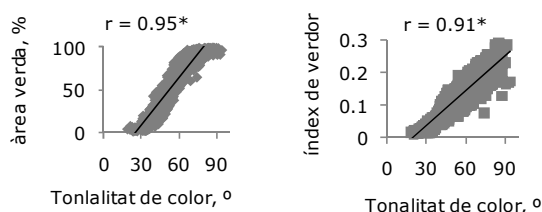


Figura 3.37 Correlació de la tonalitat de color amb l'índex àrea verda i índex de verdor. La tonalitat de color és: vermell, 0°; groc, 60°; verd 120°; cian, 180°; blau, 240° i magenta, 300°. Àrea verda és el percentatge de píxels de la imatge amb tonalitat de color entre 60° i 180°. L'índex de verdor és el tant per 1 de verd respecte al vermell i el blau. Valors baixos indiquen gespa cloròtica o necròtica. El llindar del verd és entre 0.15 i 0.2. Rectes estadísticament significatives n= 726, p ≤ 0.05.

El percentatge d'àrea verda va ser més elevat en les espècies C₃ que en les C₄ (Taula 3.20 i Figura 3.38). Sobretot a causa del període d'aturada hivernal que pateixen les segones. Aquest es produeix primer en *C. dactylon* que en *P. clandestinum*. Destaquem els valors baixos a l'estiu en el tractament de reg baix a les espècies C₃.

L'H en totes les espècies va disminuir a la primavera respecte a la tardor, en *A. stolonifera* i *P. pratensis* es va recuperar als mesos següents a diferència d'altres, com *P. clandestinum* (Taula 3.21 i Figura 3.39). En general les C₃ tenien valors més elevats, excepte a l'estiu. Destaquem però els valors alts de *P. notatum* i *P. clandestinum* a la tardor. El comportament al llarg de l'any era semblant a l'àrea verda. A l'hivern les espècies C₃ presentaven valors iguals o inferiors a 60°, llindar que es té en compte per quantificar la cobertura. Totes les espècies excepte *P. clandestinum* es van mostrar sensibles al reg a l'estiu.

De la mateixa manera que els anteriors, l'índex de verdor va disminuir a l'hivern en les C₃, però a diferència de les C₄, es recuperava ràpidament a la primavera sobretot en *A. stolonifera*, *P. pratensis* i la mescla de *F. arundinacea* + *P. pratensis* + *L. perenne* (Taula 3.22 i Figura 3.40). *C. dactylon* i la mescla de *C. dactylon* + *P. notatum* + *P. distans* van mostrar els valors inferiors a la tardor - hivern. En *F. arundinacea*, el tractament de reg mitjà es distingia del reg elevat mentre que en *A. stolonifera* no passava.

Taula 3.20 Evolució del percentatge d'àrea verda a partir de fotografies digitals

A la part superior de la taula es mostren les mitjanes de cada nivell de tractaments. *Fe+Po+Lo* correspon a la mescla de *F arundinacea* + *P pratensis* + *L perenne* i *Cy+Pa+Pu* a *C dactylon* + *P notatum* + *P distans*. Buida és la parcel·la sense sembrar. Dosi de reg (baixa, mitjana i alta respecte a l'ETo). A la segona part hi ha els valors de p de l'anàlisi de variància per determinar l'efecte dels tractaments en el temps. n = 3 per cada combinació de tractaments a la primera sembra i n = 2 a la segona.

Factor	1a sembra			2a sembra						
	2003	2004	primavera	2004	2005				2006	
	tardor	hivern		estiu	tardor	hivern	primavera	estiu	tardor	hivern
Espècie										
C ₃										
<i>A. stolonifera</i>	64.57 c*	75.70 a	88.08 a	86.52 a	57.90 b	32.00 b	90.08 a	88.88 a	87.22 a	39.07 b
<i>F. arundinacea</i>	72.77 bc	63.68 b	86.68 a	79.95 b	78.21 a	56.56 a	89.25 a	87.10 a	87.68 a	54.62 a
<i>L. perenne</i>	51.97 d	54.73 b	76.98 b							
<i>P. pratensis</i>	83.17 abc	74.18 a	92.71 a							
<i>P. distans</i>	74.91	41.86 d	66.73 c							
Fe + Po + Lo	46.13	30.49 d	43.68 d							
C ₄										
<i>C. dactylon</i>	39.94 d	5.16 e	13.87 g	87.92 a	26.87 c	2.91 d	53.65 c	79.44 b	40.13 c	3.48 c
<i>P. notatum</i>	80.92 abc	26.44 d	46.64 d							
<i>P. clandestinum</i>	88.09 a	31.63 d	30.28 e	85.27 ab	61.60 b	6.14 c	66.34 b	75.91 b	69.00 b	3.07 c
<i>Z. japonica</i>	47.12 d	6.72 e	22.02 f							
Cy + Pa + Pu	52.29 d	33.13 d	40.42 d							
Buida	48.22 d	30.64 d	27.86 e							
Model	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Reg	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Bloc	ns	0.0403	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Reg * bloc	<0.0001	ns	ns	0.0397	ns	0.0043	ns	ns	ns	ns
Espècie	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0541	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Espècie * reg	ns	ns	ns	0.019	ns	ns	ns	ns	ns	0.0227

^a Àrea verda és el percentatge de píxels de la imatge amb tonalitat de color entre 60° i 180°.

*Dins de cada factor i estació, les mitjanes seguides de diferent lletra difereixen significativament $p \leq 0.05$ pel test de Duncan.

^{ns} Diferències no significatives per $p > 0.05$.

Taula 3.21 Evolució de l'angle de tonalitat de color a partir de fotografies digitals

A la part superior de la taula es mostren les mitjanes de cada nivell de tractaments. *Fe+Po+Lo* correspon a la mescla de *F arundinacea* + *P pratensis* + *L perenne* i *Cy+Pa+Pu* a *C dactylon* + *P notatum* + *P distans*. Buida és la parcel·la sense sembrar. Dosi de reg (baixa, mitjana i alta respecte a l'ETo). A la segona part hi ha els valors de p de l'anàlisi de variància per determinar l'efecte dels tractaments en el temps. n = 3 per cada combinació de tractaments a la primera sembra i n = 2 a la segona.

		1a sembra					2a sembra				
		2003	2004		2004		2005				2006
Factor		tardor	hivern	primavera	estiu	tardor	hivern	primavera	estiu	tardor	hivern
Espècie											
C ₃	<i>A. stolonifera</i>	74.36 a*	66.44 a	77.51 ab	74.67 a	58.13 b	46.40 b	68.30 a	72.18 a	71.98 a	48.02 b
	<i>F. arundinacea</i>	74.86 a	62.65 bc	84.12 a	69.26 b	71.75 a	56.28 a	72.10 a	72.53 a	73.83 a	52.49 a
	<i>L. perenne</i>	62.85 c	60.09 c	74.35 b							
	<i>P. pratensis</i>	72.90 ab	54.98 d	64.06 c							
	<i>P. distans</i>	61.35 c	50.54 de	56.93 cde							
	Fe + Po + Lo	79.84 a	66.18 ab	81.85 a							
C ₄	<i>C. dactylon</i>	56.50 c	38.08 f	43.54 g	70.68 b	47.00 c	26.26 d	53.30 b	63.74 b	44.13 c	26.49 c
	<i>P. notatum</i>	78.31 a	49.98 e	57.97 cd							
	<i>P. clandestinum</i>	77.27 a	51.79 de	49.93 efg	70.30 b	60.40 b	32.11 c	59.50 b	60.85 b	57.45 b	28.22 c
	<i>Z. japonica</i>	65.43 bc	50.85 e	55.28 def							
	Cy + Pa + Pu	59.54 c	39.50 f	47.95 fg							
Buida		58.89 c	50.03 f	49.37 fg							
Model		<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0043	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Reg		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Bloc		<0.0001	ns	0.0439	ns	0.0305	ns	ns	ns	ns	ns
Reg * Bloc		<0.0001	0.0252	ns	0.0166	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Espècie		<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0044	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Espècie * Reg		ns	ns	ns	0.0095	ns	ns	ns	ns	ns	0.0067

^a La tonalitat de color és: vermell, 0°; groc, 60°; verd 120°; cian, 180°; blau, 240° i magenta, 300°.

*Dins de cada factor i estació, les mitjanes de diferent lletra difereixen significativament $p \leq 0.05$ pel test de Duncan.

^{ns} Diferències no significatives per $p > 0.05$.

Taula 3.22 Evolució de l'índex de verdor a partir de fotografies digitals

A la part superior de la taula es mostren les mitjanes de cada nivell de tractaments. *Fe+Po+Lo* correspon a la mescla de *F arundinacea* + *P pratensis* + *L perenne* i *Cy+Pa+Pu* a *C dactylon* + *P notatum* + *P distans*. Buida és la parcel·la sense sembrar. Dosi de reg (baixa, mitjana i alta respecte a l'ETo). A la segona part hi ha els valors de p de l'anàlisi de variància per determinar l'efecte dels tractaments en el temps. n = 3 per cada combinació de tractaments a la primera sembra i n = 2 a la segona.

		1a sembra			2a sembra						
		2003	2004				2005				2006
Factor		tardor	hivern	primavera	estiu	tardor	hivern	primavera	estiu	tardor	hivern
Espècie											
C ₃	<i>A. stolonifera</i>	0.13 a*	0.15 ab	0.16 b	0.16	0.12 b	0.08 b	0.18 b	0.17 b	0.19 a	0.12 b
	<i>F. arundinacea</i>	0.12 a	0.14 bc	0.18 ab	0.17	0.16 a	0.12 a	0.22 a	0.19 a	0.19 a	0.14 a
	<i>L. perenne</i>	0.08 b	0.12 de	0.16 b							
	<i>P. pratensis</i>	0.13 a	0.13 cd	0.14 c							
	<i>P. distans</i>	0.06 b	0.07 f	0.09 d							
	Fe + Po + Lo	0.16 a	0.16 a	0.20 a							
C ₄	<i>C. dactylon</i>	0.07 b	0.03 g	0.04 e	0.17	0.07 c	0.02 d	0.12 c	0.16 b	0.10 c	0.02 c
	<i>P. notatum</i>	0.13 a	0.07 f	0.08 d							
	<i>P. clandestinum</i>	0.15 a	0.11 e	0.08 d	0.18	0.13 b	0.03 c	0.15 b	0.17 b	0.16 b	0.02 c
	<i>Z. japonica</i>	0.07 b	0.08 e	0.08 d							
	Cy + Pa + Pu	0.07 b	0.03 g	0.05 e							
Buida		0.07 b	0.07 f	0.06 de							
Model		<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Reg		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Bloc		<0.0001	0.0107	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Reg * Bloc		<0.0001	ns	ns	ns	ns	0.0022	ns	ns	ns	ns
Espècie		<0.0001	<0.0001	<0.0001	ns	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0003	<0.0001	<0.0001
Espècie * reg		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

^a Tant per 1 de verd respecte al vermell i el blau. Valors baixos de l'índex indiquen gespa cloròtica o necròtica. El llindar del verd és entre 0.15 i 0.2.

*Dins de cada factor i estació, les mitjanes seguides de diferent lletra difereixen significativament p ≤ 0.05 pel test de Duncan.

^{ns} Diferències no significatives per p > 0.05.

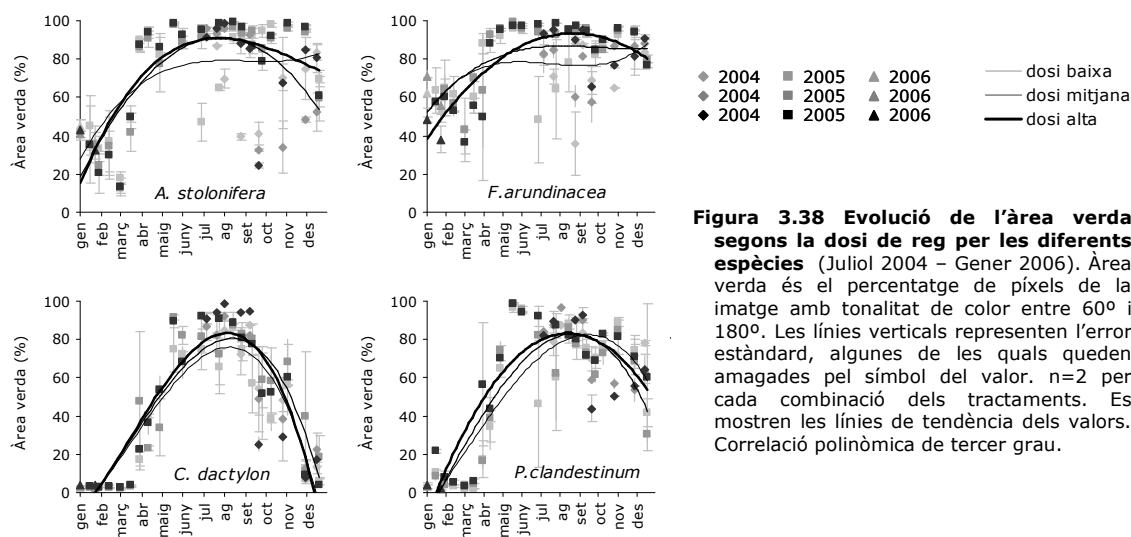


Figura 3.38 Evolució de l'àrea verda segons la dosi de reg per les diferents espècies (Juliol 2004 – Gener 2006). Àrea verda és el percentatge de píxels de la imatge amb tonalitat de color entre 60° i 180°. Les línies verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor. n=2 per cada combinació dels tractaments. Es mostren les línies de tendència dels valors. Correlació polinòmica de tercer grau.

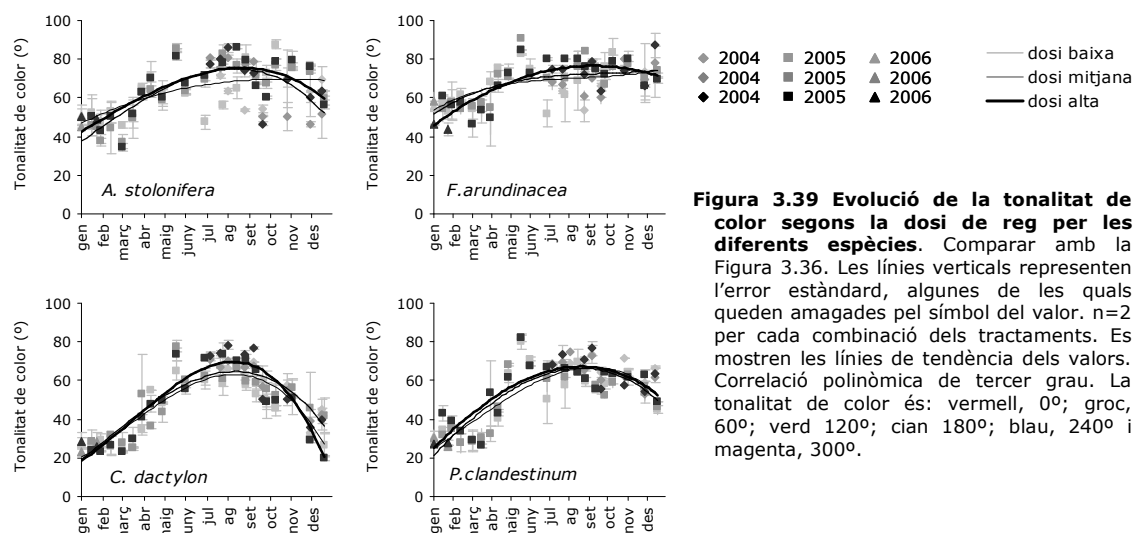


Figura 3.39 Evolució de la tonalitat de color segons la dosi de reg per les diferents espècies. Comparar amb la Figura 3.36. Les línies verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor. n=2 per cada combinació dels tractaments. Es mostren les línies de tendència dels valors. Correlació polinòmica de tercer grau. La tonalitat de color és: vermell, 0°; groc, 60°; verd 120°; cian 180°; blau, 240° i magenta, 300°.

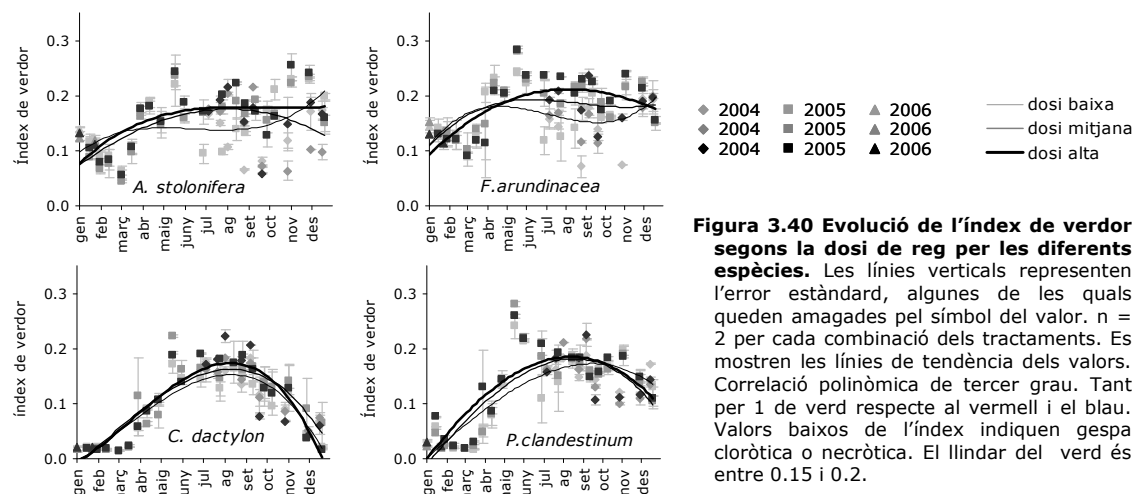
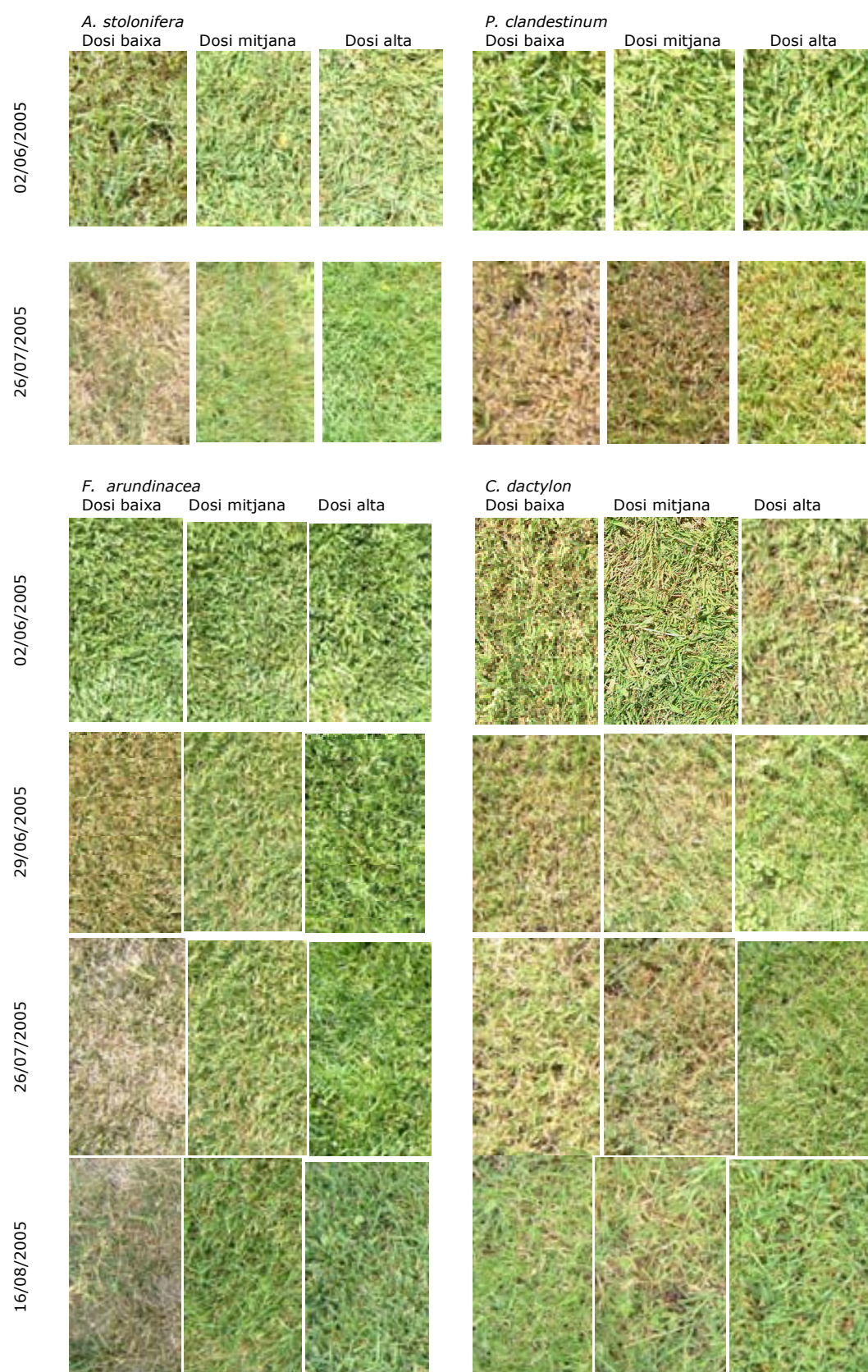


Figura 3.40 Evolució de l'índex de verdor segons la dosi de reg per les diferents espècies. Les línies verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor. n = 2 per cada combinació dels tractaments. Es mostren les línies de tendència dels valors. Correlació polinòmica de tercer grau. Tant per 1 de verd respecte al vermell i el blau. Valors baixos de l'índex indiquen gespa cloròtica o necròtica. El llindar del verd és entre 0.15 i 0.2.

Taula 3.23 Evolució d'*A. stolonifera* (C₃), *P. clandestinum* (C₄), *F. arundinacea* (C₃) i *C. dactylon* (C₄) a l'estiu del 2005 en funció de la dosi de reg



Els índexs van ser significatius respecte a la tensió del sòl (Figures 3.41 i 3.42). L'àrea verda disminuïa un 20% en *A. stolonifera*; i la H, 10° en les espècies *C₃*. *P. clandestinum* és l'espècie que va incrementar més la tensió del sòl en el reg baix i es va marcir a l'estiu, igual que la resta d'espècies, mostrant valors de H de 60° (Taula 3.23).

Les correlacions entre el NDVI i el RWC eren semblants a les obtingudes entre la H i el RWC, però no significatives (Figura 3.43). Les diferències més importants van ser entre les estacions de l'any, sobretot en les espècies *C₄*, on la H canviava en més proporció que el RWC de fulles verdes al llarg de l'any.

La H va mostrar correlacions lineals positives i estadísticament significatives amb la qualitat i el NDVI, sobretot en les espècies *C₄* gràcies a la fenologia (Figures 3.44). Comparar amb la figura 3.22.

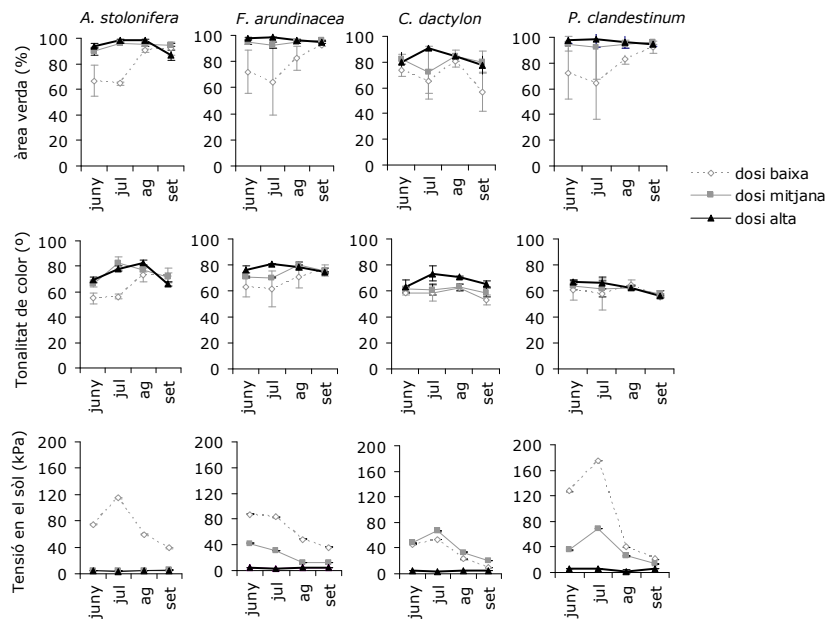


Figura 3.41 Evolució de l'àrea verda, index de verdor i tensió de l'aigua al sòl a l'estiu del 2005 segons les dosis de reg, $p \leq 0.05$. Àrea verda és el percentatge de píxels de la imatge amb tonalitat de color entre 60° i 180°. La tonalitat de color és: vermell, 0°; groc, 60°; verd 120°; cian 180°; blau, 240° i magenta, 300°. Les barres verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor. $n = 4$ pels índexs derivats de fotografies i $n = 2000$ per la tensió del sòl.

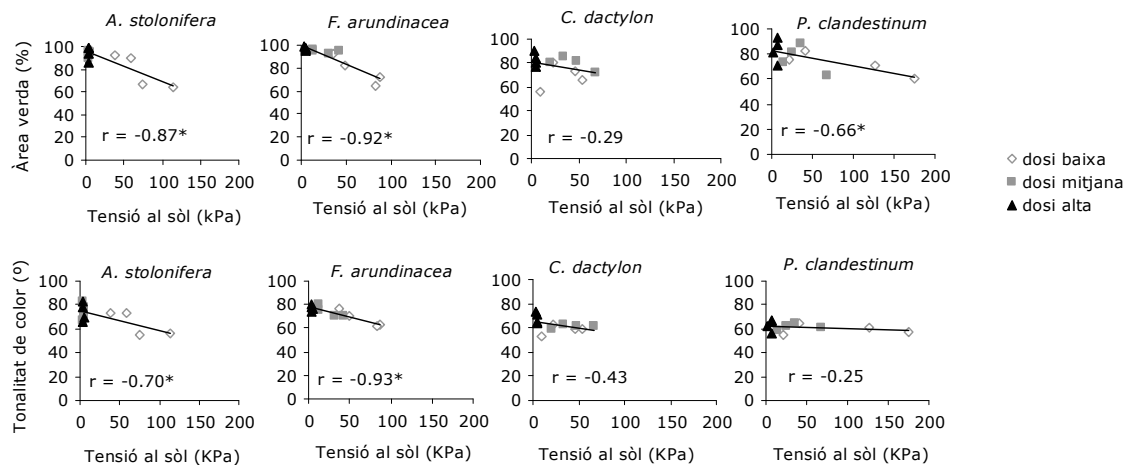
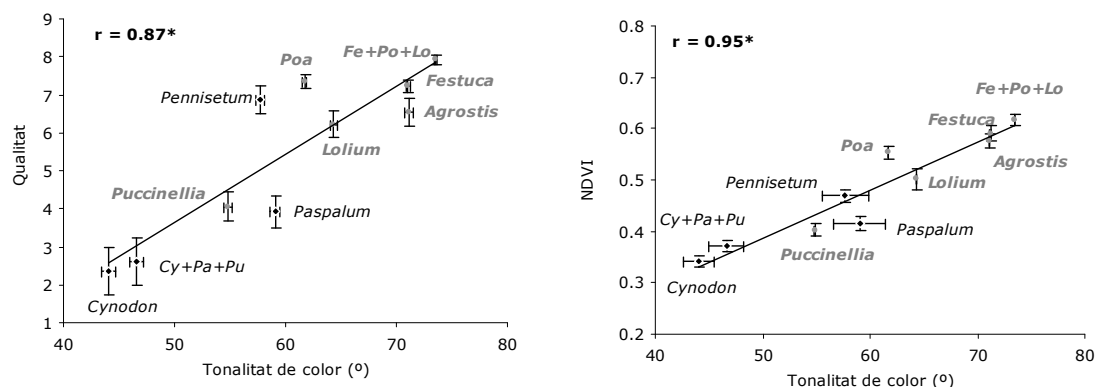
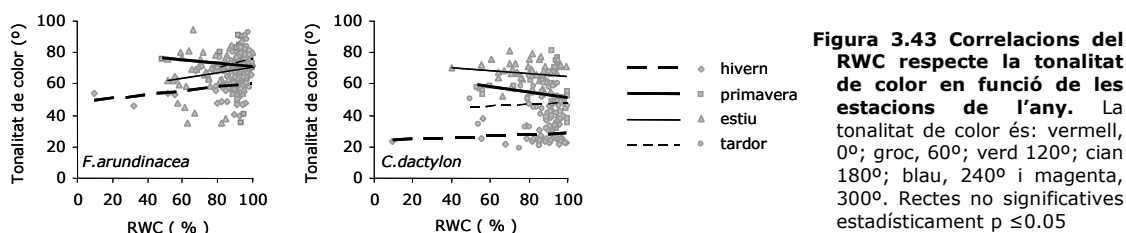
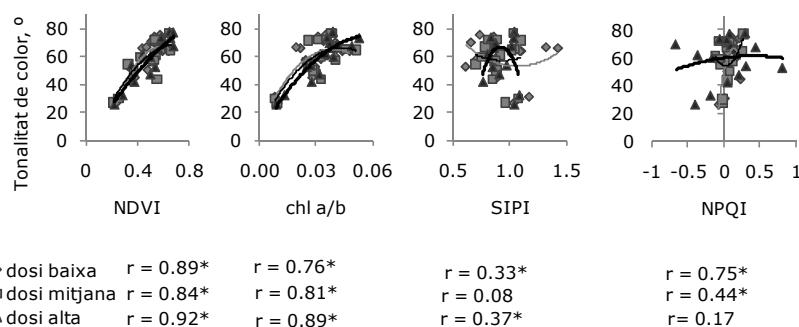


Figura 3.42 Correlació de l'àrea verda i la tonalitat de color amb la tensió de l'aigua al sòl a l'estiu del 2005 segons les dosis de reg. Àrea verda és el percentatge de píxels de la imatge amb tonalitat de color entre 60° i 180°. La tonalitat de color és: vermell, 0°; groc, 60°; verd 120°; cian 180°; blau, 240° i magenta, 300°. (*) Rectes significatives per a $p \leq 0.05$, $n = 12$.



La H es correlaciona amb el NDVI i el Chl a/b però amb el SIPI i el NPQI la tendència no és tan clara. No es marquen les diferències de reg (Figura 3.45). Sobretot es diferencien les espècies donant H més altes per a C_3 que les C_4 davant mateixos valors dels índexs Chl a/b i SIPI (Figura 3.46). Si ho separem per les estacions de l'any, s'observa com els valors més baixos de H es troben a l'hivern, però en canvi els més baixos de SIPI i NPQI són a la primavera (Figura 3.47). En general, els valors més alts, tant de H com dels índexs espectroradiomètrics, són a l'estiu.



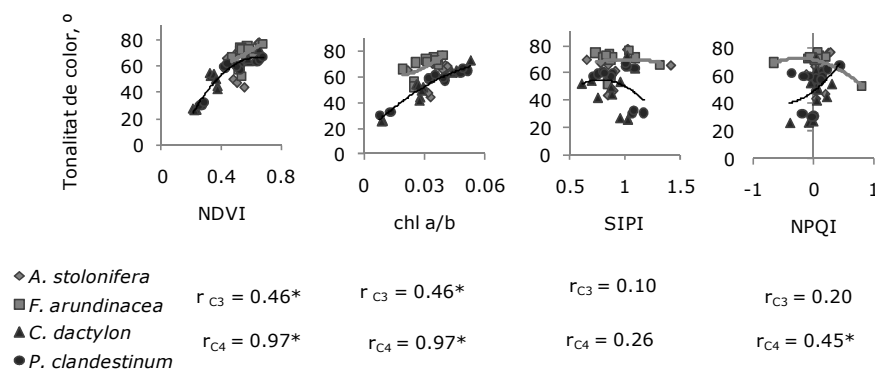


Figura 3.46
Correlacions lineals del NDVI respecte la tonalitat de color segons les espècies (Veure llegenda Figura 3.45).

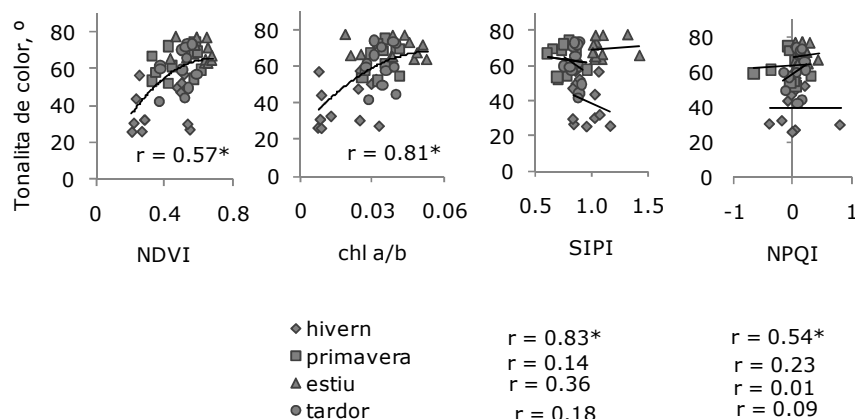


Figura 3.47
Correlacions lineals del NDVI respecte la tonalitat de color segons les estacions de l'any (Veure llegenda Figura 3.45).

3.5 DISCUSSIÓ

3.5.1 Qualitat de les gespes

De les C_3 , *Poa pratensis* és la que ha mostrat una millor resposta a la sequera. El reg del 60% ETo s'acceptaria per la qualitat suficient a l'estiu, obtenint resultats millors que Aronson *et al.* (1987) i Martiniello i D'Andrea (2006). Es comporta semblant a *Agrostis stolonifera*, però sense ser tant sensible al dèficit hídric en les mesures de coberta. La segona ha mostrat un ús eficient de l'aigua i millor que a Pessaraki i Kopeck (2008) i Salaiz *et al.* (1991). Gràcies al creixement estolonífer ha recuperat la cobertura als períodes favorables.

La baixa cobertura denota la sensibilitat a la sequera de *Lolium perenne*, com a Aronson *et al.* (1987), Norris (1985), Harivandi (1998), Jiang *et al.* (2009), Jiang i Fry (1998) i Turgeon (2006). Que el reg no garanteixi la qualitat indicaria la sensibilitat també a les altes temperatures (Du *et al.* 2008). Per la germinació i establiment ràpids, s'utilitza per ressemar gespes C_4 però és molt persistent i pot convertir-se en mala herba a regions de clima mediterrani (Izquierdo *et al.* 2003; Kneebone i Major 1969; Richardson *et al.* 2007).

Festuca arundinacea s'ha descrit com la cespitosa C_3 més resistent i tolerant a la sequera en les zones climàtiques on poden viure també les gespes C_4 (Aronson *et al.* 1987; Beard 1973; Ervin i Kroski 1998; Fry i Butler 1989; Shi *et al.* 2007; Wang i Bughara 2008 b). A Fry i Butler (1989), Fu *et al.* (2004) i Qian i Engelke (1999), la qualitat era acceptable regant com a mínim a 50 % de la ETo.

No hi ha masses estudis de *Puccinellia distans* com a gespa. La taxa d'establiment és baixa i presenta dormició a l'estiu (Qian i Mecham 2005; Semple *et al.* 2003). És moderadament nitròfila, tolera sòls bàsics i salins (Mintenko *et al.* 2002). Però sense ser originària de la Península Ibèrica, tendeix a augmentar a Catalunya en zones degradades (Pyke 2008). Segons això, les condicions limitants per altres espècies, l'haurien beneficiat respecte les males herbes. És per tant, una potencial espècie invasora.

Comparant *F. arundinacea* i *Pennisetum clandestinum* en la tensió de l'aigua al sòl durant l'assaig, la segona és molt més eficient en l'ús de l'aigua, per la relació entre el consum en proporció a la cobertura i biomassa que produeix. I degut a les diferents respostes fotosintètiques amb l'ús de l'aigua (Carmo-Silva *et al.* 2007; Cereti *et al.* 2004). Tolera l'estrès per sequera i pot viure amb una precipitació anual de d'entre 600 i 700 mm, taxa de pluviometria mitjana allunyada de la sequera (Skerman i Riveros 1990; Whiteman 1990). Presenta dormició de 4 mesos, a partir de 10°C i en surt a una temperatura del sòl superior als 15 °C (Miele *et al.* 2000). Només les glaçades produeixen necrosis als àpexs foliars. Els estams llargs i blancs són molt visibles, i donen un color platejat i heterogeni a la gespa, que proporciona una qualitat indesitjada (Galli *et al.* 2007). En dormició evita la invasió de males herbes. De fet en clima Mediterrani com a Catalunya, a València i a Califòrnia és invasora (Cudney *et al.* 1993; Herrero-Borgoñón *et al.* 1995; Pyke 2008; Wagner *et al.* 1999; Wilen i Holt 1996 a i b; Youngner *et al.* 1971). Produeix estolons de 45 a 78 cm presumptament gràcies a la real·locació de les reserves (Dong *et al.* 2005).

Paspalum notatum és de la mateixa família que *P. clandestinum* i es valora per la tolerància a la salinitat i a sòls àcids. Possiblement hagués necessitat unes pràctiques culturals més intenses ja que no s'ha establert. La dificultat de *Zoysia japonica* per instaurar-se és el principal inconvenient per usar-la perquè la sembra d'esqueix és costosa econòmicament (Landry i Choi 1995; Morris i Shearman 2000; Patton *et al.* 2004; Portz *et al.* 1981) A Cereti *et al.* (2004) *P. vaginatum* i *Z. japonica* mantenen una qualitat acceptable a 66 % de la ETo, espècies que s'estudien al capítol 4.

Cynodon dactylon s'ha mostrat resistent a la sequera, amb qualitat gairebé acceptable en el reg baix com a Cereti *et al.* (2004), Garrot i Mancino (1994) i Qian i Engelke (1999). En latència, el color marró és homogeni, qualitat que cada cop s'accepta més, si es garanteix la cobertura i manté les males herbes a nivell baix. *C. dactylon* és menys persistent que *P. clandestinum*, tot i que les dues són invasores. Així, de la mescla *C. dactylon* + *P. notatum* + *P. distans*, ha dominat la primera (capítol 6) i *P. distans* (*C*₃) s'ha desenvolupat a l'hivern. Al novembre, la temperatura mitjana diària voltava els 15°C en l'aturada hivernal (Dunn *et al.* 1994; Salehi i Khosh-Khui 2004). Les barreges de *C*₃ i *C*₄ poden mantenir la gespa verda (Gates *et al.* 1999; Pitman 1999). Però són difícils de mantenir per les necessitats diferents segons el tipus fotosintètic (Turgeon 2006).

El dèficit hídric disminueix la cobertura de la gespa i permet la colonització per males herbes, com a Dernoeden *et al.* (1994), però a Bell *et al.* (1999) per exemple el reg no influeix. Les diferències en períodes de baixa demanda evaporativa es deuen a la fenologia de les males herbes i les gespes (Qian i Engelke 1999).

Els herbicides sistèmics de fulla ampla permeten controlar les dicotiledònies. Però només els de preemergència eliminen les monocotiledònies, sense afectar a la gespa (Carroll *et al.* 1996; Johnson 1973). La presència de males herbes depèn, en part, de la morfologia i les característiques de la coberta de gespa: densitat de tiges, amplada i angle de les fulles per la intercepció de la llum, etc. (Busey 2003). La densitat de tiges és un dels criteris de selecció per la millora de varietats, però porta associat el feltre (Beard *et al.* 2001; Stier i Hollman 2003). Les gespes estoloníferes i rizomatoses afavoreixen una cobertura elevada que sumat a la capacitat competitiva i/o al·lelopàtica pot reduir les males herbes (respecte a *C. dactylon* veure capítols 5 i 6). A Lickfeldt *et al.* (2001), Luu *et al.* (1982) i Peters i Mohammed Zam (1981), *F. arundinacea* tenia efectes al·lelopàtics sobre *Digitaria sanguinalis* i *Poa annua*, l'altra mala herba abundant, també és sensible al·lelopàticament.

L'alçada i freqüència de sega sovint es regeix pels usos de la gespa (Busey 2003; Jagschitz i Ebdon 1985). Però pot limitar la fructificació i l'augment de banc de llavors de males herbes (Busey 2003). A més, influeix en la situació dels meristems i la brotació. D'altra banda afavoreix la dispersió de propàguls d'espècies estoloníferes, com a Fernández (2003). Així, la mida de les parcel·les disminueix l'expansió a

les adjacents, però també hi afecten les restes de rizomes de *P. clandestinum*, d'un any al següent per exemple.

3.5.2 Biomassa

La producció d'*A. stolonifera* elevada respecte a Garling i Bohem (2001) i Lehman i Engelke (1991) podria ser per la densitat de plantes (Caminos i Estévez 2001; Salehi i Khrish-khui 2004). En canvi, a *L. perenne*, *P. pratensis*, *F. arundinacea* ha estat baixa a l'estiu en part per una infecció fúngica, freqüent en aquestes espècies (Grime i Hunt 1975 citat per Richardson 2004; Jiang *et al.* 1998; Liu *et al.* 2008; Mangiafico i Guillard 2007; Qian i Engelke 1999; Richardson *et al.* 2007; Salehi i Khosh-Khui 2004; Shi *et al.* 2007; Su *et al.* 2007). La producció de la mescla C₃ va coincidir amb Mangiafico i Guillard (2007) i Salehi i Khosh-Khui (2004), i és equivalent a les parcel·les monoespecífiques. *P. distans* va mantenir una producció equivalent a les altres C₃ on cobria, però un 15% inferior a Tarasoff *et al.* (2007) per exemple, corroborant el pobre establiment.

P. clandestinum es caracteritza per l'elevada producció i vigorositat (Cereti *et al.* 2004; Wilen i Holt 1996 b). En canvi, a *P. notatum* va ser baixa perquè no es va establir (Lee *et al.* 2004a). En la bibliografia trobem resultats varis de *C. dactylon* però es caracteritza per una producció alta (Lee *et al.* 2004a ; Qian i Engelke 1999; Salehi i Khosh-Khui 2004). *C. dactylon* + *P. notatum* + *P. distans* és la única gespa amb més producció en reg baix a l'hivern, gràcies a l'augment de *P. distans*.

La producció influeix en la cobertura positivament. Hi intervé la densitat de plantes que formen la gespa. Al seu torn la textura de la fulla que es relaciona amb el pes específic foliar influeix en la densitat per l'ombreig entre fulles. Així, *P. clandestinum*, *F. arundinacea* i *P. pratensis* mostren cobertes menys denses que *C. dactylon*, *A. stolonifera*, *L. perenne* o *P. distans*. *P. notatum* i *Z. japonica* amb limbes amples però el problema ha estat l'establiment. Hem basat la producció en el creixement vertical, en la biomassa en una àrea concreta. En les estoloníferes, el creixement rastrer pot treure importància a la producció, com a *P. clandestinum*.

La longitud específica d'arrels similar entre espècies pot ser per la subestimació de les fines en mostres de sòl respecte a substrat (Roumet *et al.* 2008). L'estrès per sequera afavoreix el creixement de les arrels en longitud però disminueix en biomassa per una producció inferior, mort o dessecació de les arrels, que les fa inviables (Hays *et al.* 1991; Huang i Nobel 1992; Huang *et al.* 1997b; Harivandi 1998; Jordan *et al.* 2003; Kosola i Eissenstat 1994; Levitt 1980; Marcum *et al.* 1995; Qian *et al.* 1997; Smucker *et al.* 1991; Stasovski i Peterson 1991; Shi *et al.* 2007; Wang i Bughara 2008a). A l'estiu, l'increment de la RLD en profunditat pot ser la temperatura al sòl. Valors superiors a 20 °C potencien els símptomes d'estrès hídric de les gespes C₃ (Beard i Daniel 1965; Huang 1998b; Murphy *et al.* 1994; Xu *et al.* 2003; Xu i Huang 2000a, 2000b, 2001). El refredament o aireació del sòl amb sistemes de *mist* o ventiladors són viables a la nit en *greens* de camps de golf (Camberato *et al.* 1999; Carrow 1996; Dodd *et al.* 1999; Hutto *et al.* 2006; Trusty i Trusty 1998).

Els resultats d'*A. stolonifera* concorden amb els de Lehman i Engelke (1991), la qual es caracteritza per arrels poc profundes. En canvi, la biomassa d'arrels de *L. perenne* va ser superior que a Salehi i Khosh-Khui (2004) i Sills i Carrow (1983). La textura del sòl més sorrenca, amb menys capacitat de retenció d'aigua pot estimular el creixement per la cerca d'aigua i nutrients (Fransen *et al.* 1999; Su *et al.* 2008).

A Salehi i Khosh-Khui (2004), la producció d'arrels de *P. pratensis* va ser la més alta de les espècies avaluades i superior al nostre assaig. A Su *et al.* (2008) amb regs a 100 o 60% de la ETo, les arrels arribaven als 80 cm de profunditat tot i que el 90% es trobava als 30 cm primers del sòl, sense respondre a la sequera com a Richardson *et al.* (2008). Fins i tot a Stenike i Stier (2003), la biomassa d'arrels als 5 cm primers del sòl era 4 vegades superior que als 5 cm següents i el doble a la tardor de l'any de sembra i la tardor següent.

F. arundinacea ha sigut la C_3 amb més arrels en profunditat i segurament se'n trobaven per sota de 30 cm com a Carrow i Duncan (2003), Sheffer *et al.* (1987) i Su *et al.* (2008). Valors semblants de biomassa d'arrels i RLD els trobem a Qian *et al.* (1997), i Salehi i Khosh-Khui (2004). A Wang i Bughrara (2008b), la longitud total d'arrels no s'afectava per la sequera, però la biomassa disminuïa un 48% respecte al control. En concordança amb els altres paràmetres *P. distans* ha estat la C_3 amb biomassa d'arrels inferior.

P. clandestinum és l'espècie amb més arrels en profunditat, a Dong *et al.* (2005) fins als 60 cm. Els resultats de *C. dactylon* es corresponen amb Qian *et al.* (1997) i a Salehi i Khosh-Khui (2004). Que les fossin més superficials després de dos anys de sembra es correspondria amb un menor consum hídic i la menor tensió del sòl, equivalent a Salehi i Khosh-Khui (2004). Amb la maduresa de les plantes, adaptant-se a les condicions ambientals, podrien haver desenvolupat arrels en profunditat durant l'estiu i assecar-se després (Jordan *et al.* 2003; Sills i Carrow 1983).

3.5.3 SLW, SPAD, Fv/Fm i RWC

En fulles no necròtiques no hem obtingut diferències per la dosi de reg en els paràmetres foliars. Resultats equivalents de pes específic els trobem per a les diferents espècies a MacAdam i Nelson (2002) i Utrillas i Alegre (1997). Les fulles les gesses C_4 tenen una àrea foliar i un pes específic major a les C_3 (Oyarzabal 2008). Perquè el mesòfil és més compacte, la fulla mostra una proporció més elevada de teixit vascular i la distància intervenal més baixa que les C_3 (Irissarri *et al.* 2009).

L'estructura de la fulla i els efectes associats a la reflectància influeixen en les diferències entre espècies en les lectures de l'SPAD (Yamamoto *et al.* 2002). Així, el pes específic de les fulles a part del color genètic pot haver influït en la correlació (Morris i Shearman 2000). Un pes específic baix pot indicar cèl·lules més grans o parets cel·lulars menys rígides, que condicionen la gruixària de la fulla (Knap i Carter 1998). La concentració de N acostuma a ser inferior a les espècies C_4 que a les C_3 i les primeres són més eficients en l'ús de la llum (Irissarri *et al.* 2009). A més, les C_4 mostren clorosi per la dormició hivernal. Però en època favorable, per exemple *Z. japonica* obté uns resultats d'SPAD superiors a *F. arundinacea* (veure capítol 4).

Valors semblants de fluorescència els trobem als assajos Du *et al.* (2008), Jiang i Huang (2001), Lee *et al.* (2004a) i Radhakrishnan *et al.* (2006). La fluorescència es mostra més elevada en les espècies C_3 , per la major proporció de PSII (Siebke i Ball 2009). Element implicat en l'emissió de la fluorescència (Baker 2008). Carmo-Silva *et al.* (2007) obtenen resultats semblants de Fv/Fm en relació amb el RWC, com en el nostre assaig. L'aparell fotoquímic resulta poc afectat, en general, entre 70 i 100 % de RWC (Flexas *et al.* 2004; Ghannoum 2009). La capacitat de transport d'electrons pot superar les necessitats de fixació de carboni en condicions de sequera. En canvi, en general l'aparell fotoquímic és relativament resistent a danyar-se en condicions d'estrès hídic moderat, però sensible, sota sequera severa especialment en excés de llum (Havaux 1992; Lawlor i Cornic 2002).

La relació entre el pes específic i la fluorescència és indirecta. El primer ho fa negativament, amb els danys a les membranes i parets cel·lulars davant un estrès, mentre que la fluorescència es relaciona amb l'eficiència del PS II (Srinivasan *et al.* 1996). Segons els resultats, *Z. japonica* amb un pes específic més alt mantindria uns nivells de fluorescència més elevats sense afectar a la viabilitat de la fulla.

Valors semblants de RWC per les diferents espècies els trobem a Lu *et al.* (2007), Radhouane (2008) Schlemmer *et al.* (2005), Utrillas i Alegre (1997) i Xu *et al.* (2006). Tot i que les correlacions polinòmiques cal prendre-les amb cura per realitzar estimacions (Richardson *et al.* 2002), ens han servit per simplificar i tenir una tendència dels índexs al llarg de l'any com a Xiong *et al.* (2007). L'esperable relació negativa del contingut relatiu d'aigua foliar amb la tensió del sòl, on el RWC òptim per la majoria d'espècies és entre 85 i 95 %, quan l'absorció d'aigua per les arrels s'igualava a la pèrdua per transpiració

(Taiz i Zeiger 2006). Valors inferiors en condicions de reg elevat indicaria efecte de les altes temperatures de l'aire o del sol i l'alta demanda evaporativa (Liu i Huang 2005). La davallada del RWC en totes les espècies a l'octubre del 2004 podria anticipar la pèrdua de qualitat de la gespa a la tardor – hivern (DaCosta *et al.* 2004; Jiang i Huang 2000). El RWC acostuma a ser inferior a les espècies C_4 que a les C_3 perquè les primeres mostren més eficiència en l'ús de l'aigua, al transpirar menys per carboni fixat (Irissarri *et al.* 2009). La correlació positiva del RWC amb el SLW també amb les C_3 , en les C_4 hi pot influir el subtipus de mecanismes de descarboxilació, en relació en la seva eficiència en l'ús de l'aigua (Carmo-Silva *et al.* 2007). Els resultats de *P. notatum* i *P. clandestinum* (NADP-ME) són més semblants que els de *C. dactylon* (NAD-ME) i *Z. japonica* (PEPCK). També una major taxa de creixement en condicions favorables per exemple en *C. dactylon* pot haver comportat una menor adaptació a les condicions d'alta demanda evaporativa (Utrillas i Alegre 1997).

3.5.4 Índexs espectralradiomètrics i índexs derivats de fotografies

Les mesures de superfície de gespa han reflexat l'estrès per sequera i les diferències estacionals. Els valors de tonalitat de color i NDVI per a un mateix valor de RWC o paràmetre foliar s'explicaria perquè se seleccionaven fulles funcionals per les mesures foliars. Mentre que en l'espectralradiometria i les fotografies, es mesurava la coberta vegetal de 0.01 m² i 1 m² respectivament. Cal tenir en compte però que aquesta àrea pot contenir altres espècies (males herbes) o clapes de sol nu. A Richardson *et al.* (2002), alguns índexs de reflectància es van aproximar millor al contingut de clorofil·les mesurat a partir d'extraccions que amb l'SPAD. Amb colorímetre s'obtenen valors superiors que amb mesures de coberta (Commission Internationale de l'Eclairage CIE Hue (Hunter i Harold 1987; Landschoot i Mancino 2000, McGuire 1992).

El NDVI és l'índex espectralradiomètric més utilitzat a diferents escales, però el Rred, Rnir, DVI i SR s'hi correlacionen de manera molt alta i es podrien utilitzar en cas necessari. Destaquem a més l'alta correlació entre el NDVI i els índexs derivats de fotografies, que justifica els mateixos raonaments en les diferents situacions analitzades. Valors equivalents de tonalitat de color els trobem a Mangiafico i Guillard (2007) i a Richardson *et al.* (2007).

En general el NDVI és un estimador de la cobertura, la qualitat i la producció, com a Fenstermaker - Shaulis (1997), Jiang i Carrow (2005), Sönmez *et al.* (2008) i Xiong *et al.* (2007). El NDVI augmenta quan hi ha vegetació verda i activa, en creixement (Serrano *et al.* 2000). Però a Trenholm *et al.* (1999a) no va mostrar una bona correlació, i tampoc l'hem obtingut amb la biomassa aèria després d'un any de sembra. La falta de correlació del NDVI amb la cobertura en situacions menys estressants indicaria que l'índex és afectat per paràmetres relacionats amb l'estructura de la coberta i la morfologia foliar com la densitat de planta, disposició de fulles de la coberta, etc. (Bell *et al.* 2002; Steigler *et al.* 2005). També pot ser perquè la recol·lecció és a 3 cm d'alçada però l'espectralradiòmetre considera la vegetació des de la superfície del sol (Sims *et al.* 2006). Per estimar el creixement de la part aèria, Lee *et al.* (2004a) inclouen el NDVI amb altres reflectàncies a la zona del visible i l'infraroig en una regressió múltiple. L'IR/R, en concret R_{935} / R_{661} , explica el 85% d'aquesta regressió. Un índex semblant, el SR ha mostrat una correlació alta amb el NDVI.

Detectem correlació de la qualitat amb el NDVI i els índexs derivats de fotografies i són més alts entre les C_4 ja que disposem d'un rang més ampli de valors per la fenologia (Adamsen *et al.* 1999; Baghzouz *et al.* 2006; Landschoot i Mancino 2000; Bell *et al.* 2002; Jiang i Carrow 2007; Keskin *et al.* 2008; Trenholm *et al.* 1999a; Xiong *et al.* 2007). Però sense anticipació, a Dettman-Kruse *et al.* (2008) l'espectralradiometria detectava l'estrès per sequera un dia abans que es manifestés en les plantes. Valors per sota de 0.5 en el NDVI indica qualitat baixa de la gespa (Bell *et al.* 2002). Tot i que hi pot haver altres índexs amb una correlació més alta, com R_{710}/R_{810} i R_{710}/R_{760} o models lineals que inclouen 3 o 5 regions de l'espectre des de 660 a 1480 nm (Jiang i Carrow 2007; Trenholm *et al.* 1999a).

A la primavera, la tendència negativa tant del NDVI o tonalitat de color respecte el RWC és perquè sobretot les C₄ surten de la dormició i van recuperant el recobriment verd, alhora que el RWC disminueix mentre augmentava la ETo. En les altres èpoques de l'any la tendència és oposada tot i que amb un pendent baix perquè encara que variï el RWC no es diferencia significativament el color ni la quantitat de biomassa estimada amb el NDVI (Jiang *et al.* 2009). S'ha correlacionat positivament el NDVI amb la concentració de nitrogen als teixits, i amb el contingut hídric de la coberta de gespa a Adamsen *et al.* (1999) i Bell *et al.* (2004). En principi, els efectes de l'estrès hídric en la quantitat de clorofil·les és més tardà que el RWC o la fluorescència per exemple (Baghzouz *et al.* 2006; Flexas *et al.* 2004; Utrillas i Alegre 1997).

No hi ha gaires estudis que tinguin en compte índex de verdor i el percentatge d'àrea verda de les gespes. Es correlacionen amb la tonalitat de color però mostren més diferències entre els tractaments. El percentatge d'àrea verda és més intuïtiu que els altres. Però els índexs que analitzen el verd, permeten tenir en compte el color genètic de les espècies (Morris i Shearman 2000) o realitzar un seguiment més acurat de les gespes. Per exemple, per *C. dactylon* en dormició hivernal Karcher i Richardson (2003) obtenien valors de 76°, mentre que 88° correspon al verd típic de l'espècie. En el nostre assaig podem dir que per *A. stolonifera* i *F. arundinacea* és de 80°; per *C. dactylon*, de 70° i per *P. clandestinum*, de 60°. En l'índex de verdor, els valors que s'han mostrat òptims per les espècies estudiades són 0.16 i 0.2 per *A. stolonifera* i *F. arundinacea*; mentre que per les C₄: *C. dactylon* i *P. clandestinum*, 0.18. Tenir en compte a més, que a l'hivern els valors baixen, també en les C₃ per efecte de les temperatures.

En lloc de l'escala NTEP, els índexs calculats a partir de fotografies digitals han permès representar l'estat de la gespa, ja que generen mesures integradores i versàtils de superfície. Registren una àrea depenent de distància a la que se situa la càmera. En canvi, colorímetres, d'àrea de mesura de mil·límetres quadrats, necessiten moltes repeticions per obtenir una mitjana representativa d'una superfície irregular. Els paràmetres derivats de fotografies digitals, obtinguts amb càmeres comercials, indiquen que poden utilitzar-se com a mètode d'ajut en la gestió de superfícies cespitoses verdes, per l'objectivitat, reproductibilitat, senzillesa i baix cost.

El comportament del PRI ha estat semblant al NDVI, evidenciant lesions estructurals de l'aparell fotosintètic a l'estiu a causa del dèficit hídric, com a Baghzouz *et al.* (2006). El PRI es correlaciona amb el contingut relatiu de clorofil·les i el Fv/Fm, depèn de les espècies i del tipus fotosintètic, que explicarien les diferències en la regulació dels processos fotosintètics i fotoprotectors en resposta als canvis de les condicions ambientals i la fenologia (Filella *et al.* 1996, 2009; Guo i Trotter 2004; Liu *et al.* 2009; Peñuelas *et al.* 1995a; Stylinsky *et al.* 2002;). En relació amb l'SPAD només *A. stolonifera* se separa considerablement de la recta, però recordem que el seu color genètic és més clar en comparació a les altres C₃ analitzades.

L'índex Chl A/B és significativament més alt en les C₄ que les C₃ respecte al NDVI o tonalitat de color. Perquè les C₄ tenen una major proporció de clorofil·la A (Hatch 1987 i veure capítol 2). L'índex NPCI i SIPI, com a corrector del NPCI pels efectes estructurals, consideren la relació carotens/clorofil·la A és inferior en les C₄, encara que els carotens suporten les condicions d'estrès més que les clorofil·les Merzlyak *et al.* (1999). A Xu *et al.* 2008, la concentració es va veure afectada igual que les clorofil·les. El segon mostra un rang de valors més estret (Peñuelas *et al.* 1995). L'NPQI com a índex de degradació de les clorofil·les corrobora com *A. stolonifera* tot i tenir l'SPAD més baix aquest és el seu color genètic perquè l'NPQI és el més elevat. Aquest índex també ha separat *P. clandestinum* i *P. notatum* que el PRI no diferenciava.

El WI ha detectat diferències en el reg a la primavera i l'estiu, en les C₃ es correspondria amb la biomassa i l'estat hídric (Wu *et al.* 2009). I la recuperació del RWC i del WI després de l'estiu. Els

mínims del WI són inferiors en les C₄, que es correspon a la seva tolerància a la sequera. La diferència es fa més palesa amb el quocient WI/NDVI, degut als efectes de NDVI baix en els períodes de dormició, com hem comentat anteriorment (Peñuelas 1997; Wang *et al.* 2009).

3.6 CONCLUSIONS

- La sensibilitat a la disponibilitat hídrica i a les temperatures s'ha diferenciat entre les cespitoses estudiades. A nivell de gestió: A l'hivern es pot reduir el reg al 40 % de la ETo. A l'estiu no són aconsellables en el clima mediterrani el tractament 40% ETo per *Agrostis stolonifera*, *Poa pratensis*, *Cynodon dactylon* i *Pennisetum clandestinum* i els de 40 y 60% ETo per a *Festuca arundinacea* ja que no aconsegueixen un desenvolupament òptim en les qualitats pels quals es cultiven.
- *Lolium perenne*, *Puccinellia distans*, *Zoysia japonica* i *Paspalum notatum* no ha assolit una bona cobertura de la superfície. La presència de males herbes competitivament superiors en les condicions de l'assaig poden haver perjudicat el seu desenvolupament.
 - o *L. perenne* tot i la ràpida germinació, s'ha mostrat sensible a la sequera i a l'afectació per fongs a l'estiu.
 - o *P. distans* ha destacat per ser l'espècie C₃ amb menys biomassa d'arrels tot i mantenir uns nivells de producció equivalents a les altres espècies C₃ en les zones on tenia cobertura. És coneguda la tolerància a la salinitat del sòl. Podem suposar que en aquestes condicions limitants per altres espècies, hauria sortit competitivament beneficiada.
 - o La majoria d'espècies del gènere *Zoysia* només es poden plantar d'esqueix. *Z. japonica* se subministra de llavor tot i la dificultat d'establiment.
- La mescla de *F. arundinacea* + *P. pratensis* + *L. perenne* ha mostrat estadísticament millor qualitat que les espècies per separat. *L. perenne*, per la ràpida germinació i després *F. arundinacea* per la tolerància a la sequera. En canvi, la mescla de *C. dactylon* + *P. notatum* + *P. distans*, no s'ha constituït, mantenint-se només el *C. dactylon*. Degut al pobre establiment de *P. notatum* i *P. distans*, i possiblement per la capacitat competidora de *C. dactylon*.
- Les segues periòdiques no permeten la fructificació i l'autosembrà de la gespa. El creixement estolonífer i/o rizomatós d'*A. stolonifera*, *C. dactylon* i *P. clandestinum* ha permès recuperar la cobertura en les dues primeres o mantenir-la en *P. clandestinum*. *C. dactylon* i *P. clandestinum* s'ha mostrat invasives.
- *P. clandestinum* ha presentat la biomassa aèria i la producció al llarg de l'any més elevada. A més d'un 100% de cobertura sense colonització per males herbes i alhora la més invasiva.
- Les males herbes han estat importants en la cobertura de les gespes. Les que són gramínies, no es poden tractar amb herbicida sistèmic, selectiu "de fulla ampla", per exemple *Poa annua* i *Digitaria sanguinalis*, C₃ i C₄ respectivament. S'han detectat fongs a *F. arundinacea*, *P. pratensis*, *L. perenne* i *A. stolonifera* a l'estiu sobretot en el tractament de reg elevat.
- Els mètodes per avaluar paràmetres morfològics foliars s'han descartat pel temps que requereixen, són tediosos i poc representatius de la gespa. La longitud o la densitat de les arrels no han estat indicadors de la tolerància a la sequera.
- Els tensiòmetres de matriu granulosa watermark han permès el seguiment del contingut hídric del sòl, podent extrapolar les lectures puntuals a les de parcel·la.
- Els índexs espectroradiomètrics, especialment el NDVI, s'han mostrat com a paràmetres objectius per descriure l'estat de la vegetació en les diferents situacions, però no permeten anticipar la

pèrdua de qualitat de la gespa per motius agronòmics i/o ambientals. La resposta es correspon amb resultats previs on el NDVI només és sensible a partir de valors inferiors al 70% de RWC. Igualment, el WI presenta la mateixa conducta.

- En lloc de l'escala de la NTEP, els índexs calculats a partir de les fotografies digitals han permès representar l'estat de la gespa, ja que generen mesures integradores i versàtils de superfície. Registren una àrea depenent de distància a la que se situa la càmera. En canvi, colorímetres d'àrea de mesura petita necessiten varies repeticions per obtenir una mitjana representativa d'una superfície irregular. Els paràmetres derivats de fotografies digitals, obtinguts amb càmeres comercials, indiquen que poden utilitzar-se com a mètode d'ajut en la gestió de superfícies cespitoses verdes, per l'objectivitat, reproductibilitat, senzillesa i baix cost.

Efectes d'un gradient salí amb aigua regenerada en gespes i sòls de textura diferent

RESUM

L'assaig pertanyia a una prova prèvia a la construcció d'un camp de golf que havia de ser regat amb aigua regenerada d'una depuradora urbana. Aquesta aigua pot ser tòxica per la gespa en determinades èpoques de l'any. L'objectiu era estudiar la combinació de sòl i espècies de gespa davant la salinitat de l'aigua de reg. Els tipus de sòl avaluats van ser: sorra de duna, sòl agrícola i una mescla dels dos. Es regava amb la tècnica "triple line source" on s'hi afegia NaCl per obtenir un gradient salí a l'aigua de 3 a 5 dS m⁻¹ de CE (Conductivitat Elèctrica). Les espècies C₄ van ser: *Cynodon dactylon* [L.] Pers., *Paspalum notatum* Flugge., *Zoysia japonica* Steud.; i una mescla d'espècies C₃: *Festuca arundinacea* Schreber., *Lolium perenne* L., *Poa pratensis* L. Es va avaluar el pH i la CE del sòl i l'aigua, la concentració de Mg, Ca, Na, K i B; la concentració relativa de clorofil·les, el potencial osmòtic foliar, el pes específic foliar i índexs derivats de fotografies digitals. El sòl agrícola va acumular més sals. Les gespes C₄ van ser resistents a la salinitat fins a prop de 4 dS m⁻¹ de CE de l'aigua, sobretot *Z. japonica* però aquesta s'estableix lentament. Totes es van mostrar viables per camps de golf, excepte *P. notatum* per la morfologia.

4.1 INTRODUCCIÓ

La reutilització d'aigües residuals depurades s'ha desenvolupat en països amb capacitat tecnològica elevada, escassetat d'aigua i bon nivell econòmic, sobretot a Califòrnia (EUA) i Israel (Friedler 2001). Posteriorment a Arizona, Florida i altres estats dels EUA, al Japó i als Països Àrabs amb potencial econòmic. Les normatives d'estalvi d'aigua han aconseguit sensibilitzar l'opinió pública i revitalitzar la investigació d'alternatives d'obtenir aigua (Lazarrova *et al.* 2001). Al Mediterrani trobem exemples a Bahri (1999), Faby *et al.* (1999), Haruvy (1998), Katerji *et al.* (2008) i Sala i Serra (2004). És una bona opció per cultius no alimentaris, especialment el verd ornamental i les gespes (RD 1620/2007) (Friedler 2001; Levine i Arsano 2004; Marcum 2006).

4.1.1 Aigua de reg

Es pot regar amb aigua regenerada tenint en compte la qualitat, la quantitat i la freqüència; el sistema de reg, per aspersió o subterrani; les característiques del sòl i de les espècies. Una aigua de reg entre 0.7 i 3 dS m⁻¹ de CE correspon a una salinitat baixa i de 6 a 14 dS m⁻¹, alta (Ayers i Westcot 1985). Mentre que un sòl salí presenta una concentració elevada de sals solubles. El llindar per moltes espècies és a 4 dS m⁻¹ de CE (CE de la pasta saturada) (Maas 1993). Per evitar l'acumulació de sals al sòl, cal que la suma del reg i la pluja excedeixi a l'evapotranspiració i que el sòl sigui permeable, permeti la lixiviació per sota de la zona d'influència de les arrels. Els drenatges poden assegurar el rentat de sals; i les esmenes, neutralitzar alguns compostos (Devit *et al.* 2007; Thomas i Guerin 2006).

L'aigua regenerada d'Estacions Depuradores d'Aigües Residuals (EDAR) no és d'origen industrial i generalment no conté concentracions fitotòxiques de compostos orgànics o inorgànics com B, Se, Hg, Ni, Cr i Cd (Lazarrova 2006). Però presenta contaminants del metabolisme humà a causa del consum de medicaments per exemple (Pérez i Barceló 2008; Sunyer *et al.* 2008). Ja que després de la regeneració, es mantenen productes i compostos que potencialment són perjudicials per les plantes, com les sals de sodi (com el NaCl), altres clorurs, sulfurs, K⁺, Ca²⁺ i Mg²⁺. Les concentracions poden variar molt segons la procedència de l'aigua, que permetin el reg sense problemes en unes zones mentre que en altres no.

A més d'altres consideracions: al litoral es produeix intrusió marina en el freàtic, sobretot a l'hivern sense turisme. L'inferior consum d'aigua dolça, en disminueix la quantitat que arriba a la depuradora i al freàtic de manera que no es pot reduir la concentració salina (Faye *et al.* 2004). També la deposició de

sals de mar relativa a la distància a la costa, portada pel vent o la pluja. L'aigua de pluja conté de 6 a 50 mg kg⁻¹ de NaCl, per exemple amb 10 mg kg⁻¹ en dipositar 10 kg ha⁻¹ per cada 100 mm de precipitació a l'any (Munns i Tester 2008).

4.1.2 El sòl

El creixement tendeix a ser més lent i la transpiració inferior en sòls argilosos, bàsicament per la dificultat per les plantes d'extreure'n l'aigua (Barrett-Lennard 1998). Una gespa en bones condicions no pot tenir el sòl compactat, pel trepig o les pràctiques culturals. Les exigències són superiors en els usos esportius, que requereixen una adequada permeabilitat unida a la fermesa del sòl. Un sòl tipus en camps d'esports pot ser: 65 – 85 % de sorres, 10 – 16 % de llims i argiles, 4 – 12 % de calç i 4 – 8 % d'humus (Thomas i Guerin 2006; USDA). Trobar aquesta composició és rar i sovint cal convertir un sòl argilós en més permeable, com en el present assaig. En general s'utilitza sorra ja que és inerta i econòmica si es troba a prop. La sorra de duna permet un bon drenatge, i la sal que conté es pot eliminar amb el reg o la pluja (Thomas i Guerin 2006).

Els ions de sodi de l'aigua salina ocupen el complex d'intercanvi catiònic de les partícules d'argila. Davant d'una mateixa quantitat de Na⁺, un sòl argilós en reté més i presenta una CE superior. Però l'efecte més notable és la desestructuració del sòl (Walker i Lin 2008). El Na⁺ dispersa els col·loides i el sòl es compacta encara més amb el trepig. La compactació causa anaerobiosi i pèrdua d'arrels (Sinh i Chatrath 2001). En condicions salines, en general l'anaerobiosi incrementa el transport de sal a la part aèria de les plantes, disminuint el creixement i la supervivència (Barret - Lennard 2003). Una opció pot ser aplicar esmenes orgàniques per afavorir l'estructura del sòl amb l'estabilització dels agregats, que ajuden a la retenció de l'aigua i nutrients, i fomenten l'aireació i el drenatge (Katerji *et al.* 2008).

4.1.3 Estrès salí en les plantes

Algunes espècies de gespa són més tolerants a la salinitat que molts cultius agrícoles tradicionals (Beard 1973; Marcum 2006). Les arrels poc profundes facilita que les sals es lixivii'n per sota, també hi ajuden les pràctiques culturals.

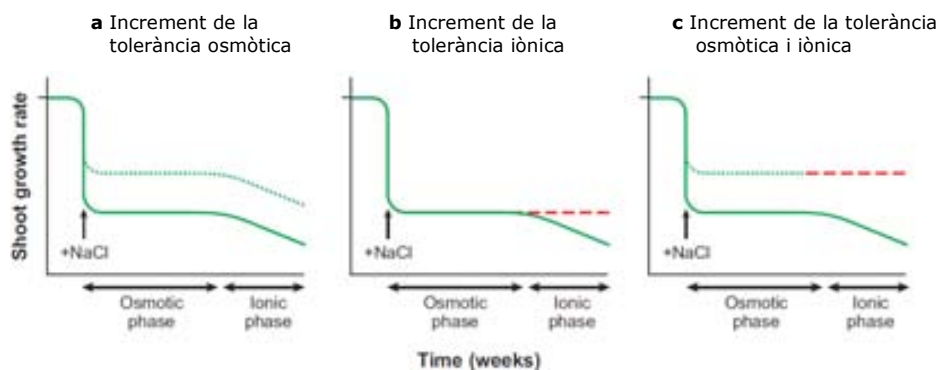


Figura 4.1 Les dues fases de la resposta de la taxa de creixement a l'estrès salí: una resposta ràpida a l'increment del potencial osmòtic extern, la fase osmòtica; i una de lenta a causa de l'acumulació de Na⁺ a les fulles, la fase iònica. La línia gruixuda representa el canvi en la taxa de creixement després d'afegir NaCl. A) La línia de punts representa la resposta hipotètica d'una planta amb un increment de la tolerància osmòtica de l'estrès salí. B) La línia de guions representa la resposta d'una planta amb increment de tolerància iònica. C) La línia formada per punts i guions representa la resposta de la planta que nostra tolerància tant osmòtica com iònica (Munns *et al.* 1995).

La salinitat del medi afecta a les plantes per l'estrès osmòtic i la toxicitat dels ions (Munns i Tester 2008; Niu *et al.* 1995; Figura 4.1). L'estrès salí dificulta l'absorció d'aigua pel baix potencial matricial del sòl, és la **sequera fisiològica o sequera induïda per la sal**, que comporta: tancament estomàtic i disminució de la fotosíntesi, de la turgència i del potencial d'expansió cel·lular, i per tant del creixement; en

definitiva, totes les conseqüències d'un estrès per dèficit hídric. La segona fase de la resposta és la **toxicitat iònica**. Els ions positius interaccionen amb les càrregues negatives de les membranes i parets cel·lulars, danyant als teixits i necrosant arrels i fulles. Al citoplasma, afecten a la conformació de proteïnes i el metabolisme, com també dels àcids nucleics, repercutint a la fotosíntesi i la respiració (Flowers 2008). A més, pot ocasionar **deficiències nutricionals**, ja que l'excés de determinats ions pot inhibir l'absorció d'altres minerals essencials.

Aconsegueixen l'**evasió de la salinitat** bàsicament a l'estadi de llavor. Davant d'un potencial hídric del sòl baix, no es poden hidratar per germinar. L'**evitació de la salinitat** consisteix en impedir que les sals entrin als teixits. Moltes plantes exclouen el Na^+ i el Cl^- per les arrels mentre absorbeixen l'aigua. Ja que el NaCl és la sal més soluble i estesa, moltes han desenvolupat mecanismes per regular-ne l'acumulació i seleccionar-la en contra d'altres nutrients menys concentrats al sòl com el K^+ i el NO_3^- (Munns 2005). Les plantes halòfites poden mantenir aquesta exclusió a salinitats més altes que les glicòfites.

La majoria que viuen en aquests ambients, tenen mecanismes de **tolerància** basats en impedir que les sals interfereixin al metabolisme. És a dir, que arribin al citoplasma de les cèl·lules foliars, el més sensible. En un primer moment, les plantes compartimenten els ions als vacúols de les cèl·lules radiculars, de manera que baixa el potencial hídric i s'afavoreix l'absorció d'aigua. Quan ja no poden retenir més sals en aquest punt, algunes el compartimenten als vacúols del parènquima xilemàtic, passa al floema i és excretat per les arrels (Munns i Tester 2008). Altres tenen mecanismes per regular-ne la concentració a les fulles: l'excreten a través de pèls o glàndules a la superfície foliar, les redistribueixen a fulles madures o a altres òrgans (Loch *et al.* 2003). Moltes de les espècies de la subfamília Chloridoideae, entre elles *C. dactylon* i *Z. japonica*, presenten aquestes glàndules que els confereixen gran tolerància a la salinitat (Taula 4.1; Marcum *et al.* 1998). En canvi, no n'hi ha en *P. notatum*, que pertany a la subfamília Panicoideae; ni a les espècies C_3 assajades de la subfamília Pooideae (Alshammary *et al.* 2004). Però aquests mecanismes no són un avantatge en la gespa en creixement i seques freqüents.

Tolerància a la salinitat



<i>C. dactylon</i> x <i>C. transvaalensis</i> ^a
<i>Stenotaphrum secundatum</i>
<i>Zoysia japonica</i>
<i>Cynodon dactylon</i>
<i>Paspalum notatum</i>
<i>Buchloe dactyloides</i>
<i>Pennisetum clandestinum</i>
<i>Festuca arundinacea</i>
<i>Festuca longifolia</i>
<i>Festuca rubra</i>
<i>Poa pratensis</i>
<i>Lolium perenne</i>
<i>Agrostis</i> cv 'Highland'
<i>Agrostis stolonifera</i>
<i>Agrostis tenuis</i>
<i>Puccinellia distans</i>
<i>Dichondra repens</i> [*]

Taula 4.1 Espècies de gespa ordenades segons la tolerància a la salinitat (Harivandi 1998).

^a En negreta les espècies utilitzades en l'assaig. les menys tolerants són les C_3 , en gris i en vermell les C_4 .

^b El diferent nivell indica les espècies que estan dins el mateix ordre. Es considera per exemple que *C. dactylon* x *C. transvaalensis* és igual de tolerant a la salinitat que *P. notatum*.

^{*} *Dichondra* no és una gramínia però també s'utilitza com a entapissant.

Les sals acumulades als vacúols, disminueixen el potencial osmòtic més que el dels citoplasmes que els contenen. Per evitar que es deshidratin, acumulen soluts orgànics compatibles amb el metabolisme i osmòticament actius com la glicina - betaïna i la prolina; o ions absorbits selectivament com K^+ , Na^+ i Cl^- (Munns i Tester 2008).

El Na^+ arriba a concentracions problemàtiques aviat, ja que causa desestructuració del sòl i toxicitat iònica a la vegetació, incrementa la senescència a les fulles velles. Però en canvi és un microelement essencial per les espècies C_4 , per això són més tolerants a la salinitat que les C_3 (Taula 4.1). Però dins d'aquestes categories principals, les espècies s'ordenarien diferent segons altres assajos.

El Cl^- és essencial i intervé en la transpiració, el despreniment d'oxigen en el fotosistema II i indueix l'elongació de les cèl·lules en empallissada, que permet que les fulles siguin suculentos (Niu *et al.* 1995; Singh i Chatrath 2001). Al tenir càrrega negativa no danya les membranes ni parets cel·lulars.

El Ca^{2+} és essencial en la preservació de la integritat funcional i estructural de les membranes, l'estabilització de l'estructura i l'activitat enzimàtica de les parets cel·lulars; i la regulació del transport i el control de l'intercanvi iònic (Bousier i Läuchli 1990; Demarty *et al.* 1984). Nivells alts de Na^+ al medi redueixen l'activitat físico-química del Ca^{2+} i del Mg^{2+} dissolts, per tant la disponibilitat per ser absorbits per les arrels (Cramer i Läuchli 1986). El Na^+ pot desplaçar el Ca^{2+} de les membranes cel·lulars de les arrels (Cramer *et al.* 1985). Així, l'aportació de Ca^{2+} o una concentració relativament alta de Ca^{2+} a l'aigua regenerada protegiria davant l'estrès salí (Munns i Tester 2008; Wu *et al.* 1996). A més, quan la concentració de Ca^{2+} i Mg^{2+} de la solució del sòl disminueixen per sota d'uns nivells crítics, disminueix l'absorció de K^+ , afectant a l'equilibri nutricional de la planta (Singh i Chatrath 2001).

La salinitat i en concret el Na^+ no afecta a l'absorció de Mg^{2+} a Netondo *et al.* (2004) a diferència d'altres assaigs per exemple a Grieve i Maas (1988). El Mg^{2+} competeix amb el Ca^{2+} i el desplaça de l'espai extracel·lular en la planta i en disminueix la disponibilitat. Una relació $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ superior a 1 pot reduir el creixement de les plantes (Carter *et al.* 1989).

El K^+ , més que el Na^+ , s'utilitza com macronutrient essencial en l'estructura i funcionament de la membrana cel·lular i per a l'ajust osmòtic (Renault *et al.* 2001). Tot i que, K^+ i Na^+ competeixen per entrar a les cèl·lules al ser similars (Schachtman i Liu 1999). Com a conseqüència, les plantes que creixen en sòls salins acostumen a patir toxicitat per Na^+ i deficiència de K^+ . Nivells elevats de K^+ i del quocient K^+/Na^+ s'han associat amb una elevada tolerància a l'estrès salí (Hameed i Ashraf 2008). La relació K^+/Na^+ als teixits dels glicòfits hauria de ser superior a 1 (Maathuis i Amtmann 1999). En vàries gramínies, la tolerància a la salinitat està associada a la capacitat per mantenir una elevada relació K^+/Na^+ amb l'exclusió d'ions Na^+ per la part aèria per exemple mitjançant glàndules de sal (Qian *et al.* 2000 i 2001).

El bor és un micronutrient essencial per l'estructura i funcionament de la paret cel·lular, entre altres processos (Camacho *et al.* 2008). S'absorbeix per les arrels i s'acumula a la part aèria. Un nivell alt a l'aigua de reg pot produir alhora estrès salí i toxicitat per aquest element (Nable *et al.* 1997). A Martínez-Ballesta *et al.* (2008) la toxicitat per B afectaria a la tolerància a la salinitat. Però per altra banda a Yermiyahu *et al.* (2008), l'absorció de B disminueix en presència de Cl^- i al revés, es redueix la absorció de Cl^- en presència de B. A Bonilla *et al.* (2004), l'increment de B i Ca^{2+} augmenta la tolerància i la producció en sòls salins.

Un increment de la salinitat al sòl disminueix el creixement per l'efecte osmòtic de la sal al voltant de les arrels, ja que es perd aigua cel·lular i per tant volum i turgència. Aquests paràmetres es poden recuperar amb l'ajust osmòtic en hores, quedant només reduïda la taxa d'elongació. Però varis dies en aquestes condicions, les reduccions de l'elongació i la divisió cel·lular donen lloc a fulles petites, gruixudes i amb més pes específic perquè les cèl·lules disminueixen més en àrea que en volum (Cramer 2002; Fricke i Peters 2002; Passioura i Munns 2000; Yeo *et al.* 1991).

Els símptomes més aparents de la toxicitat iònica són la clorosi i la senescència que pot afectar a totes les fulles en períodes d'elevada demanda evaporativa (Ayers i Westcot 1985; Levitt 1980). Mesuradors de clorofil·la, termografia, anàlisis d'imatges i reflectància hiperespectral permeten el seguiment no destructiu, identificant els tipus de tolerància al Na^+ (Munns i Tester 2008). La tolerància osmòtica possibilita produir fulles tot i una determinada acumulació de Na^+ . En canvi, la tolerància de la sal als teixits s'evidencia amb l'increment de la supervivència de les fulles velles.

4.2 OBJECTIUS

L'assaig pertany a una prova prèvia a la construcció d'un camp de golf a la costa i clima mediterrani amb reg d'aigua regenerada. Una aigua amb salinitats que poden ser tòxiques per la gespa en determinades èpoques de l'any. Els objectius se centren en determinar els efectes de la salinitat de l'aigua de reg i el tipus de sòl en gespes per la pràctica d'aquest esport. Trobar la millor combinació sòl - espècie en aquestes condicions ambientals. Estudiar el comportament de les cespitoses i desenvolupar criteris d'ús d'aigües regenerades. Finalment, comparar mètodes ecofisiològics per avaluar la qualitat de les gespes en aquestes condicions ambientals.

4.3 MATERIAL I MÈTODES

4.3.1 Disseny experimental

L'experiment va tenir lloc a les instal·lacions de Port Aventura, a Vila-seca ($41^{\circ} 5' \text{ N}$; $1^{\circ} 9' \text{ E}$). El disseny experimental era un *split - split - plot* on el factor principal era el tipus de sòl; el secundari, l'espècie; i el terciari, la salinitat de l'aigua de reg. Estava constituït per 12 parcel·les de 8.5 m x 17 m amb 1 m de marge entre els tipus de sòl. Hi havia 3 tipus de sòl, 4 de gespa i el gradient salí, més alt al del centre de les parcel·les (Figura 4.2). Es van definir 5 punts de mostreig amb dues repeticions per parcel·la. En total 120 unitats de mesura per mes, d'abril a novembre del 2004.

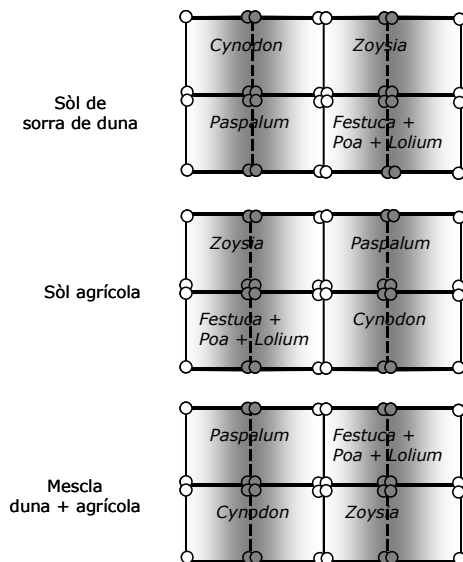


Figura 4.2 Disposició de les parcel·les amb les espècies i tipus de sòl. La línia discontinua conté l'aigua amb NaCl afegit, i el gradient salí està representat per l'escala de grisos. Els cercles indiquen els aspersors.

4.3.2 Característiques del sòl

Al novembre del 2002 es van preparar les parcel·les. Els sòls procedien de dunes litorals i camps no conreats a les proximitats de l'assaig (Taula 4.2a). S'hi va barrejar compost de fang de depuradora, d'una partida amb qualitat suficient per enriquir els sòls per garantir una qualitat mínima de matèria orgànica (3.5 % en pes; Taula 4.2b). Les esmenes vegetals eren restes procedents d'una poda al 2000.

Taula 4.2a Composició dels sòls utilitzats. Expressat en volum i massa, m³ (Tm)

Tipus de sòl	Compost, fang de depuradora	Restes de poda	Sorra de duna	Sòl agrícola
Sorra de duna	20.56 (13.4)	8.81 (4.1)	133.64 (200.5)	--
Sòl agrícola	9.51 (6.2)	4.07 (1.9)	--	136.9 (150.6)
Sorra de duna + sòl agrícola	14.9 (9.7)	6.39 (2.9)	59.96 (89.9)	81.77 (89.9)

Taula 4.2b Composició del compost Font: Laboratori d'Anàlisi i Fertilitat de sòls.

	unitats	24/12/2002	23/08/2002
Matèria seca % (s.m.f.)		65.9	65.5
pH A L'AIGUA extracte 1:5		7.9	8
Conductivitat Elèctrica a 25 °C extracte 1:5	dS m ⁻¹	7.56	8
N KJELDAHL matèria seca (N)	% (s.m.s.)*	3.85	3.72
N amoniacal matèria fresca (N)	% (s.m.s.)	1.53	1.56
Matèria orgànica	% (s.m.s.)	61.9	56.1
P	% (s.m.s.)	2.9	3.12
K	% (s.m.s.)	0.5	0.57
Ca	% (s.m.s.)	5.7	6.78
Mg	% (s.m.s.)	0.9	1.04
Fe	% (s.m.s.)	1.6	1.79
Relació carboni / nitrogen		5.8	5.3
Cr ppm (s.m.s.)	ppm (s.m.s.)	55	50
Ni ppm (s.m.s.)	ppm (s.m.s.)	39	23
Pb ppm (s.m.s.)	ppm (s.m.s.)	83	102
Cu ppm (s.m.s.)	ppm (s.m.s.)	294	331
Zn ppm (s.m.s.)	ppm (s.m.s.)	859	812
Hg ppm (s.m.s.)	ppm (s.m.s.)	3.03	4.28
Cd ppm (s.m.s.)	ppm (s.m.s.)	1.4	1.4
Matèria Orgànica resistent	% (s.m.s.)		24.2
Grau d'estabilitat	% (s.m.s.)		43.1
Nitrogen (no hidr.)	% (s.m.s.)		1.58

*s.m.s. = *saturated media extract* = extracte de substrat saturat

4.3.3 Material vegetal

Es van sembrar a finals d'abril del 2003 les cespitoses C₄: *Cynodon dactylon* var. Princess, *Paspalum notatum* var. Pensacola, *Zoysia japonica* var. Zen-300 i una mescla d'espècies C₃: 50% *Festuca arundinacea* var. Cochise, 40% *Lolium perenne* var. Fiesta III, 10% *Poa pratensis* var. Miracle. El 7 de juliol del 2004, es va ressemar *Z. japonica* a les parcel·les de "sòl agrícola" i "sòl agrícola + duna", i *P. notatum* en "sòl agrícola" per problemes d'herbicida. Les dosis de sembra van ser de 8, 15, 40 i 35 g m⁻² per a *C. dactylon*, *Z. japonica*, *P. notatum* i la mescla de *Festuca* + *Poa* + *Lolium* respectivament. Veure característiques de les espècies al capítol 2.

4.3.4 Qualitat de l'aigua, tractament de reg i pràctiques culturals

El tractament salí es realitzava mitjançant el sistema de reg *Triple Line Source* (Isla *et al.* 1997; Dean *et al.* 1998 entre altres). Consisteix en un gradient de salinitat que s'obté gràcies al solapament dels arcs d'aigua que tracen els aspersors. Dues línies d'aspersors exteriors subministraven l'aigua residual regenerada i la línia central, la mateixa aigua però amb addició de clorur sòdic.

Aigua regenerada procedia de l'Estació Depuradora d'Aigües Residuals (EDAR) de Vila-Seca, i presentava una la conductivitat elèctrica (CE) mitjana de 2.3 i pics màxims de 3 dS m⁻¹ (Figura 4.3 i Taula 4.3). A l'inici del tractament salí, abril del 2004, l'aigua de la línia d'aspersors centrals tenia una CE mitjana de 5 dS m⁻¹. A l'octubre augmenta lleugerament la salinitat de l'aigua de l'EDAR en els dos anys. Perquè aquesta EDAR es troba a la costa i rep aigua de municipis amb una important fluctuació de població pel turisme. A l'hivern, al disminuir el consum d'aigua potable, es produeix intrusió salina del mar. L'aigua salinitzada va arribar fins a 7 dS m⁻¹ a l'octubre del 2004.

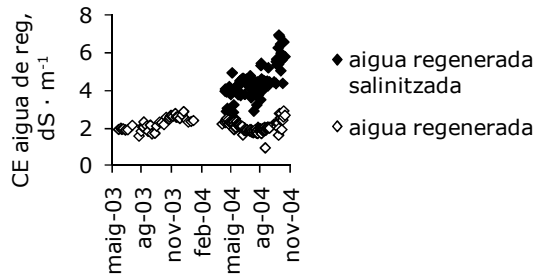


Figura 4.3 Evolució de la Conductivitat Elèctrica (CE) de l'aigua de reg durant l'assaig. Font: Netaigua – B.F.I, Empresa explotadora de l'EDAR i mesures de la sonda a la parcel·la.

Taula 4.3 Característiques de l'aigua de reg en els punts de mostreig a les parcel·les. Agost del 2004 (Font: UdG).

Les posicions "Sense influència de sals" corresponen a un reg amb aigua regenerada; les posicions "Intermèdia", rep el reg dels aspersors amb aigua regenerada i dels aspersors d'aigua regenerada amb addició de NaCl; i la posició "A la línia de sals", rep aigua només dels aspersors d'aigua regenerada amb addició de NaCl.

Punts de mostreig	Sense influència de sals	Intermèdia	A la línia de sals
Conductivitat Elèctrica de l'aigua, dS m ⁻¹	2.8	4.4	4.8
Sals aplicades ^a - Concentració, g l ⁻¹	1.8	2.8	3.1
Sals aplicades ^b - Concentració, mM	3.1	4.8	5.3

^a La concentració de sals estimada a partir de l'equació: **sals totals = 0.64 CE**. Suposa que la única sal a l'aigua és NaCl (Handbook 60, USDA).

^b La concentració de sals en mM. Suposa que la única sal a l'aigua és NaCl.

Per a la línia de sals, 36 g l⁻¹ NaCl s'injectaven a l'aigua regenerada amb un dosificador *Agrònic 54*[®] (Sistemes Electrònics Progrés, SA. Lleida, Espanya). Una sonda portàtil mesurava la salinitat de l'aigua (*CRISON Hanna Progress*; Figura 4.4). La instal·lació permetia una dosi de reg distinta per cada subparcel·la "tipus de sòl i gespa", cada una amb vuit aspersors de 90° d'angle d'obertura i un cabal nominal d'11.09 L min⁻¹ (Figura 4.2). La dosi i freqüència s'ajustava mensualment a partir de l'evapotranspiració de referència (ET_o) i precipitació obtinguts d'una estació agrometeorològica (Doorenbos i Pruitt 1977; Costello *et al.* 2000; Figura 4.5).

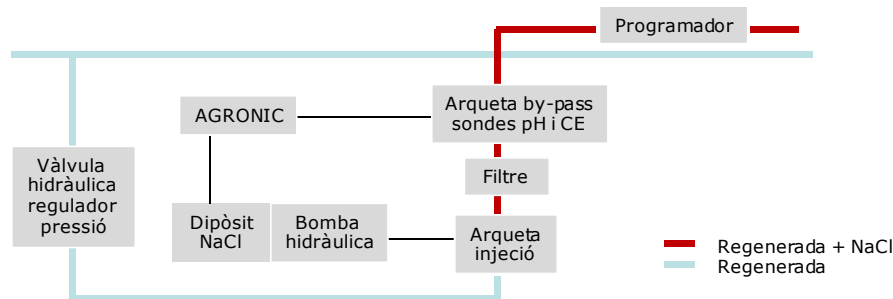


Figura 4.4 Esquema del disseny de la injecció i anàlisi de les sals en l'aigua de reg.

El reg s'aplicava a les 4 i/o 19h evitant les hores del dia amb vents forts (Figura 4.6). La velocitat i la direcció del vent influeixen en l'aspersió en parcel·les petites, i sobretot quan és la base del mètode *Triple Line Source*. Durant l'assaig, la velocitat màxima del vent era superior als 8 m s⁻¹ que s'aconseguia a les 12h del migdia. Les direccions predominants del vent eren nord o nord-oest, mentre que la orientació de les parcel·les era nord - est (Figura 4.6). El coeficient d'uniformitat del reg, coeficient de Christiansen (Burt *et al.* 1997) va ser molt variable, però en alguns casos no es mesurava a la mateixa hora del reg diari (Taula 4.4; Figura 4.7).

Se segava setmanalment a 2 cm del sòl, amb una segadora helicoïdal. Es fertilitzava amb adob nitrogenat segons les necessitats i a *P. notatum* s'hi va afegir quelat de ferro. També es van requerir els fungicides: Clorotalonil 45% + Carbendazima 10%, Propiconazol 10% p/v, Fosetil d'alumini 80%, Triadimenol, Ioximicil 15% Mecocrop 37.5% i Ippron 50% p/v.

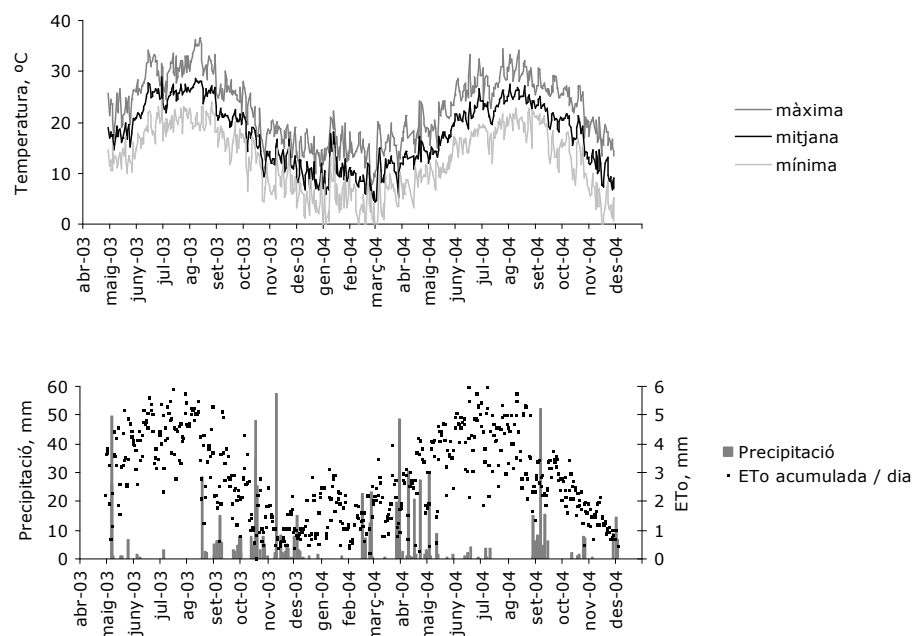


Figura 4.5 Evolució de la temperatura, la precipitació i la evapotranspiració
Font: Xarxa Agrometeorològica de Catalunya.

Taula 4.4 Uniformitat del reg a les parcel·les. Expressada com a precipitació dels aspersors i el coeficient de Christiansen (Font: Grup de Recerca CT56 Enginyeria Agrària, Universitat de Girona).

Data de mostreig	Parcel·la	Precipitació mitjana±se (mm h ⁻¹)	CU Christiansen (%)	Condicions ambientals en la mesura		
				Inici prova (h)	Velocitat del vent (km h ⁻¹) mitjana màxima	Direcció predominant (°)
03/07/2003	Mescla de C ₃ - Sorra de duna	16.0±12	39.2	13:00	18.05 26.64	148 ^a
	<i>C. dactylon</i> - Sòl agrícola	25.0±14	54.8	13:45	15.02 26.64	147
	<i>C. dactylon</i> - Duna + Agrícola	24.5±10	68.4	16:20	18.62 32.76	144
14/07/2003	Mescla de C ₃ - Sorra de duna	15.4±12	35.3	11:20	18.21 32.04	117
	<i>C. dactylon</i> - Duna + Agrícola	20.9±12	51.5	12:30	17.38 30.6	130
11/12/2003	Mescla de C ₃ - Sorra de duna	24.4±6	81.5	09:05	4.32 7.56	343
	<i>C. dactylon</i> - Sòl agrícola	23.9±10	70.4	11:05	3.37 7.2	35
	<i>C. dactylon</i> - Duna + Agrícola	24.1±8	75.0	11:55	8.24 20.16	316
20/05/2004	Mescla de C ₃ - Sorra de duna	23.4±6	69.8	08:20	3.57 7.92	352
	<i>C. dactylon</i> - Sòl agrícola	29.4±10	72.3	09:20	2.00 6.12	10
	<i>C. dactylon</i> - Duna + Agrícola	24.1±9	70.9	10:10	9.00 10.44	138
05/07/2004	Mescla de C ₃ - Sorra de duna	19.3±9	64.1	08:30	10.44 13.32	336
	<i>C. dactylon</i> - Sòl agrícola	28.4±10	73.5	09:30	14.04 15.84	110
	<i>C. dactylon</i> - Duna + Agrícola	23.1±6	79.3	10:30	15.18 18.72	131
25/08/2004	Mescla de C ₃ - Sorra de duna	20.1±9	67.7	08:30	1.44 10.44	300
	<i>C. dactylon</i> - Sòl agrícola	24.9±10	69.1	09:40	* *	*
	<i>C. dactylon</i> - Duna + Agrícola	23.1±7	79.2	11:10	4.32 13.68	285
Mitjana		22.9±9.4				

* No es disposa de dades en aquest període a causa d'una avaria en l'estació meteorològica.

^a Direcció predominant del vent nord, 0°; est, 90°; sud, 180°; oest, 270°.

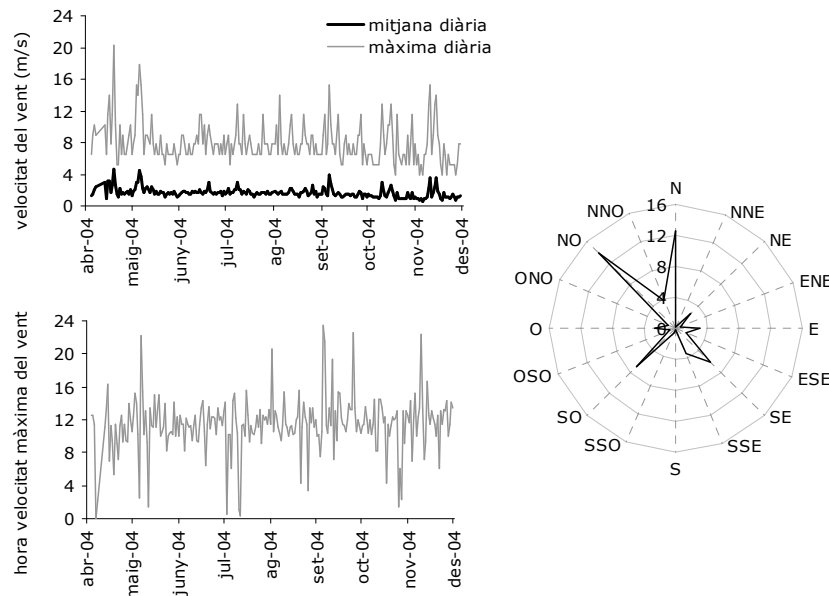


Figura 4.6 Velocitat del vent i hora de la velocitat màxima (esquerra). Percentatge de dies en cada direcció predominant (dreta). Les coordenades: N, nord; E, est; S, sud; O, oest. Dades des de la sembra a la fi de l'assaig, 30/04/2003 – 30/11/2004. Font: Estació meteorològica de la Xarxa Agrometeorològica de Catalunya.

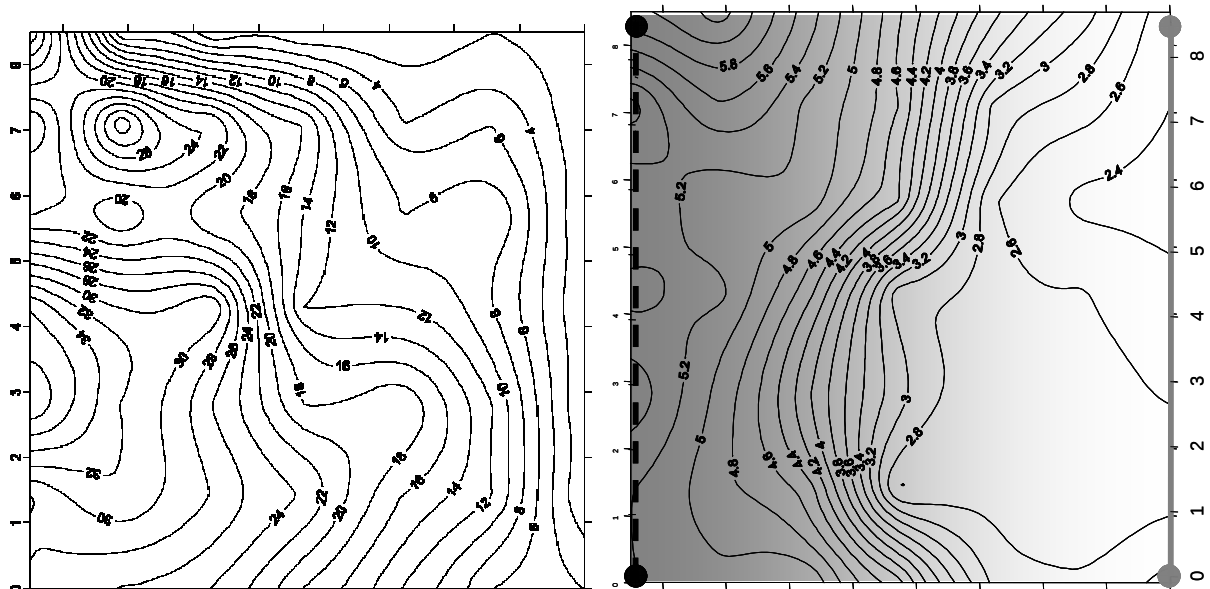


Figura 4.7 Corbes d'isopluiometria, mm h⁻¹ (esquerra) i de conductivitat elèctrica de l'aigua de reg, dS m⁻¹ (dreta) de la parcel·la de *P. notatum* en sòl duna + agrícola al juliol 2003. Els eixos indiquen la distància en metres. A la figura de la dreta, els cercles representen els aspersors; en negre, línia de sals i en gris, línia de reg amb aigua regenerada sense addició de NaCl (Font: Grup de Recerca CT56 Enginyeria Agrària UdG).

4.3.5 Mostrejos i paràmetres analitzats

Al primer mostreig, abans que s'iniciés el reg amb addició de clorur sòdic, es van agafar tres punts al llarg d'un transecte al centre de les parcel·les. A les distàncies 2.5, 8.5 i 14 m. Per la resta, es van traçar dos transectes a 2.5 m i a 6 m a partir de l'extrem superior de la parcel·la "espècie – sòl". Al llarg dels quals es van mostrejar 5 punts: a 2.5, 6.5, 8.5 (en la línia dels aspersors d'aigua amb NaCl), 10.5 i 14.5 m del marge de la parcel·la.

El **pH** i **CE_{1:5}** (conductivitat elèctrica del sòl, extracte 1:5), es van analitzar cada dos mesos en els punts de mostreig esmentats i a les profunditats de 0-10 i 10-20 cm des de la superfície (Porta 1986). El Laboratori d'Anàlisi i Fertilitat de sòls va proporcionar els anàlisis químics i la textura dels sòls al final de l'assaig.

El pes específic, el contingut relatiu de clorofil·les, el potencial osmòtic foliar i els índexs de les fotografies digitals s'obtingueren mensualment. Als punts de mostreig se segaven 100 cm² amb cisalles elèctriques. Les fulles se submergien en aigua per l'extrem tallat en pots, que es transportaven al laboratori en neveres portàtils. Les mostres es mantenien a saturació, fosc i 4°C, fins al processat. Pel càlcul del **pes específic foliar** (SLW, mg cm⁻²) s'obtenia l'àrea foliar de la mostra amb un mesurador d'àrees (*Area Meter* AM200 ADC, UK; Tagliavini *et al.* 1993) i el pes sec, després de 48h a 60°C amb flux d'aire (*Scaltec* SBA3, d = 0.0001 g). Es va prendre una mostra per espècie, tractament i repetició. El **contingut relatiu de clorofil·les totals** mesurat amb SPAD, *Soil Plant Analysis Development* (*Chlorophyll Meter* SPAD 502, Minolta corp. New Jersey. EUA). L'aparell mesura una àrea de 0.06 cm² i, basant-se en l'absorbància a 650 i 940 nm, calcula un índex en unitats SPAD (Adamsen *et al.* 1999; Richardson *et al.* 2002; Francis i Piekielek 1999). Es van prendre 5 mesures per espècie, tractament i repetició. Pel **potencial osmòtic a saturació**, després de 24h a 4 °C i fosc, les mostres s'eixuguen amb paper absorbent i es congelen. Posteriorment es descongelen a temperatura ambient i es premsen, l'osmòmetre analitza l'extracte (*Vapor Pressure Osmometer Vapro* Wescor 5520). Es van obtenir els **índexs de fotografies digitals**: el percentatge d'àrea verda, la tonalitat de color i l'índex de verdor amb la metodologia descrita al capítol 2. La Unitat d'Edafologia de la facultat de Farmàcia de la Universitat de Barcelona va analitzar la **concentració de determinats elements en la biomassa aèria** a l'agost i al final de l'assaig, en els 5 punts al llarg d'un transecte central. Finalment, el Grup de Recerca CT56 Enginyeria Agrària de la Universitat de Girona realitzava el **seguiment de la pluviometria dels aspersors i la distribució de l'aigua salina** (Figura 4.7).

4.3.6 Anàlisi estadística

Els paràmetres de l'apartat anterior es van estudiar mitjançant l'anàlisi de la variància (ANOVA) en funció dels factors: posició respecte la línia de sals, espècie de gespa, tipus de sòl i profunditat en el sòl. Es va utilitzar el PROC GLM del programa estadístic *SAS System for Windows* (versió 9.0 *SAS Institute* Inc. Cary, USA). Quan hi havia diferències entre els factors, nivell de significació $\alpha = 0.05$, es realitzaven les proves de comparació múltiple o *a posteriori*: el test de Duncan i la separació de mitjanes *LS Means*, per les interaccions.

L'àrea verda que s'expressa en percentatge es va transformar abans de l'estadística, Arc Sinus de l'arrel dels valors en tant per u. Per a una millor interpretació, els resultats es presenten sense transformar (Steel *et al.* 1997). No es va analitzar estadísticament la composició química i la textura del sòl per falta de repeticions.

4.4 RESULTATS

4.4.1 pH i CE del sòl

El pH del sòl es va diferenciar significativament segons el tipus de sòl a l'abril i al juny (Taula 4.5). La salinitat de l'aigua de reg va afectar al pH en al juny en 0.1 unitats de pH. La CE del sòl va mostrar diferències significatives depenent del sòl a l'abril, a l'agost i a l'octubre (Taula 4.5). El sòl agrícola presentava valors més elevats. La salinitat de l'aigua de reg en la "línia de sals" incrementava la CE del sòl en l'àrea d'influència sobretot en l'agrícola (Figura 4.8A i 4.8B). Al final de l'assaig el sòl duna + agrícola es va mostrar insensible al gradient salí (Figura 4.8B). No hi va haver acumulació de sals en profunditat (Figura 4.7 i 4.8C). El sòl agrícola i la mescla de duna + agrícola van mostrar significativament més CE als 10 cm primers del sòl que als següents (Figura 4.8A).

Taula 4.5 Anàlisi de variància pel pH i la conductivitat elèctrica del sòl.

A la part superior es mostren les mitjanes de pH i la CE del sòl segons els tractaments. A la segona part hi ha els valors de p de l'anàlisi de variància, per determinar l'efecte dels tractaments. La CE mesurada segons la prova prèvia de la salinitat. Tractaments: Espècie (*Cynodon dactylon*, *Zoysia japonica*, *Paspalum notatum* i mescla de *Festuca* + *Poa* + *Lolium*), Sòl (Sorra de duna, agrícola i mescla agrícola + duna) i Posició. Les posicions "Sense influència de sals" corresponen a un reg amb aigua regenerada; les posicions "Intermèdia", rep el reg dels aspersors amb aigua regenerada i dels aspersors amb NaCl; i la posició "A la línia de sals", rep aigua només dels aspersors d'aigua regenerada amb addició de NaCl.

	pH				CE _{1:5} dS m ⁻¹ a 25°C			
	Abril	Juny	Agost	Octubre	Abril	Juny	Agost	Octubre
Espècie								
<i>Cynodon</i>	8.10	7.96	7.69	7.77	0.54	0.68	0.99 b	0.97 b
<i>Zoysia</i>	8.07	7.97	7.64	7.65	0.62	0.62	0.94 b	0.95 b
<i>Paspalum</i>	8.10	8.01	7.67	7.79	0.54	0.71	0.91 b	0.98 b
Fe + Po + Lo	8.08	7.97	7.71	7.74	0.64	0.79	1.10 a	1.13 a
Sòl								
Duna	8.17 a*	8.01 a	7.71	7.72	0.51 b	0.66	0.90 b	0.95 b
Agrícola	7.92 b	7.91 b	7.58	7.63	0.77 a	0.80	1.19 a	1.23 a
Duna + Agrícola	8.16 a	8.01 a	7.75	7.86	0.49 b	0.64	0.87 b	0.84 c
Posició								
Sense influència de sals	8.07	8.01 a	7.75	7.73	0.65	0.75	0.89 c	0.88 b
Intermèdia	--	8.00 a	7.69	7.76	--	0.68	1.07 ab	1.10 a
A la línia de sals	8.12	7.98 b	7.66	7.73	0.55	0.67	1.11 a	1.12 a
Profunditat								
0 – 10 cm	8.12	7.97	7.69	7.76	0.45 b	0.70	1.07 a	1.03
10 – 20 cm	8.06	7.98	7.67	7.71	0.71 a	0.70	0.90 b	0.98
Model	0.0213	0.0115	ns	ns	0.0024	ns	0.0009	<0.0001
Sòl (S)	<0.0001	0.0013	ns	ns	0.0010	ns	<0.0001	<0.0001
Espècie (E)	--	--	ns	ns	--	--	0.0009	0.0002
S * E	--	--	ns	ns	--	--	ns	0.0131
Posició (P)	ns	0.0091	ns	ns	ns	ns	0.0057	<0.0001
P * S	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.0083
P * E	--	--	ns	ns	--	--	ns	ns
P * S * E	--	--	ns	ns	--	--	ns	ns
Profunditat (Pr)	ns	ns	ns	ns	0.0002	ns	<0.0001	ns
Pr * S	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.0245	ns
Pr * E	--	--	ns	ns	--	--	ns	0.0003
Pr * S * E	--	--	ns	ns	--	--	ns	ns
Pr * P	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.0072	ns
Pr * S * P	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Pr * E * P	--	--	ns	ns	--	--	ns	ns
Pr * S * E * P	--	--	ns	ns	--	--	ns	ns

*Dins de cada factor, les mitjanes seguides de diferent lletra difereixen significativament $p \leq 0.05$ pel test de Duncan.

-- A l'abril no es va mostrejar els punts de salinitat intermèdia i a partir de l'agost es té en compte el factor espècie.

^{ns} Diferències no significatives per $p > 0.05$.

La CE del sòl ha depès de la gespa (Figura 4.9A). En *C. dactylon* i la mescla de C₃, ha estat significativament més elevada en sorra de duna. En el sòl agrícola amb la mescla de C₃ ha estat significativament superior que en els altres dos sòls. Finalment, *C. dactylon* i la mescla de C₃ han diferenciat de manera contrària la CE del sòl segons la profunditat (Figura 4.9C).

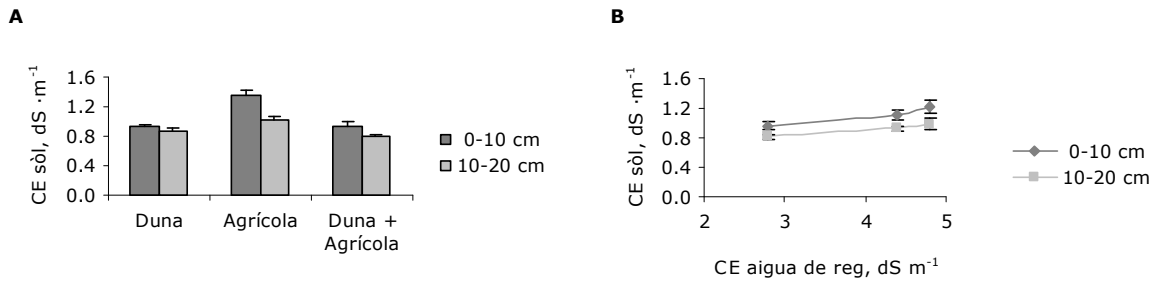


Figura 4.8 Conductivitat elèctrica del sòl ($CE_{1:5}$) a 25°C a l'agost, $p \leq 0.05$. Interacció tipus de sòl i profunditat (A). Interacció de la posició en el gradient salí i la profunditat en el sòl (B). La CE mesurada segons la prova prèvia de la salinitat. Les barres verticals representen l'error estàndard, $n = 40$ i 24 respectivament. Els tipus de sòl són: sorra de duna, sòl agrícola i el tercer, mescla de sorra de duna i sòl agrícola. La profunditat de les mostres 0-10 cm i 10-20 cm respecte la superfície del sòl. Les posicions "sense influència de sals" corresponen a un reg amb aigua regenerada; les posicions "intermèdia", rep el reg dels aspersors amb aigua regenerada i dels aspersors amb NaCl; i la posició "a la línia de sals", rep aigua només dels aspersors d'aigua regenerada amb addició de NaCl.

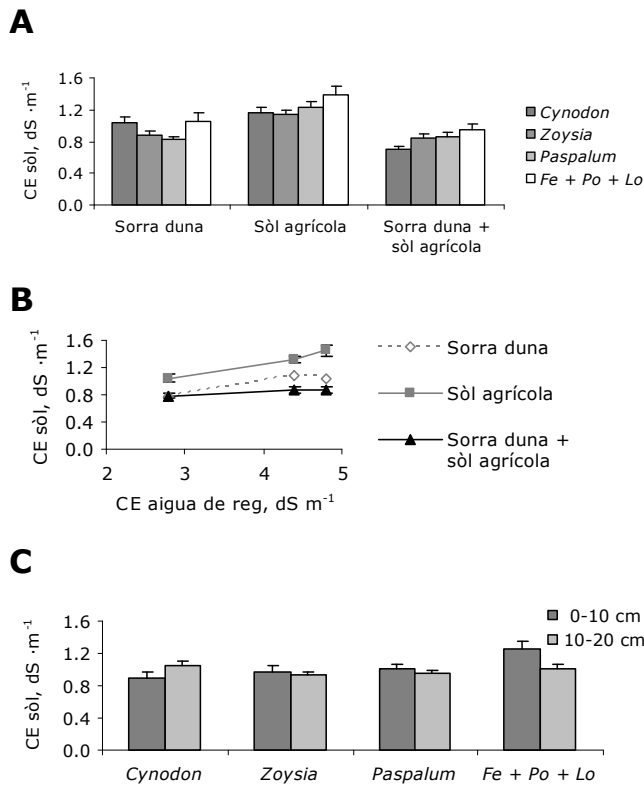


Figura 4.9 Conductivitat Elèctrica ($CE_{1:5}$) del sòl a 25°C a l'octubre en les interaccions: tipus de sòl segons les espècies de gespa que conté; tipus de sòl i posició respecte a la línia de sals (B); profunditat en el sòl segons les espècies que conté (C). La CE mesurada segons la prova prèvia de la salinitat. Les barres verticals representen l'error estàndard, $n = 20$, 16 i 30 respectivament per les tres figures, $p \leq 0,05$. Els tipus de sòl són: sorra de duna, sòl agrícola i mescla de sorra de duna i sòl agrícola. La profunditat de les mostres 0 - 10 i 10 - 20 cm respecte la superfície del sòl. Les posicions "sense influència de sals" corresponen a un reg amb aigua regenerada; les posicions "intermèdia", rep el reg dels aspersors amb aigua regenerada i dels aspersors amb NaCl; i la posició "a la línia de sals", rep aigua només dels aspersors d'aigua regenerada amb addició de NaCl.

Dels anàlisis més complets del sòl al final de l'assaig, la majoria de paràmetres són més elevats en el sòl agrícola (Taules 4.6 i 4.7). La CE és més elevada en la composició de l'extracte de pasta saturada que els anàlisis mitjançant la prova prèvia de la salinitat (Taula 4.5). S'ha detectat una concentració inapreciable de nitrats. La concentració del clorurs és el doble en el sòl agrícola que els altres dos en la línia de sals. El Na^+ en sòl de sorra de duna ha acabat sent gairebé el doble en la línia de sals. La textura del sòl no s'ha vist afectada per la salinitat en els dos anys d'estudi (Taula 4.8).

Taula 4.6 Composició de l'extracte de la pasta saturada dels sòls en funció de la qualitat d'aigua rebuda. Mostres del 25/11/2004 Font: Laboratori d'Anàlisi i Fertilitat de sòls.

		Línia de sals			Sense addició de sals		
		Duna	Agrícola	Agrícola + Duna	Duna	Agrícola	Agrícola + Duna
pH		8.1	8.2	8.3	8.1	8.3	8.2
CEse a 25 °C	dS m ⁻¹	8.94	11.28	8.13	5.91	8.68	7.6
Nitrats	meq / l	1.8	IP*	IP	IP	IP	IP
K	meq / l	1.7	2.2	1.1	1.2	2.6	2
Ca	meq / l	19.1	43.6	17.5	14.5	40	20.1
Na	meq / l	59.8	73.9	54.7	35.9	46.6	48.8
Mg	meq / l	7.2	15.1	6.6	9.9	15.8	8.6
Clorurs	meq / l	66.9	113.4	69.3	40.5	61.1	57.3
Sulfats	meq / l	32.4	31.5	14.3	19.8	44.1	25.4
Carbonats	meq / l	IP	IP	IP	IP	IP	IP
Bicarbonats	meq / l	4.1	4.2	4	4.1	5.4	4.3

*IP, inapreciable

Taula 4.7 Composició dels sòls en funció de la qualitat d'aigua rebuda. Mostres del 25/11/2004 Font: Laboratori d'Anàlisi i Fertilitat de sòls.

		Línia de sals			Sense addició de sals		
unitats		Duna	Agrícola	Agrícola + Duna	Duna	Agrícola	Agrícola + Duna
pH A L' AIGUA	0	7.8	8.1	8.1	7.9	7.9	8.1
CEse a 25 °C	dS m ⁻¹	2.89	2.27	1.71	1.59	2.89	1.67
mat. orgànica oxidable	%	3.85	4.88	3.42	2.31	6.28	3.68
N (Kjendal)	s.m.s* %	0.21	0.27	0.19	0.12	0.4	0.19
P	ppm	142	>200	154	131	>200	153
K	ppm	100	342	151	65	469	214
Mg	ppm	217	359	233	170	473	278
Carbonat Càlcic	%	10	32	24	6	33	18
Ca	ppm	3071	4567	4367	2281	4936	4523
Na	ppm	885	846	689	495	879	698
Cr	s.m.s ppm	16	24	18	6	26	15
Pb	s.m.s ppm	19	34	20	<10	39	19
Zn	s.m.s ppm	98	117	64	43	135	77
Cu	s.m.s ppm	29	70	35	13	90	43
Cd	s.m.s ppm	0.5	1	0.6	0.2	1.1	0.6
Ni	s.m.s ppm	<10	13	<10	<10	14	<10

*s.m.s = *saturated media extract* = Extracte de substrat saturat

Taula 4.8 Textura dels sòls en funció de la qualitat d'aigua rebuda. Mostres del 25/11/2004 realitzats pel Laboratori d'Anàlisi i Fertilitat de sòls.

	Mida de partícula (mm)	Línia de sals			No sals		
		Duna	Agrícola	Agrícola + Duna	Duna	Agrícola	Agrícola + Duna
Argila	D < 0.002	6.6	18.7	10.7	3.3	20.9	9.1
Llim fi	0.002 < D < 0.020	1.8	18.5	9.1	0.3	14.8	7
Llim gros	0.020 < D < 0.050	2	13.4	6.8	0.5	12.2	5.1
Arena total	0.050 < D < 2.000	89.6	49.4	73.4	95.9	52.1	78.8
Classe textural USDA		Arenosa	Franca	Franco-arenosa	Arenosa	Franco - Argil·loarenosa	Aranco-arenosa

4.4.2 Pes específic foliar, SLW

El pes específic foliar es va diferenciar significativament entre espècies i sòls (Taula 4.9). La interacció d'aquests va ser significativa a l'estiu, amb tendència a igualar-se en les C₄ a l'agost (Figura 4.10). La mescla de C₃ va mostrar més diferències segons els sòls. No hi havia diferències entre espècies en el sòl agrícola a l'estiu. Al juny, la salinitat no evidenciava una tendència clara en la interacció espècie * sòl. Al novembre, *C. dactylon* presentava un SLW superior en les salinitats altes, mentre que en *P. notatum* i la mescla d'espècies C₃ era al contrari (Figura 4.11). En *Z. japonica* no tenia efecte.

Taula 4.9 Anàlisi de variància pel pes específic foliar, SLW.

Valors de p de l'anàlisi de variància per determinar l'efecte dels tractaments: Espècie (*Cynodon dactylon*, *Zoysia japonica*, *Paspalum notatum* i la mescla de *Festuca + Poa + Lolium*), Sòl (Sorra de duna, agrícola i mescla agrícola + duna) i Posició. Les posicions "sense influència de sals" corresponen a un reg amb aigua regenerada; les posicions "intermèdia", rep el reg dels aspersors amb aigua regenerada i dels aspersors amb clorur sòdic; i la posició "a la línia de sals", rep aigua només dels aspersors d'aigua regenerada amb addició de clorur sòdic.

	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Setembre	Octubre	Novembre
Model	*	*	***	**	*	***	***	***
Espècie (E)	***	***	***	***	***	***	***	***
Sòl (S)	*	ns	ns	***	ns	*	**	ns
E * S	ns	ns	**	**	*	ns	ns	ns
Posició (P)	--	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P * E	--	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
P * S	--	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P * E * S	--	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns

^{ns} Diferències no significatives per $p > 0.05$; * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.001$; *** $p \leq 0.0001$.

-- no disponible

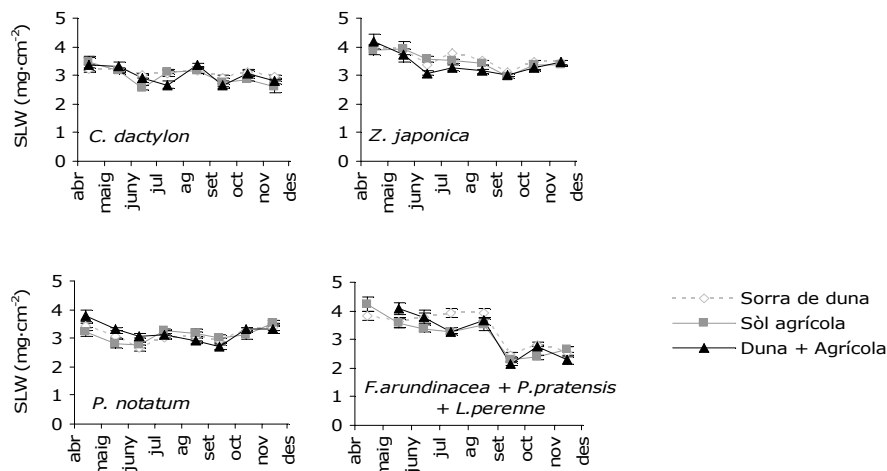


Figura 4.10
Evolució del pes específic foliar, SLW en la interacció espècie * tipus de sòl, $p \leq 0.05$. Les barres verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor, $n = 10$.

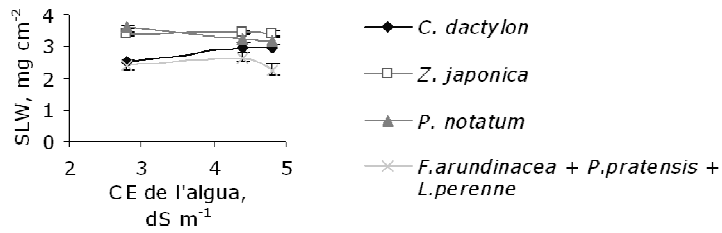


Figura 4.11 Pes específic foliar, SLW al novembre. Interacció espècie * salinitat, $p \leq 0.05$. Les barres verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor, $n = 6$.

4.4.3 Contingut relatiu de clorofil·les totals, SPAD

C. dactylon ha mostrat els valors més baixos de contingut relatiu de clorofil·les i disminueix progressivament durant l'any (Taula 4.10). La mescla de C_3 ha mostrat valors d'SPAD inferiors en el sòl agrícola a l'estiu (Figura 4.12). Al novembre, els valors més baixos d'SPAD són propers a la línia de sals a *C. dactylon*, *Z. japonica* i *P. notatum* quan creixen en sorra de duna (Figura 4.13). La mescla d'espècies C_3 obté millors resultats en el sòl agrícola però a la línia de sals no hi ha valor perquè s'havia mort la gespa. La manca de valors en *P. notatum* és perquè la cobertura d'aquesta espècie havia anat disminuint i la superfície estava colonitzada per *C. dactylon*.

Taula 4.10 Anàlisi de variància pel contingut relatiu de clorofil·les, SPAD.

Valors de p de l'anàlisi de variància per determinar l'efecte dels tractaments: Espècie (*Cynodon dactylon*, *Zoysia japonica*, *Paspalum notatum* i la mescla de *Festuca* + *Poa* + *Lolium*), Sòl (Sorra de duna, agrícola i mescla agrícola + duna) i Posició. Les posicions "sense influència de sals" corresponen a un reg amb aigua regenerada; les posicions "intermèdia", rep el reg dels aspersors amb aigua regenerada i dels aspersors amb clorur sòdic; i la posició "a la línia de sals", rep aigua només dels aspersors d'aigua regenerada amb addició de clorur sòdic.

	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Setembre	Octubre	Novembre
Model	*	***	ns	***	***	***	***	***
Espècie (E)	*	***	ns	***	***	***	***	***
Sòl (S)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**
E * S	*	**	ns	*	***	***	ns	***
Posició (P)	--	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P * E	--	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
P * S	--	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P * E * S	--	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*

ns no significatiu per $p > 0.05$; * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.001$; *** $p \leq 0.0001$.

-- no disponible

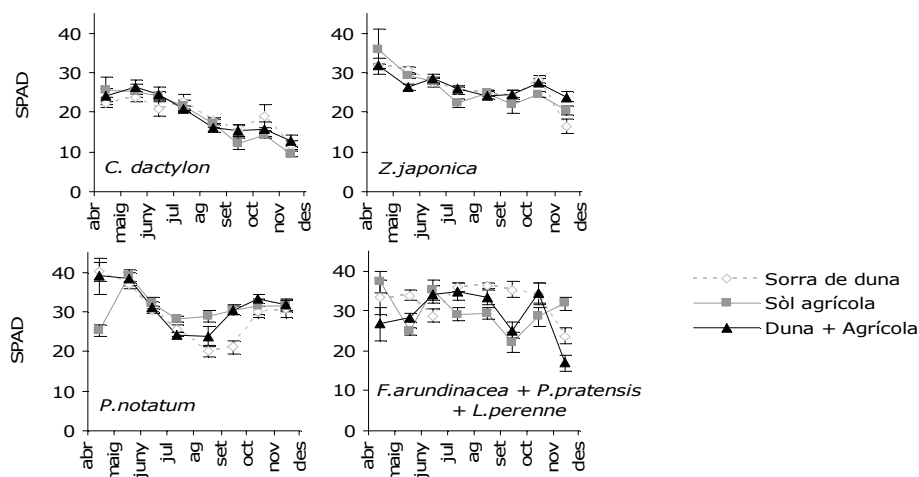


Figura 4.12 Evolució del contingut relatiu de clorofil·les, unitats SPAD. Interacció espècie* tipus de sòl, $p \leq 0.05$. Les barres verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor, $n = 10$

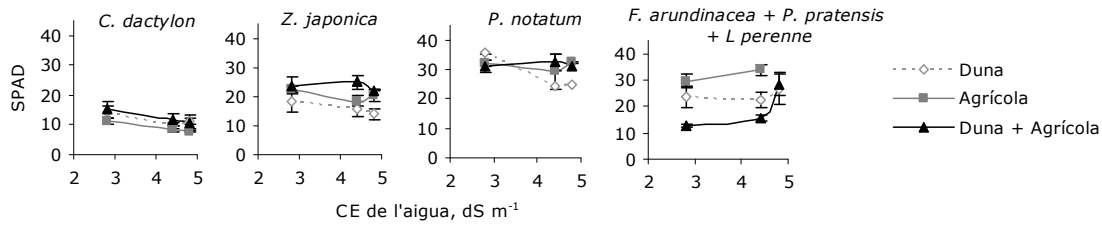


Figura 4.13 Contingut relatiu de clorofil·les, unitats SPAD, al novembre. Interacció espècie * tipus de sòl * salinitat de l'aigua de reg, $p \leq 0.05$. Les barres verticals representen l'error estàndard, $n = 2$ per la salinitat més alta i $n = 4$ per les salinitats baixa i mitjana.

4.4.4 Potencial osmòtic foliar

El potencial osmòtic foliar ha resultat més negatiu al principi de l'assaig en totes les espècies. Després augmenta independentment de la salinitat. Només en sorra agrícola en *C. dactylon* es manté inferior a -1.3 MPa al maig.

Les diferències entre espècies han estat significatives excepte a l'abril i al juny (Taula 4.11). La mescla d'espècies C_3 s'ha vist més afectada a l'agost i *P. notatum* mostra els valors significativament més baixos a la tardor. La interacció espècie * sòl ha sigut significativa (Figura 4.14). A juliol, les fulles més properes als aspersors "salins" presentaven significativament valors més negatius.

Taula 4.11 Anàlisi de variància pel potencial osmòtic foliar, Ψ_n .

Valors de p de l'anàlisi de variància per determinar l'efecte dels tractaments: Espècie (*Cynodon dactylon*, *Zoysia japonica*, *Paspalum notatum* i, mescla de *Festuca + Poa + Lolium*), Sòl (Sorra de duna, agrícola i mescla agrícola + duna) i Posició. Les posicions "sense influència de sals" corresponen a un reg amb aigua regenerada; les posicions "intermèdia", rep el reg dels aspersors amb aigua regenerada i dels aspersors amb clorur sòdic; i la posició "a la línia de sals", rep aigua només dels aspersors d'aigua regenerada amb addició de clorur sòdic.

	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Setembre	Octubre	Novembre
Model	ns	***	***	*	***	**	**	***
Espècie (E)	ns	***	ns	*	***	***	*	***
Sòl (S)	ns	***	ns	ns	***	ns	ns	*
E * S	ns	***	***	*	**	***	***	*
Posició (P)	--	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
P * E	--	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P * S	--	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
P * E * S	--	ns	ns	ns	*	ns	ns	*

ns Diferències no significatives per $p > 0.05$; * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.001$; *** $p \leq 0.0001$.
-- Dades no disponibles

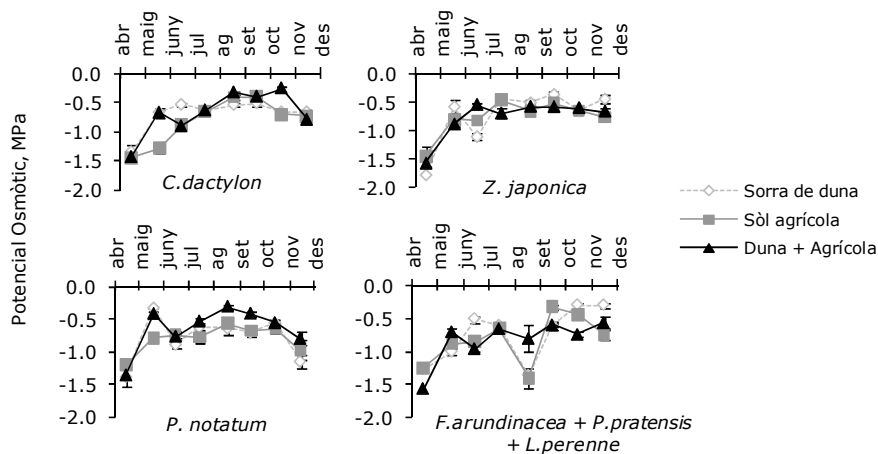


Figura 4.14 Evolució del potencial osmòtic foliar en la interacció espècie * tipus de sòl, $p \leq 0.05$. Les barres verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor, $n = 10$.

A l'agost i al novembre es detecta una tendència a valors més negatius de potencial osmòtic en les gespes exposades a salinitat més alta (Figura 4.15). Al novembre en *Z. japonica* en sorra de duna és el contrari. La mescla de C_3 en sòl agrícola a salinitat més alta no hi ha valor perquè no hi havia cobertura de gespa.

Les correlacions del SLW, SPAD i potencial osmòtic amb la CE de l'aigua aportada són significatives (Figura 4.16). Només disminueix significativament el SLW a l'augmentar la CE del sòl Agrícola + Duna.

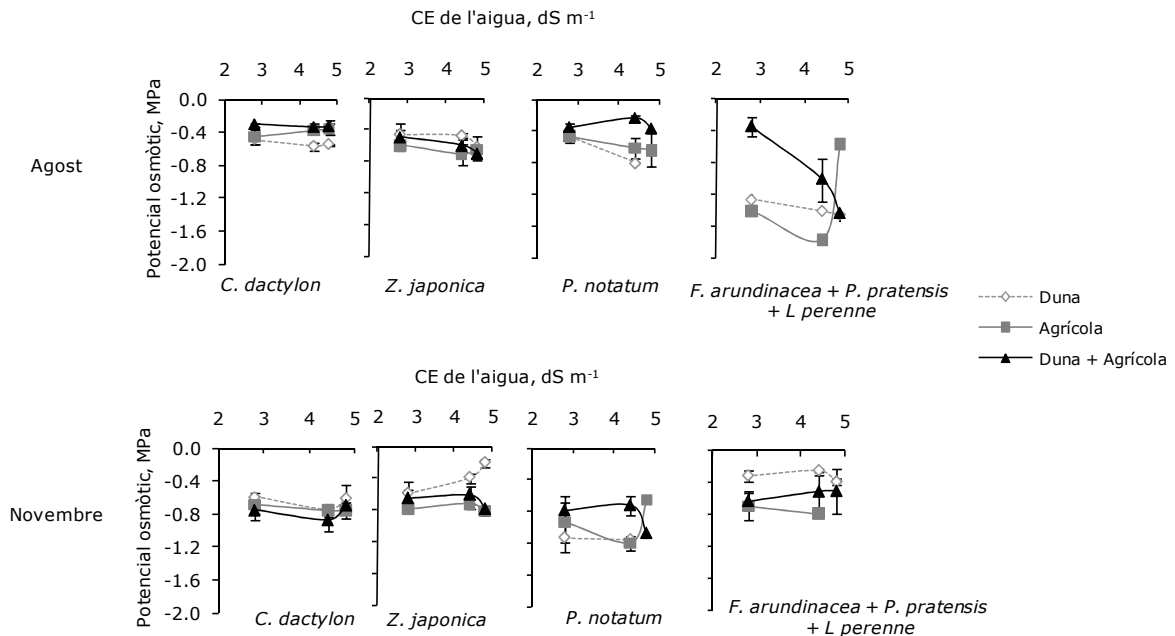


Figura 4.15 Potencial osmòtic foliar a l'agost i al novembre. Interacció espècie * tipus de sòl * salinitat de l'aigua de reg, $p \leq 0.05$. Les barres verticals representen l'error estàndard, $n = 2$ per la salinitat més alta i $n = 4$ per les salinitats mitjana i baixa.

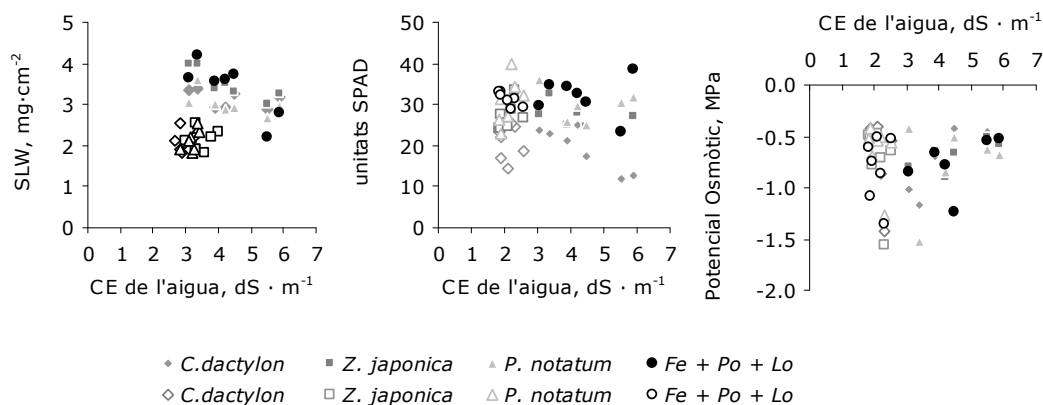


Figura 4.16 Correlació del pes específic foliar, SLW; contingut relatiu de clorofil·les totals, i potencial osmòtic foliar amb la conductivitat elèctrica (CE) de l'aigua de reg. Símbols plens indiquen mostres a la línia de sals; i símbols buits, mostres més allunyades de la línia de sals. Fe + Po + Lo es refereix a la mescla d'espècies C_3 (*Festuca arundinacea*, *Poa pratensis* i *Lolium perenne*). Cada punt és la mitjana de valors en cada mes de mostreig $n=15$ per a la CE de l'aigua de reg, $n=12$ per a les mesures a la vegetació als punts allunyats de la línia de sals i $n=6$ per als punts a la línia de sals.

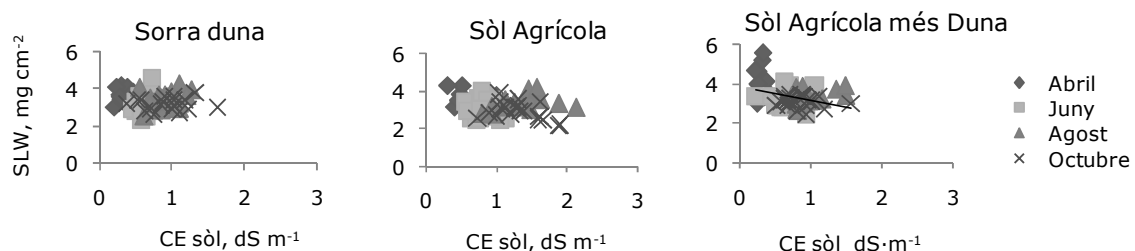


Figura 4.17 Correlació del pes específic foliar (SLW) amb la conductivitat elèctrica (CE) als 10 cm primers del sòl, segons els tipus de sòl. Només en el sòl agrícola+duna la regressió lineal ha resultat significativa $p \leq 0.05$, $n = 112$. $SLW = -0.65 CE + 3.82$, $r = 0.34^*$.

4.4.5 Concentració d'elements a la part aèria de la gespa

La concentració d'elements i quocients K^+/Na^+ i Ca^{2+}/Na^+ s'ha diferenciat significativament per espècie i pel tipus de sòl (Taula 4.12). Però només el Na^+ , el K^+ i els quocients, respecte a la distància de la línia de sals a l'agost. Un any després de la sembra i a un mes de l'inici del reg salí, les diferències detectades al maig es poden considerar degudes a les característiques químiques de les espècies. El Ca^{2+} i el Na^+ han tendit a augmentar, mentre el K^+ ha disminuït entre els dos mostresos (Figura 4.18). La mescla de C_3 acumula significativament més Ca^{2+} , Na^+ i B, sobretot en el sòl agrícola. En canvi *C. dactylon* acumula significativament més Na^+ en el sòl sorra de duna. El percentatge de K^+ ha variat en funció del tipus de sòl en totes les espècies a l'agost però sense mostrar una tendència clara. Es destaca la important disminució de K^+/Na^+ a l'agost respecte al maig sobretot en la mescla d'espècies C_3 .

Taula 4.12 Anàlisi de variància de la quantitat dels elements en la part aèria de la gespa Concentració en % de l'element en teixit sec (i ppm en el bor).

A la part superior de la taula es mostren les mitjanes segons els tractaments. A la segona part hi ha els valors de p de l'anàlisi de variància pels dos mostresos, per determinar l'efecte dels tractaments en la quantitat de cada element. Veure les mitjanes de Ca^{2+} , Na^+ , K^+ i K^+/Na^+ a la Figura 17.

Tractaments: Espècie (*Cynodon dactylon*, *Zoysia japonica*, *Paspalum notatum* i mescla de *Festuca arundinacea*, *Poa pratensis* i *Lolium perenne*), Sòl (Sorra de duna, agrícola i mescla agrícola + duna) i Posició. Les posicions "sense influència de sals" corresponen a un reg amb aigua regenerada; les posicions "intermèdia", rep el reg dels aspersors amb aigua regenerada i dels aspersors amb NaCl; i la posició "a la línia de sals", rep aigua només dels aspersors d'aigua regenerada amb addició de NaCl.

	Mg ²⁺ , %		B, ppm		Humitat, %		Ca ²⁺ /Na ⁺	
	maig	agost	maig	agost	maig	agost	maig	agost
Espècie								
<i>Cynodon</i>	0.15 c*	0.15 b	9.87 c	15.40 c	60.93 d	58.64 b	1.21 a	0.82 ab
<i>Zoysia</i>	0.13 d	0.16 b	12.40 b	16.60 bc	64.33 c	59.17 b	0.71 b	0.79 ab
<i>Paspalum</i>	0.22 a	0.18 ab	22.00 a	18.93 b	72.56 a	64.61 a	1.23 a	0.94 a
<i>Fe + Po + Lo</i>	0.20 b	0.19 a	23.60 a	32.87 a	70.17 b	62.65 a	1.28 a	0.73 b
Sòl								
Duna	0.17 a	0.18	15.75 b	20.65 ab	66.83 b	62.93 a	0.98 b	0.66
Agrícola	0.18 ab	0.18	17.25 ab	22.85 a	67.64 a	61.73 a	1.11 a	0.97
Duna + Agrícola	0.18 b	0.16	17.90 b	19.35 b	66.52 b	59.14 b	1.22 a	0.82
Posició								
Sense influència de sals	0.18	0.18	17.58	22.17	66.63	62.24	1.22	1.10 a
Intermèdia	0.18	0.14	17.42	19.08	66.83	59.6	1.06	0.60 b
A la línia de sals	0.18	0.18	17.58	21	67.13	60.95	1.05	0.51 b
Model								
Model	<0.0001	ns	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0099	0.0002	0.0007
Espècie (E)	<0.0001	0.0278	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	ns
Sòl (S)	0.0324	ns	0.0257	0.0501	0.0093	0.0033	0.0011	0.0016
E * S	ns	0.0273	0.0022	0.0078	0.0025	0.0251	ns	ns
Posició (P)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	<0.0001
P * E	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P * S	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ca²⁺, %								
	maig	agost	maig	agost	maig	agost	maig	agost
Model	<0.0001	0.0001	0.0025	0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Espècie (E)	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0002	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Sòl (S)	ns	<0.0001	0.0026	0.0078	0.0004	0.0422	0.0002	ns
E * S	ns	<0.0001	0.0358	0.0004	<0.0001	<0.0001	0.0012	<0.0001
Posició (P)	ns	ns	ns	<0.0001	ns	<0.0001	0.0035	<0.0001
P * E	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P * S	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Na⁺, %								
	maig	agost	maig	agost	maig	agost	maig	agost
Model	<0.0001	0.0001	0.0025	0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Espècie (E)	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0002	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Sòl (S)	ns	<0.0001	0.0026	0.0078	0.0004	0.0422	0.0002	ns
E * S	ns	<0.0001	0.0358	0.0004	<0.0001	<0.0001	0.0012	<0.0001
Posició (P)	ns	ns	ns	<0.0001	ns	<0.0001	0.0035	<0.0001
P * E	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P * S	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
K⁺, %								
	maig	agost	maig	agost	maig	agost	maig	agost
Model	<0.0001	0.0001	0.0025	0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Espècie (E)	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0002	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Sòl (S)	ns	<0.0001	0.0026	0.0078	0.0004	0.0422	0.0002	ns
E * S	ns	<0.0001	0.0358	0.0004	<0.0001	<0.0001	0.0012	<0.0001
Posició (P)	ns	ns	ns	<0.0001	ns	<0.0001	0.0035	<0.0001
P * E	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P * S	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
K⁺/Na⁺								
	maig	agost	maig	agost	maig	agost	maig	agost
Model	<0.0001	0.0001	0.0025	0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Espècie (E)	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0002	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Sòl (S)	ns	<0.0001	0.0026	0.0078	0.0004	0.0422	0.0002	ns
E * S	ns	<0.0001	0.0358	0.0004	<0.0001	<0.0001	0.0012	<0.0001
Posició (P)	ns	ns	ns	<0.0001	ns	<0.0001	0.0035	<0.0001
P * E	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P * S	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

* Dins de cada factor i mes, les mitjanes seguides de diferent lletra difereixen significativament $p \leq 0.05$ pel test de Duncan.

ns Diferències no significatives, $p > 0.05$.

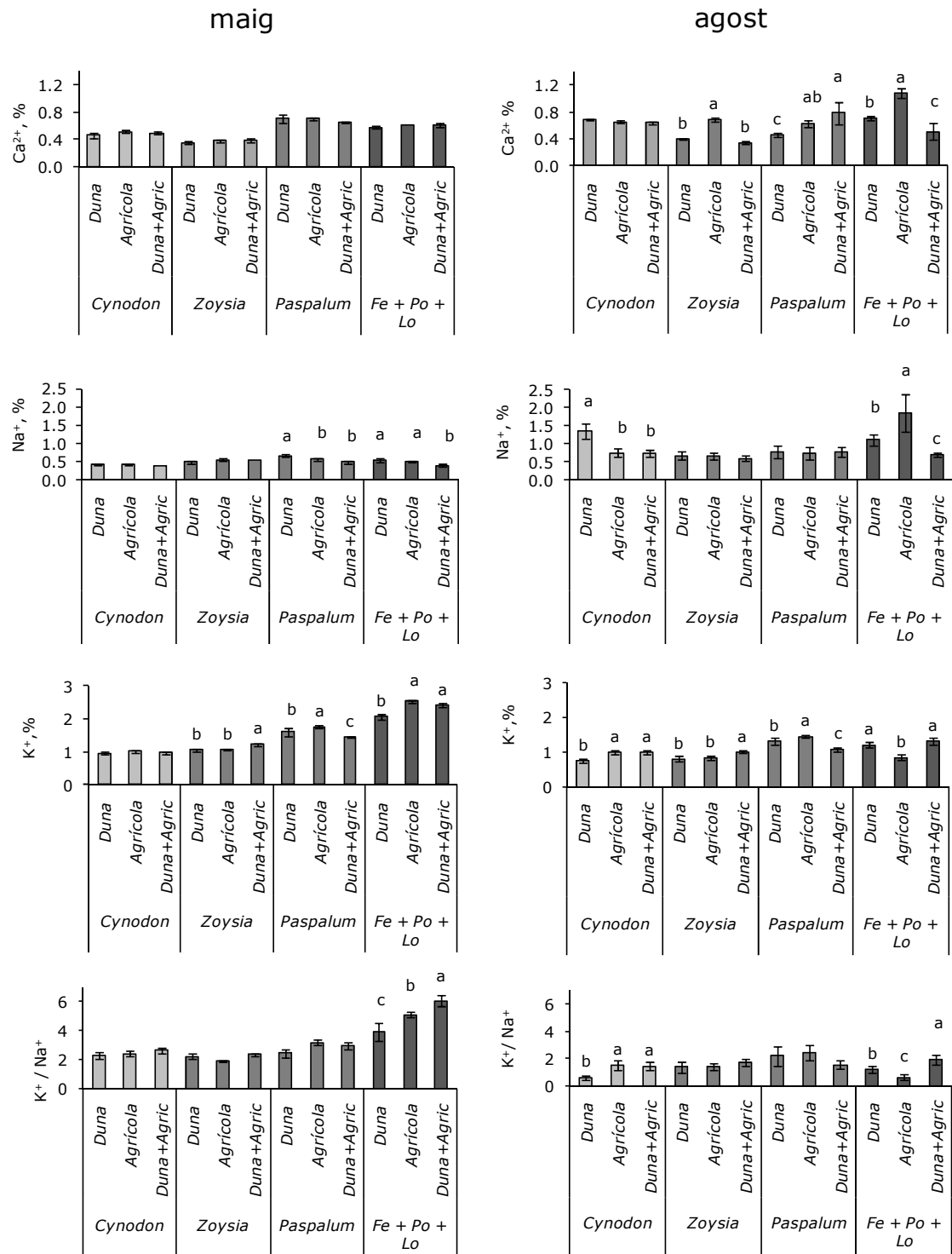


Figura 4.18 Concentració d'elements a la part aèria de la gespa segons les espècies i el tipus de sòl, $p \leq 0.05$. Concentració expressada en % de l'element en teixit sec. Les barres verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor $n = 5$. Dins de cada espècie, les mitjanes seguides de diferent lletra difereixen significativament $p \leq 0.05$ pel test *a posteriori* de LS Means. Les espècies són *Cynodon dactylon*, *Zoysia japonica*, *Paspalum notatum* i una mescla d'espècies C_3 formada per *Festuca arundinacea*, *Poa pratensis* i *Lolium perenne*. Remarcades en diferents grisos. Els tres tipus de sòl són: sorra de duna, sòl agrícola i mescla de sorra de duna i sòl agrícola.

La concentració dels elements al sòl no ha influenciat remarcablement a la vegetació. Tot i que les dades del sòl són del novembre i les de la vegetació, a l'agost (Figura 4.19). Les diferències més importants en la concentració dels elements és pel tipus de sòl. I petites diferències en $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ i K^+/Na^+ dins un mateix tipus de sòl, les diferències són considerables a la gespa. A l'estiu, la concentració de Na^+ a les fulles ha augmentat significativament amb l'increment de la CE del sòl (Figura 4.20). I el potencial osmòtic ha disminuït significativament amb l'increment dels ions.

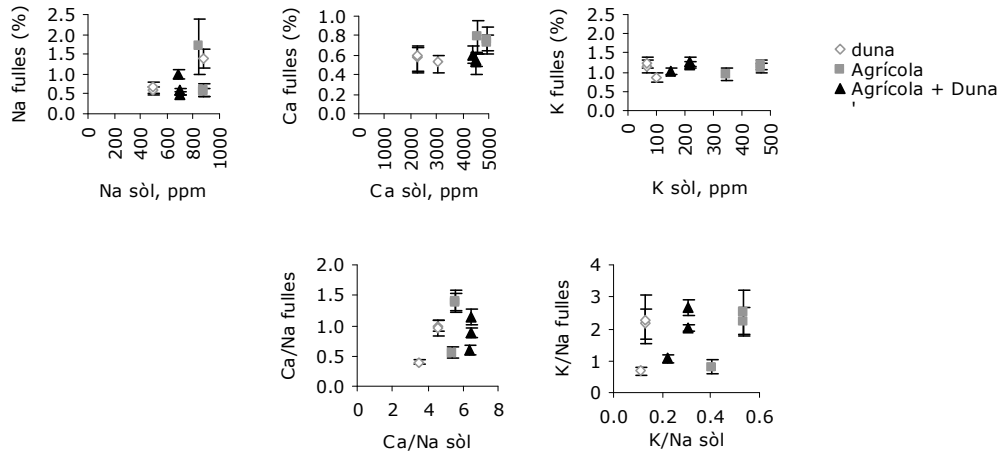


Figura 4.19 Relació de la concentració de Na^+ , Ca^{2+} , K^+ i els quocients $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ i K^+/Na^+ en el sòl i a la part aèria de la gespa en funció del tipus de sòl, a la línia de sals i sense influència de les sals. Concentració expressada en % de l'element en teixit sec. Notar les diferents escales de les gràfiques. Les barres verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor. $n=1$ i 4 per al sòl i a la vegetació respectivament.

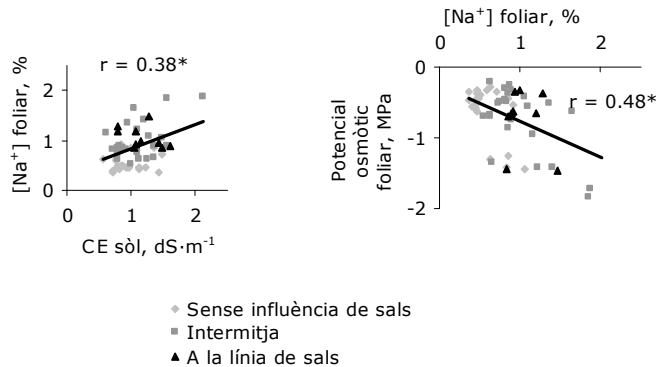


Figura 4.20 A l'agost, correlacions entre concentració de Na^+ a les fulles amb la conductivitat elèctrica (CE) als 10 cm primers del sòl (esquerra) i el potencial osmòtic foliar (dreta). Expressat en % de l'element en teixit sec. $n = 60$. Es distingeixen les posicions: "sense influència de sals" corresponen a un reg amb aigua regenerada, les posicions "intermèdia" i la posició "a la línia de sals" respecte la línia d'aspersors amb addició de NaCl.

4.4.6 Índexs derivats de fotografies

Els índexs derivats de fotografies mostren tendències semblants, però les diferències entre els tractaments són més paleses en el percentatge d'àrea verda i l'índex de verdor. A l'inici de l'assaig, el percentatge d'àrea verda mostra valors inferiors al 50% en *C. dactylon* i *P. notatum*, mentre que la mescla C_3 es troba propera al 100% (Taula 4.13 i Figura 4.21). A l'estiu disminueix la cobertura de les espècies i a la línia de sals la cobertura és menor (Figures 4.21 i 4.22). La mescla de sòl agrícola més duna és favorable per les espècies C_4 a la primavera. A l'estiu, clarament perjudica a *P. notatum* però afavoreix a la mescla de C_3 (Figura 4.20).

Taula 4.13 Anàlisi de variància pel percentatge d'àrea verda.

Valors de p de l'anàlisi de variància per determinar l'efecte dels tractaments en aquest paràmetre. Tractaments: Espècie (*Cynodon dactylon*, *Zoysia japonica*, *Paspalum notatum* i mescla de *Festuca arundinacea*, *Poa pratensis* i *Lolium perenne*), Sòl (Sorra de duna, agrícola i mescla agrícola + duna) i Posició. Les posicions "sense influència de sals" corresponen a un reg amb aigua regenerada; les posicions "intermèdia", rep el reg dels aspersors amb aigua regenerada i dels aspersors amb NaCl; i la posició "a la línia de sals", rep aigua només dels aspersors d'aigua regenerada amb addició de NaCl.

	abril	maig	juny	juliol	agost	setembre	octubre
Model	<0.0001	<0.0001	0.0351	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Espècie (E)	<0.0001	<0.0001	ns	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Sòl (S)	--	0.0041	0.0005	<0.0001	<0.0001	ns	<0.0001
E * S	0.0025	<0.0001	ns	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Posició (P)	ns	<0.0001	0.0004	ns	0.0079	<0.0001	<0.0001
P * E	--	ns	ns	ns	0.0245	ns	ns
P * S	--	0.0493	ns	0.0486	0.0059	0.0460	ns
P * E * S	--	ns	ns	0.0132	0.0439	ns	ns

Àrea verda és el percentatge de píxels de la imatge amb tonalitat de color entre 60° i 180°.

ns Diferències no significatives, $p > 0.05$.

-- no es van mostrejar aquests punts.

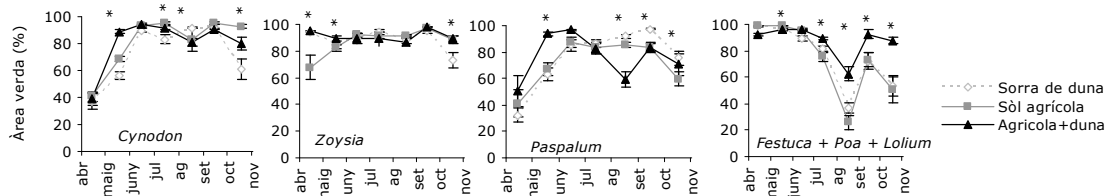


Figura 4.21 Evolució del percentatge d'àrea verda en la interacció espècie * tipus de sòl. Les barres verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor, $n = 10$. Els asteriscs indiquen els dies en què hi ha diferències entre cada tipus de sòl, $p \leq 0.05$. Àrea verda és el percentatge de píxels de la imatge amb tonalitat de color entre 60° i 180°.

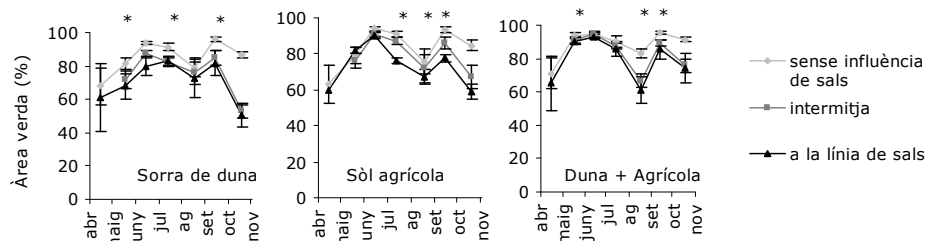


Figura 4.22 Evolució del percentatge d'àrea verda en la interacció tipus de sòl * salinitat. Les barres verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor, $n = 10$. Els asteriscs indiquen els dies en què hi ha diferències entre les posicions, $p \leq 0.05$. Àrea verda és el percentatge de píxels de la imatge amb tonalitat de color entre 60° i 180°. Les posicions "sense influència de sals" corresponen al reg amb aigua regenerada; les posicions "intermèdia", rep el reg dels aspersors amb aigua regenerada i dels aspersors d'aigua regenerada amb addició de NaCl; i la posició "a la línia de sals" rep aigua només dels aspersors d'aigua regenerada amb addició de NaCl.

La correlació dels índexs derivats de fotografies de la mescla d'espècies C_3 ha estat positiva amb la concentració dels ions K^+ , K^+/Na^+ i Ca^{2+}/Na^+ a les fulles (Figura 4.23). En el Na^+ i el Ca^{2+} és negativa. No hi ha hagut correlació en les espècies C_4 . Per exemple, *C. dactylon* pot acumular fins a un 2% de Na^+ a les fulles i no causar efectes en aquest paràmetre. El rang de valors obtingut en el quocient K^+/Na^+ no ha afectat a la cobertura de les C_4 .

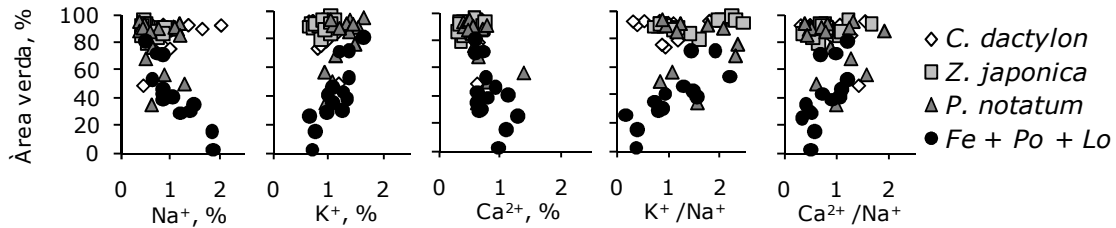


Figura 4.23 Relació del percentatge de l'àrea verda en funció dels elements de la vegetació a l'agost. El símbols indiquen les diferents espècies. Àrea verda és el percentatge de píxels de la imatge amb tonalitat de color entre 60° i 180°. Fe + Po + Lo indica la mescla C₃ formada per *Festuca arundinacea*, *Poa pratensis* i *Lolium perenne*. n = 60. Es mostren les correlacions lineals significatives de la mescla d'espècies C₃. Concentració expressada en % de l'element en teixit sec.

El tipus de sòl ha estat significatiu en la tonalitat de color (H) de les gespes, però en *C. dactylon* i *Z. japonica*, no és tan important (Taula 4.14 i Figura 4.24). La mescla de C₃ disminueix l'índex a l'estiu i es recupera a la tardor sobretot en els sòls sorra de duna i l'agrícola. Al juliol, en *C. dactylon* la salinitat afecta en el sòl de sorra de duna i en el Duna + Agrícola (Figures 4.25 i 4.26). En canvi, afecta a tots els sòls en la mescla C₃. El contingut relatiu de clorofil·les totals no s'ha correlacionat amb la H. En el primer es tracta de mesures a nivell de fulla; mentre que el segon, de superfície.

Taula 4.14 Anàlisi de variància per la tonalitat de color.

Valors de p de l'anàlisi de variància per determinar l'efecte dels tractaments en aquest paràmetre. Tractaments: Espècie (*Cynodon dactylon*, *Zoysia japonica*, *Paspalum notatum* i mescla de *Festuca arundinacea*, *Poa pratensis* i *Lolium perenne*), Sòl (Sorra de duna, agrícola i mescla agrícola + duna) i Posició Les posicions "Sense influència de sals" corresponen a un reg amb aigua regenerada; les posicions "intermèdia", rep el reg dels aspersors amb aigua regenerada i dels aspersors d'aigua regenerada amb addició de NaCl; i la posició "A la línia de sals", rep aigua només dels aspersors d'aigua regenerada amb addició de NaCl.

	abril	maig	juny	juliol	agost	setembre	octubre
Model	<0.0001	<0.0001	ns	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Espècie (E)	<0.0001	<0.0001	ns	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0029
Sòl (S)	ns	<0.0001	ns	ns	<0.0001	0.0258	<0.0001
E * S	0.0028	<0.0001	ns	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Posició (P)	--	0.0012	ns	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
P * E	--	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P * S	--	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P * E * S	--	ns	ns	0.0232	ns	ns	ns

La tonalitat de color és: vermell, 0°; groc, 60°; verd 120°; cian, 180°; blau, 240° i magenta, 300°.

^{ns} Diferències no significatives, p > 0.05.

-- no es van mostrejar aquests punts.

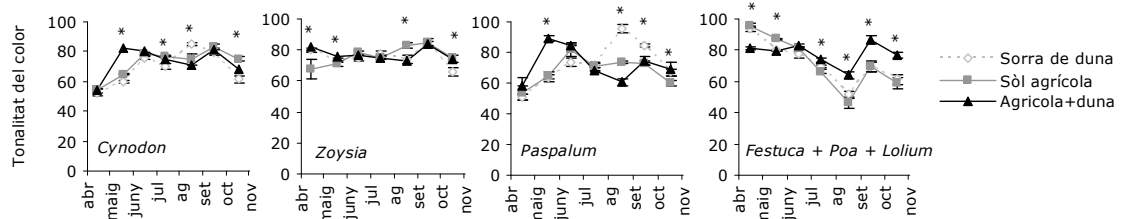


Figura 4.24 Evolució de la tonalitat de color (°) en la interacció espècie * tipus de sòl. Les barres verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor, n = 10. La tonalitat de color és: vermell, 0°; groc, 60°; verd 120°; cian, 180°; blau, 240° i magenta, 300°. Els asteriscs indiquen els dies en què hi ha diferències significatives entre els sòls per a cada espècie, p ≤ 0.05.

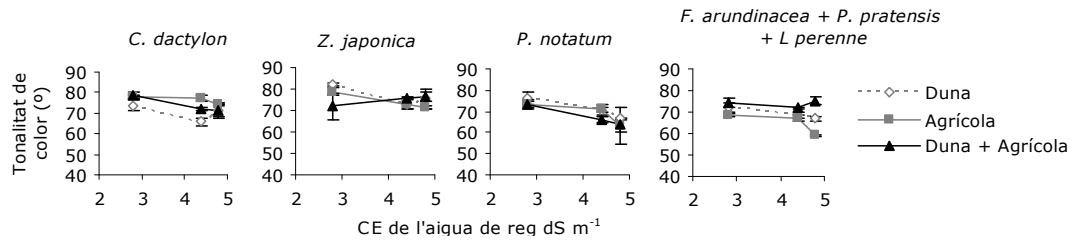


Figura 4.25 Evolució de la tonalitat de color en la interacció espècie * tipus de sòl * salinitat al juliol, $p \leq 0.05$. La tonalitat de color és: vermell, 0°; groc, 60°; verd 120°; cian, 180°; blau, 240° i magenta, 300°. Les barres verticals representen l'error estàndard, $n = 2$ per la salinitat més alta i $n = 4$ per les salinitats mitjana i baixa.

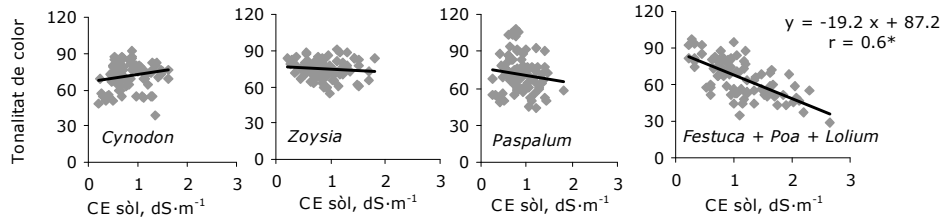


Figura 4.26 Correlació de la tonalitat de color (°) de les gespes amb la conductivitat elèctrica (CE) a 25°C als 10 cm primers del sòl. La tonalitat de color és: vermell, 0°; groc, 60°; verd 120°; cian, 180°; blau, 240° i magenta, 300°. L'asterisc indica recta estadísticament significativa, $p \leq 0.05$.

L'índex de verdor ha mostrat diferències significatives entre espècies i valors inferiors a la zona d'influència de la línia de sals. Però no s'ha diferenciat entre els sòls a l'estiu (Taula 4.15). L'índex ha variat menys d'una dècima al llarg de l'any en *C. dactylon* i *Z. japonica* (Figura 4.27). La primera ha mostrat petites diferències entre sòls; però en la segona, el sòl agrícola ha afectat negativament. *P. notatum* ha presentat valors més alts en el sòl agrícola + duna a la primavera. En la mescla de C_3 , l'índex ha anat disminuint fins a l'agost, recuperant-se a la tardor. La interacció espècie * sòl * salinitat és significativa al juliol, agost i a l'octubre (Figura 4.28). Al maig no és significativa, a diferència de les interaccions de la salinitat amb el sòl i l'espècie per separat. En aquesta interacció no es diferencien els sòls que proporcionen millors resultats per a les gespes però es detecta l'efecte de la salinitat sobretot en *C. dactylon*. Aquesta espècie és més sensible quan es troba en sorra de duna i el sòl l'agrícola + duna.

Taula 4.15 Anàlisi de variància per l'índex de verdor.

Valors de p de l'anàlisi de variància per determinar l'efecte dels tractaments en aquest paràmetre. Tractaments: Espècie (*Cynodon dactylon*, *Zoysia japonica*, *Paspalum notatum* i mescla de *Festuca arundinacea*, *Poa pratensis* i *Lolium perenne*), Sòl (Sorra de duna, agrícola i mescla agrícola + duna) i Posició Les posicions "Sense influència de sals" corresponen a un reg amb aigua regenerada; les posicions "intermèdia", rep el reg dels aspersors amb aigua regenerada i dels aspersors d'aigua regenerada amb addició de NaCl; i la posició "A la línia de sals", rep aigua només dels aspersors d'aigua regenerada amb addició de NaCl.

	abril	maig	juny	juliol	agost	setembre	octubre
Model	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Espècie (E)	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Sòl (S)	ns	<0.0001	<0.0001	ns	ns	ns	0.0018
E * S	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Posició (P)	--	0.0492	0.0017	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
P * E	--	0.0129	ns	ns	0.0260	ns	ns
P * S	--	0.0354	ns	ns	ns	ns	0.0031
P * E * S	--	ns	ns	0.0088	0.0313	ns	0.0100

L'índex de verdor és el tant per 1 de verd respecte al vermell i el blau. Valors baixos de l'índex de verdor indiquen gespa cloròtica o necròtica. El llindar del color verd es troba entre 0.15 i 0.2.

^{ns} Diferències no significatives, $p > 0.05$.

-- no es van mostrejar aquests punts.

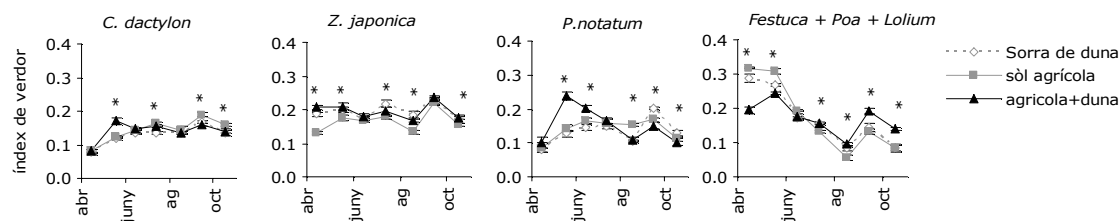


Figura 4.27 Evolució de l'índex de verdor en la interacció espècie * tipus de sòl. Tant per 1 de verd respecte al vermell i el blau. Valors baixos de l'índex de verdor indiquen gespa cloròtica o necròtica. El llindar del color verd es troba entre 0.15 i 0.2. Les barres verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor, $n = 10$. Els asteriscs indiquen els dies en què hi ha diferències significatives entre els sòls per a cada espècie, $p \leq 0.05$.

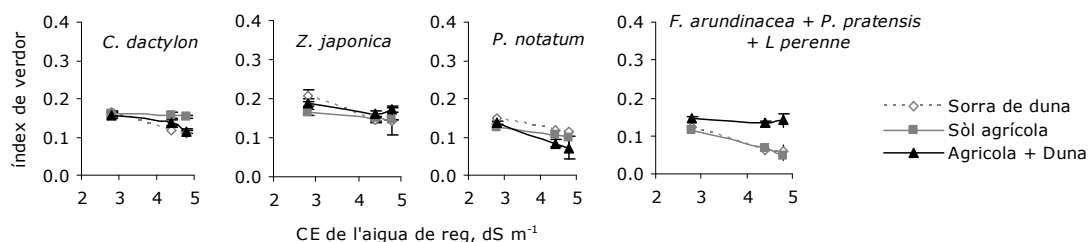


Figura 4.28 Índex de verdor a l'octubre en la interacció espècie * salinitat $p \leq 0.05$. Tant per 1 de verd respecte al vermell i el blau. Valors baixos de l'índex de verdor indiquen gespa cloròtica o necròtica. El llindar del color verd es troba entre 0.15 i 0.2. Les barres verticals representen l'error estàndard, $n = 2$ per la salinitat més alta i $n = 4$ per les salinitats mitjana i baixa.

Les gespes es van establir però *P. notatum* en sòl agrícola va mostrar dificultats al principi. Després de dos anys de la sembra, va ser substituït en bona part per *C. dactylon*. Al final de l'assaig, la cobertura de les gespes disminueix a la zona de la línia de sals. S'observa necrosi en la mescla de les C_3 en sòl agrícola però també la poca cobertura que presenta en el sòl sorrenc (Taula 4.15). Aquest comportament ja s'aprecia a l'agost en la mescla d'espècies C_3 en el sòl agrícola (Fotografies 4.1 i 4.2). També destaquem la franja grogosa en *Z. japonica* al sòl sorra de duna. Tot i el problema d'herbicida en la parcel·la de *Z. japonica* en el sòl duna + agrícola, es va recuperar excepte petites clapes.



Fotografies 4.1 i 4.2 Mescla de C₃ en el sòl agrícola a l'agost. Parcel·la sencera (esquerra). **Detall d'una de les dues fotografies zenitals en la línia de sals**, a partir de la qual es calculen els índexs (dreta).

Taula 4.16 Fotografies de cada espècie amb el tipus de sòl a l'octubre. Un mes abans de finalitzar l'assaig.

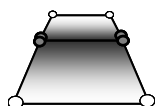


Diagrama del gradient salí en les imatges. En gris fosc la part regada amb addició de NaCl

Espècies	Sorra de duna	Sòl agrícola	Duna + agrícola
<i>F. arundinacea</i> + <i>P. pratensis</i> + <i>L. perenne</i>			
<i>C. dactylon</i>			
<i>P. notatum</i>			
<i>Z. japonica</i>			

4.5 DISCUSSIÓ

4.5.1 pH i CE del sòl

El 2004 va ser plujós respecte la mitjana. Les precipitacions a l'abril i les posteriors més o menys regulars i minses poden haver contribuït a la inexistència de diferències de pH i CE del sòl al juny. En canvi de mitjans de juliol fins a mig setembre no plou, i l'ET_o, tot i no ser la màxima anual, es manté molt constant per sobre de 4 mm dia⁻¹. A més, a l'agost, la CE de l'aigua regenerada superava els 5 dS m⁻¹, en dies determinats i ja feia quatre mesos de l'inici del tractament salí.

Tot i que el pH ha disminuït amb el temps, s'ha mantingut dins la categoria de sòl bàsic o calcari, entre 7.5 i 8.5, molt comú a Catalunya (Porta 1985). En aquest pH, els elements: Fe, Mn, Zn i B es troben en

solubilitat baixa al sòl, poc disponibles per les plantes. La correlació de la CE en el sòl agrícola amb el gradient salí és coherent amb la textura argilosa (Porta 1986). Junt amb disfuncions per sobre-reg, la salinitat de l'aigua ha desestructurat el sòl i tolls amb necrosi per hipòxia, sobretot en la mescla de gespes C_3 i sòl agrícola als últims mesos (Taula 4.16).

Una sega baixa com en l'assaig i la salinitat del medi, que disminueix el creixement de la part aèria de les plantes; redueixen la transpiració, afavorint el rentat de sals al sòl (Munns i Tester 2008). A Qian i Fu (2005), la CE dels sòls regats amb aigua salinitzada a 5 i 10 dS m^{-1} , era menor si la gespa d'*Agrostis palustris* se segava a 12.7 mm respecte a 25.4 mm. En l'assaig les alçades eren de 20 mm.

La menor CE del sòl en les gespes C_4 pot ser perquè es caracteritzen per una transpiració menor i necessiten com a microelement essencial el Na^+ (Beard 1973). A Hameed i Ashraf (2008) la taxa de transpiració de *C. dactylon* va disminuir de 3.1 a 0.9 mmol $m^{-2} s^{-1}$ a l'augmentar la salinitat del medi amb 200 mM de NaCl. L'ecotip resistent provenia d'un sòl amb una CE de 19.9 dS m^{-1} i un contingut de 4134.9 mg Na^+ kg^{-1} i 2021.3 mg Cl^- kg^{-1} .

Al contrari de la mescla de C_3 , la lleugera acumulació de sals en profunditat en *C. dactylon* a l'octubre, podria indicar l'activitat i/o profunditat a la que es troben les arrels. A la tardor, quan les temperatures mínimes són de 10 °C, les espècies C_4 inicien la dormició, en canvi, és un període òptim de creixement per a les C_3 (Beard 1973). *F. arundinacea* presenta més d'arrels que *C. dactylon* entre els 10 i 20 cm de profunditat en el sòl (capítol 3). Tot i que la longitud de les arrels en *C. dactylon* pot augmentar com a resposta a l'estrès salí (Hameed i Ashraf 2008).

La CE de la pasta saturada va ser més alta que en la prova prèvia de salinitat. La primera metodologia és més fiable (Porta 1986). Però per fer el seguiment d'aquest paràmetre es va escollir la segona, que feia viable processar els 120 punts de mostreig bimensualment (Visconti *et al.* 2010).

4.5.2 Mesures foliars de la gespa

A Hameed i Ashraf (2008), el potencial osmòtic foliar de *C. dactylon* va disminuir de -1.1 a -1.5 MPa al passar de 0 a 200 mM de NaCl al medi de cultiu, que correspon a 0 i 18 dS m^{-1} de CE. Però era un 7 % superior en l'ecotip més tolerant a la salinitat. A Lee *et al.* (2004a i 2004b) en sorra, *Paspalum vaginatum* mostrava resistència fins a 40 dS m^{-1} . A Berndt (2007) la qualitat de *P. vaginatum* O. Swartz va disminuir des de 0.52 fins a 59.4 dS m^{-1} de l'aigua de reg. Però a salinitats moderades, la qualitat (textura de fulla, color, creixement i producció) millorava amb el temps a causa de l'estrès osmòtic i l'ajust osmòtic posterior (Lee *et al.* 2008). Semblant a *P. notatum* en l'assaig des de juny a setembre en general amb l'SPAD, el potencial osmòtic i els índexs derivats de fotografies.

A White *et al.* (2001) el potencial osmòtic foliar a plena turgència de *Z. japonica* els controls va variar entre -1.56 i -1.76 MPa, mentre que els sotmesos a estrès per sequera arribaven a -2.04 MPa. Valors més baixos que en l'assaig, excepte a l'inici del tractament amb aigua salinitzada. La disminució del potencial osmòtic a l'abril no es correspon amb la CE del sòl. No és per la maduresa de les fulles de la primavera, quan la gespa està en continu creixement. Podria ser per l'estrès de l'inici del tractament salí, quan la línia de sals va començar a regar a 5 dS m^{-1} al maig feia un any que les gespes es regaven amb aigua regenerada a 3 dS m^{-1} . En la majoria d'assajos la salinitat s'augmenta de forma progressiva per exemple de 0.4 dS m^{-1} diaris fins a la desitjada com a Qian *et al.* (2001).

A la primavera i estiu, la disminució del potencial osmòtic foliar independentment de la distància de la línia de sals podria ser per la precipitació de finals de març de gairebé 50 mm. Aquesta va lixiviar les sals, ja que la salinitat és un 37% inferior a la superfície que de 10 a 20 cm de sòl. A l'agost, després d'un període sense pluges es detecta estrès en la mescla d'espècies C_3 .

A Hameed i Ashraf (2008), l'àrea foliar per planta de *C. dactylon* augmentava amb la salinitat fins a 100 mM de NaCl però a concentracions superiors disminuïa. El pes sec de la part aèria passava de 3 a 0.8 g planta⁻¹ de 0 a 200 mM de NaCl, uns 18 dS m⁻¹ de CE. Però gairebé no variava en l'ecotip tolerant a la salinitat.

El pes específic foliar és semblant a *C. dactylon*, *F. arundinacea* i *Poa annua* a Utrillas i Alegre (1997), MacAdam i Nelson (2002) i Gaussoin *et al.* (1997) respectivament. L'estrès osmòtic continuat provocaria un augment del pes específic per una disminució del volum cel·lular junt amb una reducció del creixement i de la disponibilitat hídrica; i una acumulació de soluts. No detectem un augment del pes específic foliar, podem dir que no hi ha hagut efecte en el creixement de la gespa. A més, l'acumulació de Na⁺ als teixits podria influir en l'ajust osmòtic abans de desenvolupar problemes de toxicitat (Munns i Tester 2008).

Trobem valors semblants de contingut relatiu de clorofil·les totals en *Triticum aestivum* L. a Adamsen *et al.* (1999). A part de les diferències entre espècies pel color genètic (Morris i Sherman 2000). Els valors d'SPAD inferiors a la tardor es deuen a la dormició en les espècies C₄. *C. dactylon* és la més sensible a les baixes temperatures, sent la primera a entrar en aquest estadi (Xiong *et al.* 2007). Al final de l'assaig, la quantitat de nitrats inapreciable al sòl indicaria un adob correcte o deficitari. Els símptomes de clorosi a l'estiu a la línia de sals podrien ser efecte de la salinitat sobretot en sòl agrícola. Aquest segon motiu justificaria la davallada important que pateix la mescla d'espècies C₃ en el sòl sorra de duna i la mescla duna + agrícola, però no en sòl agrícola. A Dean *et al.* (1996) en un gradient salí equivalent a l'assaig, *C. dactylon* i *F. arundinacea* proporcionen gespes d'acceptable qualitat (color, cobertura i producció) regant-les amb aigua regenerada fins a 6 dS m⁻¹ de CE. A Hameed i Ashraf (2008) el contingut de clorofil·la 'a' en *C. dactylon*, disminuïa progressivament fins un 40 % amb l'increment de la salinitat en el medi de cultiu. En l'assaig es pot comparar amb la disminució del contingut relatiu de clorofil·les a *C. dactylon* en el sòl duna + agrícola al novembre.

4.5.3 Contingut d'elements a la part aèria de la vegetació

Semblant a Wu *et al.* (1996), les espècies C₃ acumulaven més ions de l'aigua. En les C₃, la tolerància a la salinitat es correspon a la menor concentració de Na⁺ foliar (Munns i Tester 2008). A Hameed i Ashraf (2008), l'ecotip de *C. dactylon*, adaptat a la salinitat, acumulava un 40% menys de Na⁺, a la part aèria i arrels, a les condicions de salinitat més altes (200 mM de NaCl, uns 18 dS m⁻¹ de CE). A l'estiu, la mescla de C₃ acumula gran quantitat de Na⁺ sobretot en sòl agrícola abans de la necrosi foliar (Qian *et al.* 2001). Però no explicaria la disminució de la qualitat d'aquesta gespa en els altres sòls, on les concentracions de Na⁺ són menors. L'acumulació de Na⁺ a la línia de sals en el sòl sorra de duna més alta que en el sòl mescla duna + agrícola explicaria l'acumulació de Na⁺ en els teixits de la mescla de C₃. Amb la mateixa concentració de Na⁺ al sòl agrícola que al de sorra de duna, la mescla de C₃ acumula gairebé el doble de Na⁺ als teixits.

La concentració adequada de K⁺ als teixits és de 1.0 % (Salisbury i Ross 1969). Al maig sobretot *P. notatum* i la mescla de C₃ superen aquest valor, però després disminueix. Un comportament semblant es troba en la varietat sensible a la salinitat de *C. dactylon* a Hameed i Ashraf (2008). El qual passa d'1.5 a 0.5% des del control fins a 200mM de NaCl. Sovint l'increment de disponibilitat de K⁺ n'augmenta el consum (Wu *et al.* 1996).

0.5 % és la concentració adequada de Ca²⁺ als teixits (Salisbury i Ross 1969). Però en Wu *et al.* (1996) i Dean-Knox *et al.* (1998) el mínim en C₃ i C₄ és de 2%. I en Hameed i Ashraf (2008) és de 1.5 % en *C. dactylon*. En cultiu hidropònic i gradient de salinitat a Hameed i Ashraf (2008), els quocients K⁺/Na⁺ i Ca²⁺/Na⁺ de la part aèria de *C. dactylon* van ser de 2.4 en els controls. Aquests passaven de 0.8 a 4.5dS m⁻¹ de CE i el mínim era de 0.2 a 9 dS m⁻¹. Condicions menys extremes que a l'assaig.

Les varietats tolerants al B es caracteritzen per tenir-ne una concentració més baixa als teixits (Nable 1990), probablement perquè n'absorbeixen menys. *C. dactylon* i *Z. japonica* n'han presentat les concentracions més baixes. Els valors pertanyen a l'ordre de magnitud de Salisbui i Ross (1969), que parlen de concentracions òptimes de 0.002% en matèria seca als teixits.

4.5.4 Coberta de gespa

A diferència de *C. dactylon* i la mescla de les espècies C₃, destaquem el baix establiment de *Z. japonica* i *P. notatum*, de la mateixa manera que en el capítol 3 (Patton *et al.* 2004; Portz *et al.* 1981). Juntament amb el sistema d'injecció de sals, van endarrerir un any l'inici de l'assaig.

El ferro i altres nutrients es troben poc disponibles per les plantes en sòls calcaris com el de l'assaig. *P. notatum* té requeriments més elevats d'aquest nutrient i va fer necessari una aportació específica. Tot i així aquesta espècie va tenir un pobre establiment i va acabar colonitzada per *C. dactylon* de les parcel·les adjacents en totes les repeticions.

Lockett *et al.* (2008) van avaluar *C. dactylon*, *Agrostis palustris* i *L. perenne* en camps de golf regats amb aigua regenerada arribant a 40 dS m⁻¹ de CE al sòl. La salinitat no disminuïa sistemàticament el potencial hídric foliar ni del color de la gespa si el reg satisfia les necessitats de la gespa, registrant i supervisant el continu hídric "sòl – planta – atmosfera". Tot i regar suficientment i sense aconseguir les CE d'aquests autors, al final de l'assaig hi havia necrosi a la línia de sals en la mescla de *F. arundinacea*, *P. pratensis* i *L. perenne* en el sòl agrícola.

La relació de la concentració foliar d'ions amb la senescència foliar, expressada com a àrea verda, indica tolerància de les plantes als ions. La mescla de C₃ s'hi ha mostrat sensible, a diferència de les C₄. La disminució de l'índex a l'agost es correspon amb la diferència de la salinitat al sòl i el període sense precipitacions. La salinitat disminueix la producció de fulles noves i que els borrons de creixement lateral es mantinguin quiescents. Per tant, la capacitat de fillolar en les espècies C₃ i el creixement estolonífer o rizomatós de les C₄ de l'assaig (Munns i Tester 2008).

Un any després de la sembra, els valors baixos en els índexs derivats de les fotografies en *C. dactylon* i *P. notatum* a l'abril indiquen dormició. Aquests índexs manifesten la bona qualitat de *Z. japonica* durant tota la temporada, a diferència de les altres espècies. Una H al voltant de 80° és òptima per a *L. perenne*, *F. arundinacea*, *Poa pratensis*, *C. dactylon* i *Paspalum notatum* (Richardson *et al.* 2007; Mangiafico i Guillard 2007; Berndt 2007). *Z. japonica* té una H més alta que *C. dactylon* pel 'color genètic', però no ho hem detectat amb la metodologia (Richardson *et al.* 2007). S'ha utilitzat una càmera digital comercial en la posició automàtica, és a dir, regula el grau d'obertura de l'objectiu i el temps d'exposició del sensor en funció de la llum i la reflectància del camp visual. Col·locar un patró de gris sobre la gespa al fotografiar podria haver ajudat a precisar les mesures (Casadesús *et al.* 2007 i capítol 5).

El sistema de reg "triple line source" va garantir el gradient salí tot i el vent, a dreta i esquerra de la línia de sals els resultats del sòl i la vegetació no s'han diferenciat.

4.6 CONCLUSIONS

- La qualitat físico-química de l'aigua regenerada ha variat estacional i anualment.
 - o L'aigua salina ha augmentat la CE del sòl, però no s'ha detectat acumulació de sals, excepte en el sòl de textura argilosa provat, degut a les propietats físico-químiques.
 - o L'aigua salina ha disminuït el pH del sòl, especialment en l'agrícola, tot i que no ha canviat de categoria, sòl calcari. En aquest, el ferro i altres nutrients es troben en forma poc disponible per les plantes de manera que pot haver incrementat els efectes de la salinitat.

- o El sistema de reg "*triple line source*" ha donat bons resultats tot i el vent de la zona.
- La concentració de Na^+ foliar s'ha correlacionat amb el potencial osmòtic foliar i la CE del sòl, sobretot en la mescla d'espècies C_3 . En aquestes espècies sensibles, pot indicar toxicitat. Els valors de potencial osmòtic no han limitat el creixement de la gespa, ja que no s'ha afectat el SLW. L'acumulació de Na^+ a les fulles pot haver contribuït a l'ajust osmòtic, evitant l'estrès salí. Però a finals d'estiu, a la línia de sals en la mescla d'espècies C_3 en el sòl argilós no permetia el mostreig foliar per l'estat de degradació de la gespa.
- Els paràmetres òptics s'han relacionat negativament amb la salinitat i s'han evidenciat com a indicadors de la qualitat de la gespa i en conseqüència com una bona eina objectiva en la gestió.
- Les espècies han mantingut una qualitat acceptable fins a 3.5 dS m^{-1} de CE i per tant seria viable regar el camp de golf amb aigua regenerada procedent de depuradora si se segueixen les pràctiques culturals adients i algunes consideracions:
 - o Desaconsellàriem sembrar la mescla d'espècies C_3 en sòl agrícola. Aquest no permet un correcte rentat de sals, de manera que s'acumulen als teixits afectant a la qualitat de la gespa.
 - o Les espècies C_4 s'han mostrat més tolerants a la salinitat en els paràmetres avaluats, sobretot *C. dactylon*. *Z. japonica* ha presentat un establiment lent però després ha respost bé a l'estrès salí mostrant una bona qualitat durant la temporada. *P. notatum*, tot i tenir una germinació i establiment més ràpid s'ha anat perdent a les parcel·les, bona part per la competència de *C. dactylon*. A més, la textura de fulla i el diàmetre dels estolons, al voltant de 4 mm, es influiria en el golf.

Efectes de l'aigua regenerada i reg per degoteig subterrani en gespes

RESUM

Es van estudiar els efectes de l'aigua regenerada procedent d'una depuradora urbana en gespes en un sòl franc-arenós en una zona costanera de clima mediterrani. Les espècies van ser: *Agrostis stolonifera* L., *Festuca arundinacea* Schreb., *Cynodon dactylon* [L.] Pers. i *Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov. La qualitat físico-química de l'aigua variava a l'estiu i també entre els 2.5 anys de l'assaig. L'aigua es trobava en la categoria de salina al segon i tercer estiu, i es regava a la dosi de 60% de la ETo (Evapotranspiració de referència) mitjançant degoters enterrats. Es va analitzar periòdicament l'aigua i el sòl, el contingut relatiu d'aigua i el potencial osmòtic foliar, el percentatge de cobertura de les gespes i els índexs derivats de lectures espectroradiomètriques i de fotografia digital. La germinació va ser més ràpida en aigua de xarxa que en regenerada. La distància entre degoters es reconeixia per la vegetació. Les pluges van aconseguir la lixiviació de sals en els primers 40 cm de profunditat i evitaven l'acumulació de sals al sòl d'un estiu al següent. Les mesures de coberta van proporcionar informació representativa de l'estat de les gespes. Les espècies no van mostrar diferències remarcables en la qualitat ornamental funció de l'aigua de reg.

5.1 INTRODUCCIÓ

5.1.1 Reg per degoteig subterrani amb aigua regenerada

Pel reg agronòmic o d'espais verds, l'aigua regenerada se sotmet a un tractament terciari per minimitzar els riscos ambientals i a la salut (Carr *et al.* 2004; Devit *et al.* 2004; Pereira *et al.* 2002; WHO 1989). Ja que, a part dels problemes de salinitat al sòl i a la vegetació que comentem a l'assaig anterior, pot portar riscos sanitaris. Risc d'infecció per microorganismes als cultius, als encarregats del manteniment o als usuaris. El nivell de qualitat exigida depèn de l'ús de l'aigua, els cultius, les condicions del sòl i el sistema de reg (Pereira *et al.* 2002). Pot ser inferior en reg per degoteig i sobretot si és subterrani, ja que el sòl actua com a biofiltre complementari i no hi ha contacte entre l'aigua i les persones o les parts aèries de les plantes (Oron *et al.* 1991 i 1995).

El reg enterrat permet usar la superfície cespitosa mentre s'està regant i segar sense preocupar-se de malmetre els aspersors per exemple. Però els inconvenients limiten la implantació generalitzada, ja que no garanteix la humitat a la superfície del sòl per la germinació; impedeix determinades pràctiques culturals com els punxats i airejats en profunditat; o que per reparar qualsevol obstrucció o fuga del circuit de reg cal aixecar la gespa (Thomas i Guerin 2006)

El reg per degoteig enterrat té més de 30 anys però amb d'aigua regenerada és més recent (Heidarpour *et al.* 2007). Per garantir l'eficiència i la rendibilitat és bàsica la no obstrucció dels degoters: per precipitació de sals, presència de restes orgàniques o formació de colònies de microorganismes (Duran-Ros *et al.* 2009). Per aquest motiu, en cas que s'hagi d'emmagatzemar aquesta aigua es recomana airejar-la i afegir d'hipoclorit sòdic (lleixiu) a 1L per cada 10.000L. Finalment situar un filtre de sorra abans dels tubs amb degoters (Duran-Ros *et al.* 2009).

L'aigua regenerada no exclou de ser curós en la dosi de reg. Aquesta no està sotmesa a restriccions, ja que no afecta l'aigua de boca però en determinades situacions també pot ser escassa. Comparat amb l'aspersió, el degoteig subterrani proporciona una millor eficiència en l'ús de l'aigua, atès que es pot instal·lar a la profunditat de les arrels del cultiu, no hi ha pèrdua per evaporació del sòl, escolament superficial o generació d'aerosols entre altres (Howell *et al.* 1998; Jnad *et al.* 2001; Taylor *et al.* 2006).

Com en l'assaig anterior, un excés de reg pot causar anòxia radicular, i amb les sals que porta associada, afectar a l'estructura del sòl i a la qualitat de la gespa. Aquest sistema permet l'ús d'aigua de menor qualitat i freqüències de reg altes poden mantenir les sals a l'extrem dels bulbs d'humitat,

estalviant la dosi de rentat (Oron *et al.* 1999; Suarez-Rey *et al.* 2000). Fins i tot, un reg inferior a l'Evapotranspiració (ET_o) es considera quan la producció no és important i estalvia podes o segues. A més, és una de les estratègies per minimitzar el drenatge per sota les arrels. Sovint es practica en zones urbanes, encara que impliqui acumulació de sals al sòl (Gerhart *et al.* 2006; Glenn *et al.* 2009).

Agrostis stolonifera, *Cynodon dactylon* i *Pennisetum clandestinum* van respondre bé a la dosi de 60% de l'ET_o (capítol 3). La mescla d'espècies C₃ entre les quals hi havia *Festuca arundinacea* va oferir una correcta qualitat amb aigua regenerada a 100% de la ET_o (capítol 4).

5.1.2 Efectes de l'aigua en la gespa i la seva gestió

Com hem comentat en el capítol 4 i per exemple a Lubello *et al.* (2004), l'aigua regenerada pot ser molt variable depenent de la zona, època de l'any o els dies de la setmana. Encara que les EDAR (Estació Depuradora d'Aigües Residuals) compleixen una normativa de l'aigua que emeten, no sempre és de qualitat òptima per al reg de gespes per exemple (Directiva 91/271/CEE de 21 de maig). L'assaig se situa a la costa i l'aigua depurada prové d'una població sense fluctuacions apreciables d'habitants, ni s'esperen canvis remarcables en la composició de l'aigua.

El pH, CE de l'aigua i del sòl són relativament ràpids d'analitzar i la informació és útil per gestionar el reg amb aigua regenerada (MAPA 1986). El potencial de salinització del sòl també depèn de les característiques i el contingut hídric del sòl (Miyamoto i Chacon 2006). Per fer el seguiment de l'últim paràmetre utilitzem tensiòmetres de matriu granulosa (veure capítol 2). Interessa una l'aigua regenerada sense excés de nutrients i que s'adobi en funció de les necessitats de la gespa, en lloc de dependre de l'aigua (Creus 2004). Els gestors procurin emmagatzemar-la, perquè es pugui prescindir-ne o retenir-la uns dies en comptes d'aplicar-la directament, quan es consideri massa salina o amb excés nutrients (Creus 2004; Mancino i Pepper 1992).

Respecte a altres tipus de vegetació, la gespa té una capacitat elevada d'absorbir els nutrients de l'aigua, evitant la lixiviació i contaminació del sòl (Beard i Green 1994). Però cal tenir en compte per exemple les pluges torrencials, com més sorrenc sigui el sòl i els períodes en què la gespa es troba en dormició o és immadura. I que alguns elements de l'aigua són més fàcilment absorbits per les plantes que altres.

Els nitrats són menys problemàtics que el fòsfor, els primers a part de ser absorbits per les plantes, es poden reduir a nitrogen gas (Gerritse 2002). Tot i que la lixiviació domina a la denitrificació en sòls sorrencs i ben airejats (Smith i Bond 1999). L'absorció de nitrats per la gespa s'ha estudiat àmpliament als anys 90 i depèn de les espècies (Bowman *et al.* 1989 i 2002; Jiang i Hull 1998a, b).

En canvi, el P tendeix més a acumular-se al sòl i a lixiviar-se al freàtic. Les propietats del sòl influeixen més en la lixiviació que les plantes (Soldat i Petrovic 2008). El sòl té més capacitat de retenir-lo com més àcid i argilós és (Gerritse 2002). En gespes, s'acostuma a aportar de 2 a 10 kg ha⁻¹ excedint les pèrdues estimades en les segues, de 0.4 a 7.5 kg ha⁻¹ (King *et al.* 2007; Soldat i Petrovic 2008).

Els nivells de K⁺ en l'aigua regenerada solen ser alts perquè l'hidròxid potàssic s'utilitza per a la neteja i desinfecció, en lloc d'hidròxid sòdic que encara és més perjudicial per la vegetació (Arienzo *et al.* 2009). A més, els seus nivells es controlen menys en la regeneració de l'aigua que els de N, P i la matèria orgànica. De fet, la concentració sovint incrementa a causa de l'evaporació en els tractaments que se sotmet l'aigua i durant l'emmagatzematge (Arienzo *et al.* 2009). L'acumulació de K⁺ al sòl pot disminuir-ne l'estructura. El K⁺ intervé en diverses funcions bioquímiques de les plantes, els afavoreix la tolerància a la sequera, a les baixes temperatures o a la salinitat (Whitehead 2000).

La matèria orgànica, aportada amb l'aigua regenerada, millora l'estructura del sòl, i per tant incrementa l'airejació, la taxa d'infiltració i la capacitat de retenció d'aigua, disminueix el potencial d'erosió,

incrementa la capacitat d'intercanvi catiònic, tampona del pH i potencia el creixement de microorganismes del sòl (Bot i Benites 2005).

A part de les mesures de coberta per avaluar la qualitat dels capítols 3 i 4, s'ha utilitzat el contingut relatiu d'aigua (RWC) i el potencial osmòtic foliar, per ser indicadors de l'estat hídric de la vegetació i analitzar l'adaptació de la gespa a les condicions ambientals.

5.2 OBJECTIUS

Els objectius se centren en determinar els efectes de les característiques químiques de l'aigua regenerada, procedent d'una depuradora urbana, en gespes en sòl franc - arenós d'una zona costanera mediterrània durant 2.5 anys. Provar el reg mitjançant degoters enterrats amb aquesta aigua i desenvolupar criteris d'ús d'aigües regenerades. Caracteritzar ecofisiològicament les respostes de les espècies i comparar mètodes de base ecofisiològica per avaluar la qualitat de les gespes en aquestes condicions ambientals.

5.3 MATERIAL I MÈTODES

L'assaig es trobava a les instal·lacions de l'IRTA a Cabrils, (Barcelona, Espanya; 41° 25' N, 2° 23' E) a 82 m d'altitud. La textura del sòl en els 40 cm primers del sòl era franc - arenosa: 80 - 10 - 10 % de sorres, llims i argiles respectivament i un 24.13 % d'elements grollers (> 2 mm) (USDA; Mérida *et al.* 2006).

5.3.1 Disseny experimental

El disseny experimental consistia en un *split - plot* on el factor principal és l'aigua de reg i el secundari les espècies. Hi ha 4 repeticions separades en blocs (Figura 5.1). En el tractament d'aigua es distingeix la regenerada i de xarxa. Les espècies són dues C₃ i dues C₄: *Agrostis stolonifera*, *Festuca arundinacea*, *Cynodon dactylon* i *Pennisetum clandestinum* (descrites al capítol 2). Les dues parcel·les de tipus d'aigua mesuraven 16 x 5 m separades 0.5 m, però sense separació entre les espècies regades amb el mateix tractament d'aigua (Figura 5.1).

L'estudi va ser d'abril de 2004 a novembre de 2006. En els diferents paràmetres es mostren els resultats agrupats per mesos o estacions. En els mostrejors de sòl, a més, es va considerar la profunditat, cada 10 o 20 cm fins als 40 cm.

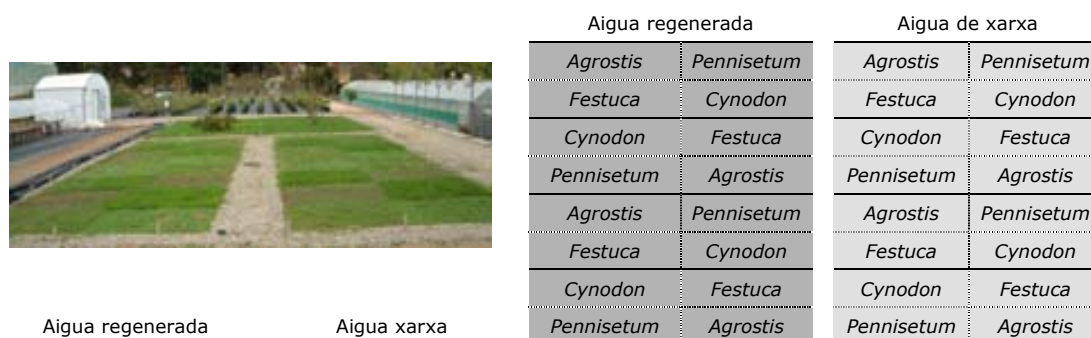


Figura 5.1 Parcel·la experimental un mes després de la sembra (esquerra). Esquema de la distribució de les parcel·les (dreta). Les línies contínues indiquen els blocs.

5.3.2 Aigua regenerada, sistema de reg, dosi i variables meteorològiques

L'EDAR de Mataró subministrava aigua de la planta de tractament terciari amb un camió cisterna. L'aigua s'emmagatzemava en un dipòsit metàl·lic de 13.000 L, tapat amb una malla negra permeable i cada dues hores una bomba la removia i airejava (Figura 5.2). El contingut de coliforms fecals i *Escherichia coli* era variable (Figura 5.3). Per evitar-ne la proliferació al dipòsit, cada setmana s'hi

abocava 1 L d'hipoclorit sòdic (lleixiu). El nivell de nitrogen amoniacal de l'aigua era al voltant de 40 mg L^{-1} (Figura 5.3). Per evitar el bloqueig dels degoters, l'aigua regenerada passava per un filtre de sorra que es netejava circulant aigua de xarxa en sentit contrari cada tres dies (Figura 5.2).



Figura 5.2 Fotografia del dipòsit de 13.000 litres, tapat amb una tela permeable negra on s'emmagatzema l'aigua regenerada (esquerra). **Fotografia del programador de reg, el filtre de sorra i les electrovàlvules** (centre). **Figura del circuit tancat de tubs porta degoters amb emissors cada 30cm** (dreta, adaptat de Biel *et al.* 2006).

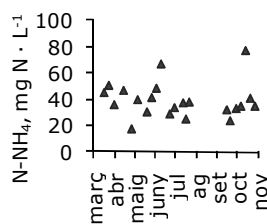
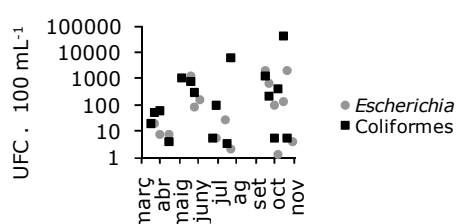


Figura 5.3 Unitats Formadores de Colònies (UFC) de coliformes totals i *E. coli* a l'aigua regenerada i Nitrogen amoniacal al sortir de la EDAR al 2004 (esquerra i dreta respectivament). Font: EDAR Mataró.

El sistema de reg consistia en un circuit tancat de tubs amb degoters incorporats i enterrat a 15 cm de profunditat (Figura 5.2). A l'inici del circuit hi havia una vàlvula de sífó i al final una de descàrrega. La distància entre línies de degoters i els degoters dins d'una línia era de 30 cm. El cabdal dels degoters era de 2 L hora^{-1} , aportaven $32 \text{ L m}^{-2} \text{ hora}^{-1}$ i el coeficient de Christiansen era del 80 % (Burt *et al.* 1997).

L'1 d'abril de 2004 es va sembrar i per garantir la germinació, es regava amb aigua de xarxa per aspersió (Hunter PGM *Rotatory Sprinklers* amb cabdal de 230 L hora^{-1}). El 30 d'abril de 2004 s'iniciava el tractament salí amb reg subterrani al 60% de l' ET_0 (Doorenbos i Pruitt 1977). Calculat a partir de la d' ET_0 diària de l'estació agrometeorològica a 100 m de la parcel·la. Quan plovia s'anul·lava el reg (Taula 5.1a). L' ET_0 va ser més elevada al juliol del 2006 i, la primavera i estiu del 2006 van ser molt secs (Figura 5.4a) Els episodis de precipitació són importants en la dissolució de l'adob d'alliberament lent i la possible lixiviació de sals de l'aigua regenerada (Figura 5.4b). El dèficit de pressió de vapor (VPD) va ser elevat al juliol del 2006, l'òptim per la majoria de plantes és entre 0.80 i 0.95 KPa (Taula 5.1b).

La mitjana de temperatures era semblant entre els anys (Figura 5.4c). Però l'hivern del 2005 va presentar més hores de temperatures baixes i va glaçar, fenomen ocasional en aquesta zona. A l'hivern següent, a partir de febrer els valors tendeixen a augmentar.

Taula 5.1a Suma del 60% de la ET_0 diària, el reg aplicat i la precipitació durant l'assaig.

Període	60 % ET_0 (mm)	Reg aplicat (mm)	pluviometria (mm)
Maig – Desembre 2004	472	462	397
Gener – Desembre 2005	548	583	549
Gener – Novembre 2006	543	523	394

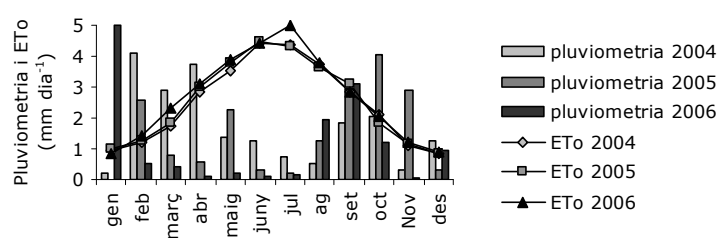


Figura 5.4a Mitjana mensual de la pluviometria i la ETo. El període d'assaig és de març del 2004 a Novembre 2006. Font: Estació meteorològica de Cabriels

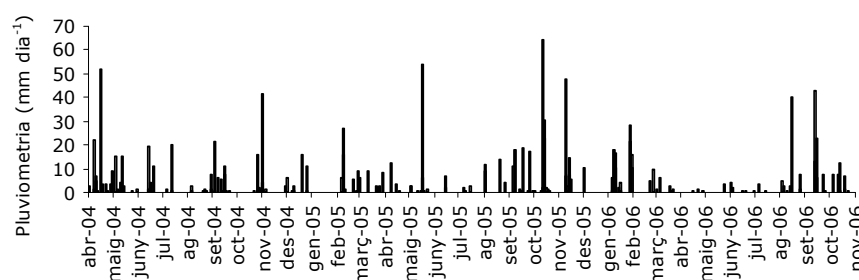


Figura 5.4b Evolució de la pluviometria durant l'assaig. Font: Estació meteorològica de Cabriels

Taula 5.1b Evolució del dèficit de pressió de vapor (KPa) en l'època de més ETo. Font: Estació meteorològica de Cabriels.

any	maig	juny	juliol	agost	setembre	octubre	novembre
2004	0.50	0.69	0.78	0.71	0.62	0.64	0.43
2005	0.56	0.78	0.82	0.77	0.60	0.37	0.41
2006	0.61	0.74	1.04	0.81	0.51	0.47	0.45

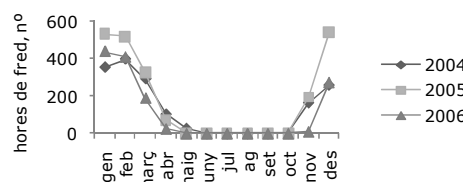
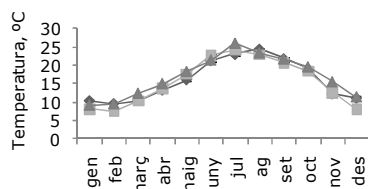


Figura 5.4c Mitjana mensual de la temperatura (esquerra) i suma mensual d'hores de fred, temperatura inferior a 10°C (dreta). La sembra es va realitzar a l'abril del 2004. Font: Estació meteorològica de Cabriels.

5.3.3 Pràctiques culturals

Es van realitzar unes mínimes pràctiques culturals, equiparant-ho a gespes d'un parc públic. La segadora era de tipus rotativa i tallava a 3 cm del sòl. Se segava quinzenalment a l'hivern i cada setmana la resta de l'any. No es van necessitar altres feines de manteniment, com punxats, escarificats, etc. (Thomas i Guerin 2006).

A barreig, s'aplicava adob d'alliberació lenta amb IBDU (Isobutidin diurea, en granulats). Fertilitzant "ric en nitrogen" (20 N - 5 P₂O₅ - 8 K₂O) a la primavera, a 400 kg ha⁻¹; i "ric en fòsfor i potassi" (15 N - 9 P₂O₅ - 15 K₂O) a la tardor, a 400 kg ha⁻¹. Els dies van ser: 04/10/04, 28/04/05, 30/09/05 i 21/04/06.

Al gener del 2006 es van extreure manualment les males herbes monocotiledònies. Les dicotiledònies es tractaren amb herbicida selectiu de contacte format per tres sals amines: 2,4 D-MCPA i Dicamba a 296, 265 i 100 g L⁻¹ respectivament. El 3 i el 19 d'abril de 2006 es va aplicar a la dosi de 0.8 L ha⁻¹.

5.3.4 Mesures

Es va fer un seguiment del pH, conductivitat elèctrica (CE), N, P i K de l'aigua i el sòl; tensió, taxa d'infiltració i matèria orgànica del sòl. De la gespa es va analitzar la germinació, el contingut relatiu d'aigua, el potencial osmòtic, la cobertura i es van obtenir els índexs espectralradiomètrics i els derivats de fotografies digitals.

Per la tensió del sòl, es va col·locar un tensiòmetre de matriu granulosa a una parcel·la de cada espècie i tractament d'aigua, a 15 cm de profunditat del sòl i entre les línies dels tubs portagoters (veure el capítol 2). En les parcel·les de *F. arundinacea* i aigua de xarxa a més es van instal·lar tensiòmetres a les profunditats de 7.5, 15 i 22.5 cm des de la superfície del sòl; entre línies de tubs o a la mateixa línia de tubs portagoters. En aquest últim cas quedaven a sobre i sota del tub.

L'aigua i el sòl es van analitzar als laboratoris de l'Escola Superior d'Agricultura de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya (MAPA 1986). Al 2005 i 2006, les mostres d'aigua regenerada s'extreien del dipòsit i es congelaven fins als anàlisis. Les de sòl es prenen amb una sonda de 2.5 cm de diàmetre. Aquesta es dividia en tres fraccions de 10 cm comptant a partir de la superfície. El **pH del sòl** es va analitzar pel mètode potenciomètric i la **CE**, pel conductimètric. Es va mostrejar mensualment a l'estiu a cada espècie, tractament d'aigua, profunditat i bloc. Al 2006 les mostres dels diferents blocs de cada espècie es van mesclar per obtenir una mostra composta més representativa. La **textura del sòl** es va obtenir pel mètode de Bouyoucos al 2005. La **taxa d'infiltració del sòl** es va mostrejar al final de l'assaig a tres punts per tractament de reg (Lowely *et al.* 1996). El **nitrogen orgànic del sòl** es va realitzar pel mètode de Kjendal al 2005 i 2006 al principi i finals d'estiu. El **carboni orgànic** oxidable, el **fòsfor** assimilable per fotometria de flama, mètode Olsen i el **potassi** extret amb acetat amònic es van analitzar a principis i finals d'estiu del 2005.

Es va fer un seguiment de la **germinació** amb estimacions visuals del percentatge de cobertura. Mensualment es mesurava el contingut relatiu d'aigua o *Relative Water Content* **RWC de fulles verdes**, durant el 2004 i 2005. A més, es va realitzar una mesura del **RWC de fulles seques** a l'hivern per obtenir el valor mínim per espècie (veure capítol 3).

El **potencial osmòtic foliar *in situ* i a saturació** de la part aèria de la gespa, es va analitzar al 2006. Per la mesura del potencial osmòtic *in situ* la mostra de les fulles a camp s'embolica amb paper d'alumini, es posa en una nevera portàtil i al laboratori es congela (Morgan 1984). Per la mesura a saturació, les mostres es posen en pots amb aigua, submergides per l'extrem de la fulla on s'ha realitzat el tall, al cap de 24h a 4 °C i fosc s'eixuguen i es congelen. Abans de la mesura amb l'osmòmetre es deixa descongelar a temperatura ambient (Vapor Pressure Osmometer Vapro Wescor 5520).

Es van realitzar una **fotografia** i tres mesures amb l'**espectralradiòmetre** per espècie, tractament i repetició amb periodicitat quinzenal o mensual i es van analitzar (veure capítol 2). A més, a la tardor del 2005 i al final de l'assaig es va avaluar la **cobertura de la gespa mitjançant transectes**. Es traçaven dos transectes a 0.5 m del marge de cada subparcel·la d'espècie, tractament i repetició. Cada 30 cm s'anotava la presència de l'espècie, males herbes o sòl nu.

5.3.5 Anàlisi estadística

Les característiques del sòl, el RWC, el potencial osmòtic, la cobertura, els índexs espectralradiomètrics i derivats de fotografies van estudiar mitjançant l'anàlisi de la variància (ANOVA), utilitzant el PROC GLM del programa estadístic *SAS System for Windows* (versió 9.0 SAS Institute Inc. Cary, USA). En la germinació i la cobertura, es va realitzar un anàlisi ANOVA per a mesures repetides en el temps (RANOVA). Quan hi havia diferències entre els factors, nivell de significació $\alpha = 0.05$, es va realitzar les

proves de comparació múltiple o proves *a posteriori*: el test de Duncan i per les interaccions, la separació de mitjanes *LS Means*.

La germinació, el RWC, la cobertura i l'àrea verda que s'expressa en tant per cent, els valors es van transformar abans de l'estadística (Arc Sinus de l'arrel dels valors en tant per u). Aquests es representen sense transformar per a una millor interpretació dels resultats (Steel *et al.* 1997). No s'ha fet estadística de les anàlisis químiques de l'aigua i el sòl, la textura del sòl, així com de la tensió del sòl.

5.4 RESULTATS

Després de 2.5 anys, el reg per degoter no va patir obstruccions en les dues qualitats d'aigua, tampoc les arrels bloquejaven la sortida d'aigua dels degoters. No vam detectar precipitació de sals, com el carbonat càlcic, tot i que el pH dels dos tipus d'aigua utilitzats és bàsic.

5.4.1 Característiques de l'aigua de reg

El pH de l'aigua regenerada era lleugerament més alt que l'aigua de xarxa i bastant variable (Taula 5.2). La CE de l'aigua regenerada va ser més baixa al 2004 i va arribar a 12 dS m⁻¹ al maig del 2006. A partir de la dosi de reg i la concentració de K⁺ de l'aigua podem dir que, de l'1 de juliol a l'1 de setembre vam aportar uns 44 i 72 kg ha⁻¹ de K⁺ amb el reg d'aigua regenerada al 2005 i 2006 respectivament. Mentre, les parcel·les amb reg d'aigua de xarxa van rebre uns 0.1 i 3.0 kg ha⁻¹ de K⁺.

Taula 5.2 Característiques de l'aigua de reg. (Font: dades del 2004 per l'aigua de xarxa del "Pla de seguiment de les Aigües de Reg del Centre de Cabrials" i la regenerada de l'EDAR de Mataró; dades 2005, de Mérida *et al.* 2006; i dades 2006, de Oddo *et al.* 2007).

		Data	pH	CE a 25°C (dS m ⁻¹)	P ^a (mg L ⁻¹)	K (mg L ⁻¹)
xarxa	2003	25- abril	7.07	1.12	0.04	0.07
	2005	30-maig	7.07	1.12	0.04	0.07
	2006	30-maig	7.16	1.25	IP*	2
aigua regenerada	2004	març	7.58	2.66	--	--
		abril	7.65	2.30	--	--
		Maig	7.57	2.53	--	--
		juny	7.65	2.80	--	--
		Juliol	7.33	3.02	--	--
		setembre	7.20	2.47	--	--
		octubre	7.48	2.68	--	--
	2005	01-juliol	7.93	4.10	<0.08	29
		22-juliol	8.14	3.21	<0.08	22
		05-agost	8.26	3.91	<0.08	29
		16-agost	8.36	6.46	<0.08	41
		22-agost	7.99	5.91	<0.08	39
		29-agost	7.83	5.60	<0.08	40
	2006	22-maig	8.1	12.20	<0.08	90
		14-juny	8.4	6.20	<0.08	50
		3-juliol	8.5	6.00	<0.08	50
		28-juliol	7.8	6.00	<0.08	50
		17-agost	7.3	2.50	<0.08	20

^a P pel mètode de Bray – Kurtz i K mitjançant fotòmetre de flama

*IP inapreciable

-- Dades no disponibles

5.4.2 Potencial matricial del sòl

Amb dosi de reg a 60% de la ETo, la tensió del sòl es va mantenir propera a la saturació, no es va diferenciar en funció de la qualitat de l'aigua ni de les gespes sembrades (Figura 5.5). Les lectures eren lleugerament superiors prop de la superfície del sòl i mostraven importants fluctuacions depenent dels regs sota els degoters (Figura 5.6).

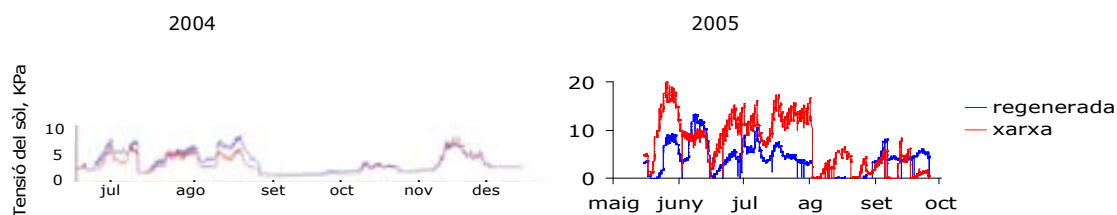


Figura 5.5 Tensió del sòl a 15 cm de profunditat al 2004 i 2005.

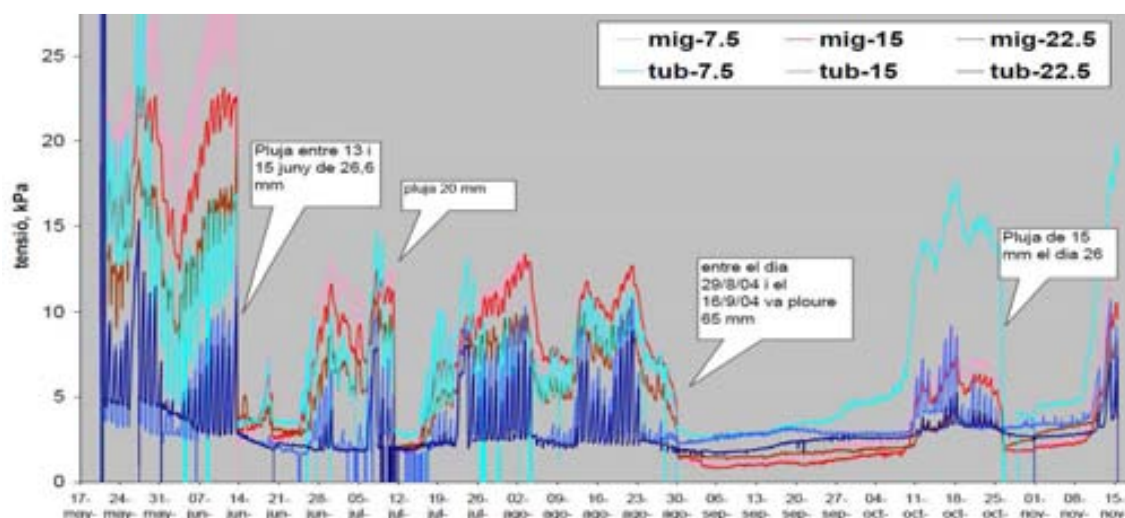


Figura 5.6 Tensió del sòl regat amb aigua de xarxa depenent de la posició del sensor al 2004. A 7.5, 15 o 22.5 cm respecte a la superfície del sòl; i a tocar el tub portagoters "tub" o entre dos tubs "mig". S'indiquen les precipitacions que han fet disminuir la tensió del sòl. Comparar amb figura 4b.

5.4.3 Taxa d'infiltració, pH i CE del sòl

Al final de l'assaig, la taxa d'infiltració acumulada del sòl va ser de 21 i 24 mm h⁻¹ pel regat amb aigua de xarxa i regenerada respectivament.

El pH del sòl era inferior al setembre del 2004 que a l'estiu, a diferència del 2005 i 2006 (Figura 5.7, fotografies 5.1 i 5.2). El regat amb aigua regenerada era lleugerament més àcid (Taula 5.4). El pH disminuïa amb la profunditat al 2004 i al 2005 però augmentava al 2006. Tot i que els degoters estaven a 15 cm de profunditat, les mostres de 10 a 20 cm tenien un pH i CE intermedis entre la superfície i de 20 a 40 cm.

La CE del sòl era inferior a 1 dS m⁻¹ al 2004 i significativament més elevada al 2006 (Taula 5.4). Però al juny del 2006 superava en escriure la CE del sòl de tot l'estiu del 2005 (Figures 5.4a i 5.4b). La CE on hi havia *A. stolonifera* era més alta al 2005 i en *P. clandestinum* arribava a 15 dS m⁻¹ al 2006 (Figura 5.11). No hi va haver acumulació de sals en la profunditat analitzada. A causa de les pluges, la CE disminuïa del sòl encara més a la tardor del 2004.



Fotografies 5.1 i 5.2 Mostres de sòl de *F. arundinacea*.

Taula 5.4 Anàlisi de variància del pH i la conductivitat elèctrica del sòl al 2005 i 2006 (Adaptat de Mérida *et al.* 2006 i Oddo *et al.* 2007).

Valors de p de l'anàlisi de variància, n=4 de cada combinació de tractaments: dia de mostreig en els dos anys; aigua (de xarxa o regenerada); profunditat (interval de 10 cm des de la superfície del sòl 0 cm); espècie (*Agrostis stolonifera*, *Festuca arundinacea*, *Cynodon dactylon* i *Pennisetum clandestinum*).

	pH		CE, dS · m ⁻¹	
	2005	2006	2005	2006
Model	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Dia	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Aigua	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Aigua * dia	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Profunditat	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Profunditat * dia	0.0003	ns	<0.0001	<0.0001
Profunditat * aigua	<0.0001	0.0414	0.0003	<0.0001
Profunditat * dia * aigua	0.0014	ns	<0.0001	0.0067
Espècie	ns	ns	<0.0001	ns
Espècie * dia	0.0203	--	<0.0001	--
Espècie * aigua	ns	--	0.0004	--
Espècie * dia * aigua	0.0009	--	0.0002	--
Espècie * profunditat	0.0303	--	ns	--
Espècie * dia * profunditat	ns	--	ns	--
Espècie * aigua * profunditat	ns	--	0.0394	--
Espècie * dia * aigua * profunditat	ns	--	ns	--
Bloc	ns	--	ns	--
Bloc * espècie	ns	--	<0.0001	--
Bloc * dia * espècie	0.0029	--	<0.0001	--
Bloc * aigua * espècie	ns	--	0.0003	--
Bloc * aigua * espècie * profunditat	ns	--	ns	--
Bloc * dia * aigua * espècie	<0.0001	--	<0.0001	--

^{ns} Diferències no significatives per p > 0.05.

-- No disponible.

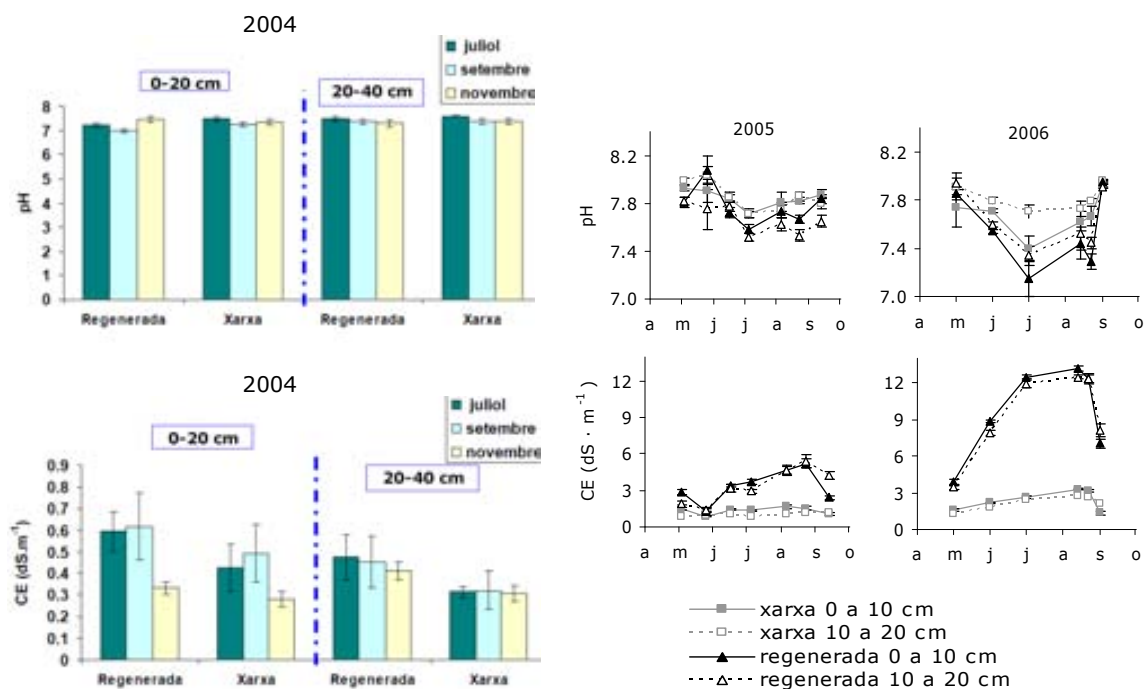


Figura 5.7 Evolució del pH i la conductivitat elèctrica del sòl, $p \leq 0.05$. Els degoters es trobaven a 15 cm de profunditat. Les línies verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor. n = 12 per cada combinació dels tractaments. La CE del 2004 és CE_{1:5} i la del 2005 i 2006 és CE_{se}. (Figures de 2004 i 2005 adaptades de Mérida *et al.* 2006 i Oddo *et al.* 2007)

5.4.4 N, P, K i matèria orgànica al sòl

El nivell de nitrogen al sòl a la primavera es va mesurar pocs dies després de la fertilització però a la tardor era abans. Al 2005, el nitrogen orgànic va ser unes quatre vegades superior als primers 20 cm de sòl (Figura 5.8). Al maig del 2006 es va produir lixiviació, la concentració era semblant fins a 30 cm de profunditat en aigua de xarxa i fins a 40 cm en regenerada. Però la concentració en profunditat disminuïa a finals d'estiu.

La quantitat de P del sòl era elevada i la de K, baixa (Taula 5.5). La mesura al maig del 2005 era després de la fertilització i al setembre, anterior. La matèria orgànica total es troba en el rang de valors alts a la superfície, per la presència d'arrels i fentre en les mostres.

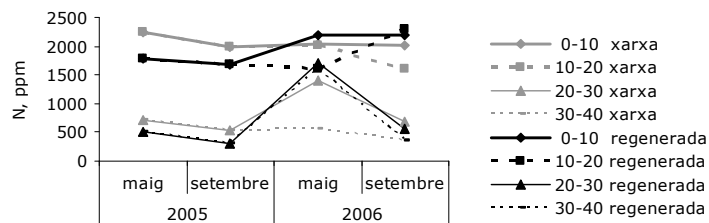


Figura 5.8 Concentració de N orgànic al sòl a principis i finals d'estiu segons la profunditat del sòl. Mètode Kjeldhal. Dies d'adobat 28/04/05, 30/09/05 i 21/04/06. Els degoters es trobaven a 15 cm de profunditat. n = 1 per cada combinació dels tractaments (Adaptat de Mérida et al. 2006 i Oddo et al. 2007).

Taula 5.5. P, K i matèria orgànica del sòl al 2005 segons la profunditat. Font: Mérida et al. 2006.

Data	Aigua	Profunditat (cm)	P* (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	COO ^a (%)	MOO (%)	MOT (%)
3 de maig de 2005	Xarxa	De 0 a 20	60	120	1.7	2.9	3.8
		De 20 a 40 ^b	30	70	0.4	0.6	0.8
	Regenerada	De 0 a 20	40	140	1.5	2.6	3.4
		De 20 a 40	20	60	0.4	0.6	0.8
13 de setembre de 2005	Xarxa	De 0 a 20	20	90	1.6	2.7	3.6
		De 20 a 40	20	50	0.2	0.4	0.5
	Regenerada	De 0 a 20	40	90	1.5	2.6	3.3
		De 20 a 40	30	50	0.3	0.5	0.6

Dies d'adobat 28/04/05, 30/09/05 i 21/04/06

* **P** pel mètode Olsen i **K** mitjançant extracció d'acetat amònic

^a COO = Carboni Orgànic Oxidable; MOO = Matèria Orgànica Oxidable. A partir de COO multiplicat pel coeficient de Waksman (1.72); MOT = matèria Orgànica Total

^b Els degoters es trobaven a 15 cm de profunditat.

5.4.5 Evolució de la germinació

Les espècies C₃ van germinar primer. Als quinze dies de la sembra, *F. arundinacea* ja cobria el 50% de les parcel·les (Taula 5.6 i Figura 5.9). La diferència detectada en *F. arundinacea* al 15 d'abril no depèn del tipus de l'aigua ja que el tractament comença al maig. A partir d'aquest moment germinen significativament més ràpid en aigua de xarxa. Després de cinc setmanes totes les espècies arriben al 100% de cobertura.

Taula 5.6 Anàlisi de variància de l'evolució de la germinació.

Valors de p de l'anàlisi de variància per determinar l'efecte dels tractaments de reg en la germinació. Dia de mesura ; espècie: *Agrostis stolonifera*, *Festuca arundinacea*, *Cynodon dactylon* i *Pennisetum clandestinum*; aigua: de xarxa o regenerada. n = 4 de cada combinació de tractaments.

Model	<0.0001	Dia	<0.0001
Aigua	0.0128	Dia * aigua	<0.0001
Bloc	ns	Dia * bloc	<0.0001
Espècie	<0.0001	Dia * espècie	<0.0001
Aigua * bloc	ns	Dia * aigua * bloc	ns
Aigua * espècie	ns	Dia * aigua * espècie	<0.0001

^{ns} Diferències no significatives per p > 0.05.

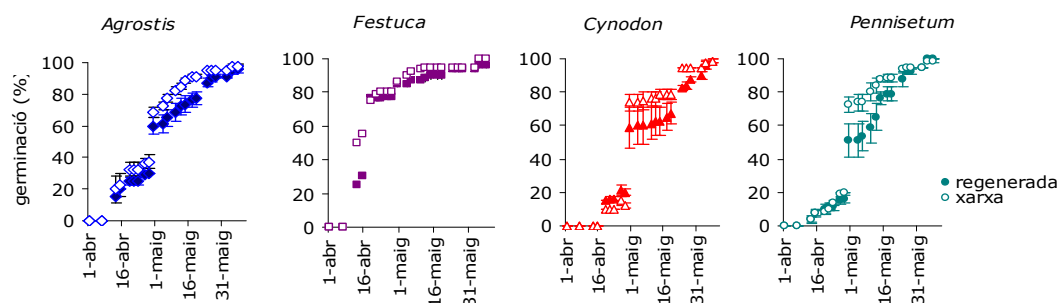


Figura 5.9 Evolució de la germinació avaluada a partir de la cobertura de les parcel·les de gespa, $p \leq 0.05$. Les línies verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor, $n=4$. A partir del 30 d'abril es comença a aplicar aigua regenerada.

5.4.6 Contingut relatiu d'aigua de fulles verdes

No hi ha efecte del reg en el contingut relatiu d'aigua de fulles verdes, RWC (Taula 5.7). El RWC de *F. arundinacea*, i en segon lloc *P. clandestinum*, és significativament més elevat. A la primavera i tardor els valors són significativament més alts i a l'hivern els més baixos. Els de l'hivern es deuen a les espècies C_4 i en concret *C. dactylon* no es va mostrejar en estat latent. Destaquem la recuperació d'*A. stolonifera* a la tardor (Figures 5.10a i 5.10b). El sòl d'*A. stolonifera* arriba a una CE més elevada, que en les altres espècies (Figura 5.11).

Taula 5.7 Anàlisi de la variància del contingut relatiu d'aigua de fulles verdes

A l'esquerra de la taula es mostren les mitjanes de cada element per les combinacions dels tractaments. Espècie: *Agrostis stolonifera*, *Festuca arundinacea*, *Cynodon dactylon* i *Pennisetum clandestinum*; aigua, de xarxa o regenerada; i Estació. A la dreta hi ha els valors de p de l'anàlisi de variància per determinar l'efecte del reg en la vegetació. $n=4$ per cada combinació dels tractaments.

Factor		Mitjana (%)	Model	
Espècie	<i>A. stolonifera</i>	83.1 c*		<0.0001
	<i>F. arundinacea</i>	90.1 a	Aigua	ns
	<i>C. dactylon</i>	82.6 c	Bloc	ns
	<i>P. clandestinum</i>	85.9 a	Aigua * bloc	ns
Aigua				
	xarxa	86.1		
	regenerada	85.0		
Estació				
	Hivern	81.7 d	Espècie	<0.0001
	Primavera	88.7 b	Espècie * Aigua	ns
	Estiu	84.5 c	Espècie * Aigua * Bloc	ns
	Tardor	89.9 a		
			Estació	<0.0001
			Estació * Aigua	ns
			Estació * Espècie	<0.0001
			Estació * Aigua * bloc	ns
			Estació * Aigua * Espècie * Bloc	ns

*Dins de cada factor, les mitjanes seguides de diferent lletra difereixen significativament $p \leq 0.05$ pel test de Duncan.

^{ns} Diferències no significatives per $p > 0.05$.

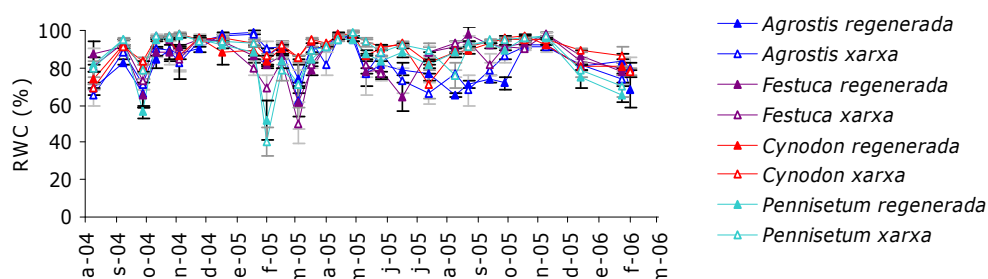
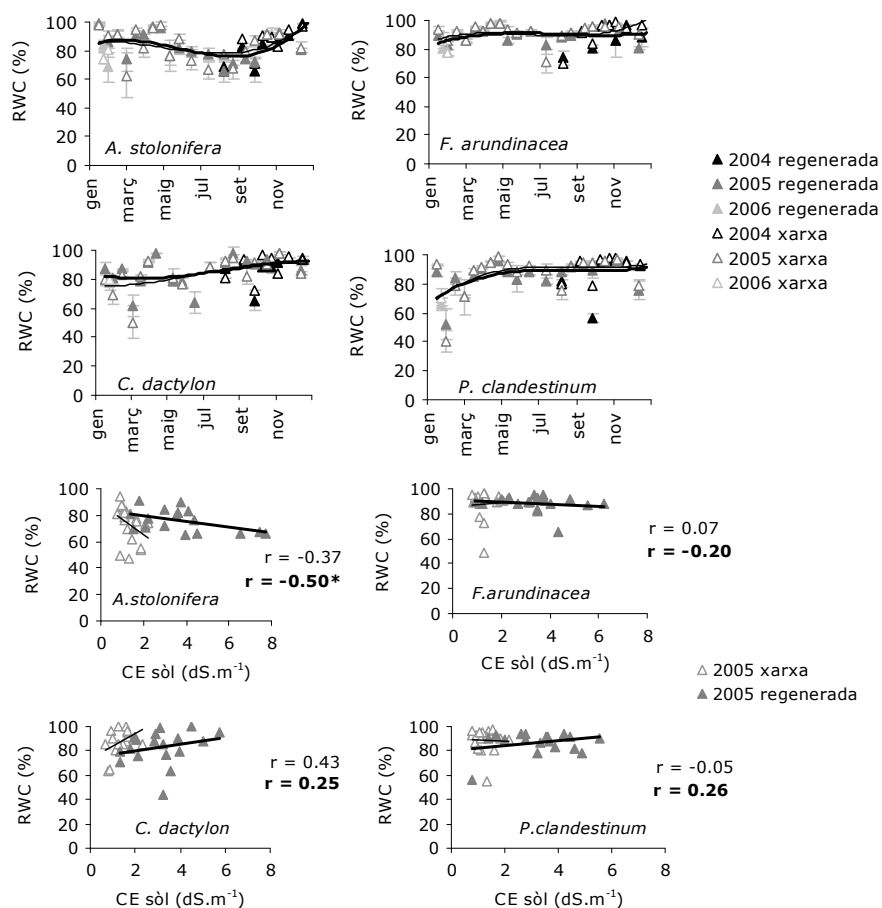


Figura 5.10a Evolució del contingut relatiu d'aigua de fulles verdes. Les línies verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor. $n=4$ per cada combinació dels tractaments.



5.4.7 Potencial osmòtic de la part aèria a saturació i *In situ*

En ple l'estiu, els valors de potencial osmòtic de la part aèria de la gespa són significativament més baixos (Taula 5.8 i Figura 5.12a). En saturació, el reg és significatiu però només al juny i l'agost. La tendència és la mateixa en un mostreig al maig del 2005.

In situ el reg es diferencia sempre i en les espècies C_3 és significativament més negatiu que les C_4 . Al 2006 disposem de dades de CE del sòl per espècie i tractament d'aigua. A més, en les mesures de la vegetació tenim en compte els blocs. A la figura 12b, mostrem la diferència entre repeticions davant una mateixa CE del sòl. La disminució del potencial osmòtic al mig de l'estiu es correspon amb l'augment de la CE del sòl. *P. clandestinum* obté valors més alts de potencial osmòtic *in situ*, tot i que en aquesta espècie, la CE del sòl arriba a uns 3 dS m^{-1} més que les altres.

Taula 5.8 Anàlisi de variància de l'evolució del potencial osmòtic a saturació i *in situ*.

A la part superior es mostren les mitjanes de cada element per les combinacions dels tractaments: hidratació "saturació" de les mostres abans de la mesura o a "hidratació *in situ*" en el moment de collir les mostres, espècie, aigua i dia de mostreig. A la segona part hi ha els valors de p de l'anàlisi de variància per determinar l'efecte del reg en la vegetació. $n = 4$ de cada combinació de tractaments. En gris la mitjana dels resultats al 2006 i a continuació les diferents mesures per veure l'efecte en el temps.

SATURACIÓ	2005		2006	2006						
	factor	maig	mitjana	maig	juny	juliol	agost	setembre	octubre	
	Espècie (E)									
	<i>A. stolonifera</i>	-0.46 a*	-0.39 c	-0.35 a	-0.64 a	-0.31 a	-0.45 a	-0.27 a	-0.28 a	
	<i>F. arundinacea</i>	-0.83 b	-0.65 a	-0.50 c	-0.88 c	-0.68 c	-0.69 b	-0.65 c	-0.52 b	
	<i>C. dactylon</i>	-0.52 a	-0.50 b	-0.37 ab	-0.77 b	-0.40 b	-0.75 b	-0.38 ab	-0.32 a	
	<i>P. clandestinum</i>	-0.53 a	-0.53 b	-0.47 bc	-0.76 b	-0.52 b	-0.60 b	-0.50 bc	-0.32 a	
	Aigua (A)									
	Xarxa	-0.54 a	-0.46 b	-0.39	-0.65 a	-0.45	-0.54 a	-0.40	-0.32	
	Regenerada	-0.60 b	-0.58 a	-0.46	-0.88 b	-0.51	-0.71 b	-0.51	-0.42	
Model	Model	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	
Dia	--	--	<0.0001	--	--	--	--	--	--	
Dia * E	E	<0.0001	0.0465	0.0258	0.0018	<0.0001	0.0032	0.0002	0.0017	
Dia * A	A	0.0126	0.0049	ns	<0.0001	ns	0.0043	ns	ns	
Dia * A * E	A * E	0.0106	Ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
IN SITU	Espècie (E)									
	<i>A. stolonifera</i>	--	-1.31 b	-0.78 a	-1.65 b	-1.74 b	-1.48 a	-1.08 b	-1.10 b	
	<i>F. arundinacea</i>	--	-1.60 a	-1.20 b	-1.86 b	-2.32 c	-1.87 b	-1.17 b	-1.15 b	
	<i>C. dactylon</i>	--	-1.19 c	-0.83 a	-1.37 a	-1.37 ab	-1.40 a	-1.05 b	-1.14 b	
	<i>P. clandestinum</i>	--	-1.03 d	-0.76 a	-1.18 a	-1.18 a	-1.29 a	-0.88 a	-0.86 a	
	Aigua (A)									
	Xarxa	--	-1.07 b	-0.72 a	-1.34 a	-1.28 a	-1.24 a	-0.86 a	-0.99 a	
	Regenerada	--	-1.49 a	-1.07 b	-1.67 b	-2.02 b	-1.78 b	-1.23 b	-1.14 b	
	Model	Model	--	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	Dia	--	--	<0.0001	--	--	--	--	--	--
	Dia * E	E	--	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0009	0.0005	<0.0001
	Dia * A	A	--	<0.0001	<0.0001	0.0005	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	Dia * A * E	A * E	--	ns	0.0226	ns	ns	ns	0.0002	ns

*Dins de cada factor i mes, les mitjanes seguides de diferent lletra difereixen significativament $p \leq 0.05$ pel test de Duncan.

^{ns} Diferències no significatives per $p > 0.05$.

-- No disponible

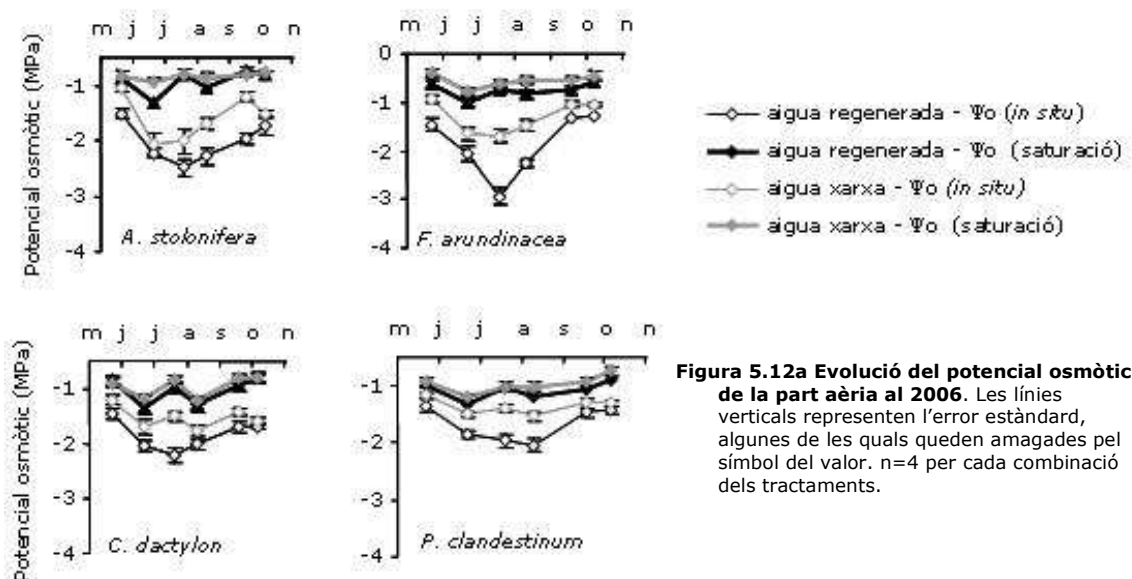


Figura 5.12a Evolució del potencial osmòtic de la part aèria al 2006. Les línies verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor. n=4 per cada combinació dels tractaments.

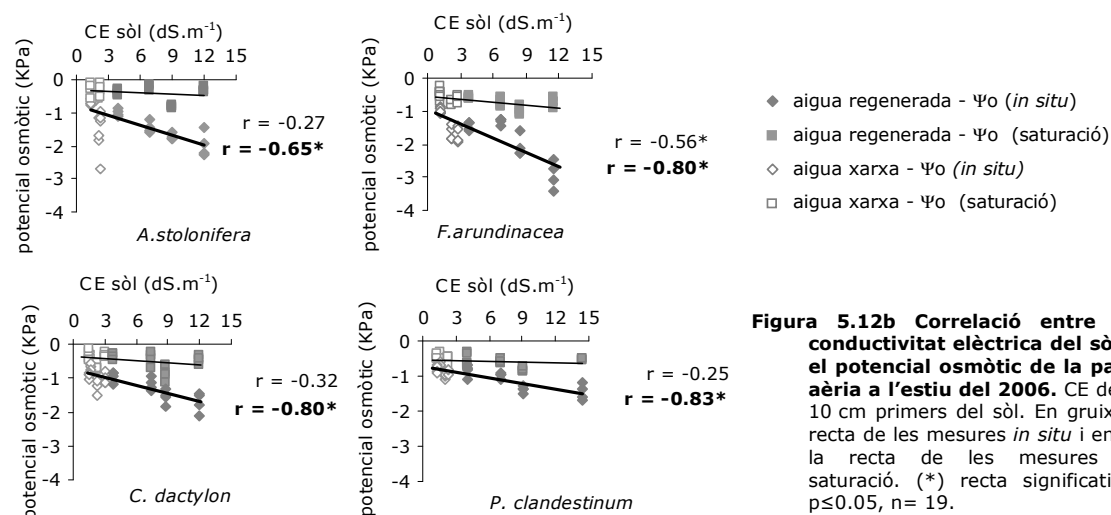


Figura 5.12b Correlació entre la conductivitat elèctrica del sòl i el potencial osmòtic de la part aèria a l'estiu del 2006. CE dels 10 cm primers del sòl. En gruixut recta de les mesures *in situ* i en fi la recta de les mesures a saturació. (*) recta significativa $p \leq 0.05$, $n = 19$.

5.4.8 Cobertura de gespa

A la tardor es recuperen les espècies C_3 , des de l'estiu, i entren en dormició les C_4 . La cobertura d'*A. stolonifera* és significativament menor a l'estiu (Taula 5.10 i Figura 5.13). A l'agost parteix del 50% en els dos tractaments de reg, la resta són males herbes. Després es va recuperant gràcies al creixement estolonífer, sobretot en les parcel·les d'aigua de xarxa. En canvi, *F. arundinacea* cobria el 80% o més.

La cobertura de *C. dactylon* és més alta en aigua regenerada i a partir de l'octubre comença la dormició. *P. clandestinum* és insensible a l'aigua de reg i es destaca la mínima presència de males herbes. Només en alguns períodes de la tardor disminueix la cobertura.

Al 2006 la cobertura és significativament més baixa en d'aigua regenerada, amb un 20% més de males herbes, sobretot en *A. stolonifera* i aigua regenerada.

Taula 5.9 Anàlisi de variància del percentatge de la cobertura de les espècies i males herbes

Valors de p de l'anàlisi de variància per determinar l'efecte dels tractaments. n=4 de cada combinació dels tractaments: Espècie (*Agrostis stolonifera*, *Festuca arundinacea*, *Cynodon dactylon*, *Pennisetum clandestinum*), aigua (de xarxa o regenerada) i dia de mesura.

Factor		2005							2006
Cobertura de les espècies		12-ag	22-ag	13-set	29-set	10-oct	29-nov	20-des	10-oct
Model	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Dia	<0.0001	--	--	--	--	--	--	--	--
Aigua	<0.0001	ns	ns	0.0167	ns	ns	ns	ns	0.0166
Espècie	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Bloc	ns	ns	ns	ns	ns	0.0376	ns	0.0492	ns
Aigua * bloc	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Espècie * aigua	ns	ns	ns	0.0452	ns	ns	ns	ns	0.0004
Cobertura de males herbes									
Model	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Dia	<0.0001	--	--	--	--	--	--	--	--
Aigua	0.0006	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Espècie	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Bloc	ns	ns	ns	ns	ns	0.0214	ns	0.0065	ns
Aigua * bloc	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.0185	0.045
Espècie * aigua	0.0158	ns	ns	0.0204	ns	0.0454	ns	0.0023	<0.0001

^{ns} Diferències no significatives per $p > 0.05$.

-- No disponible.

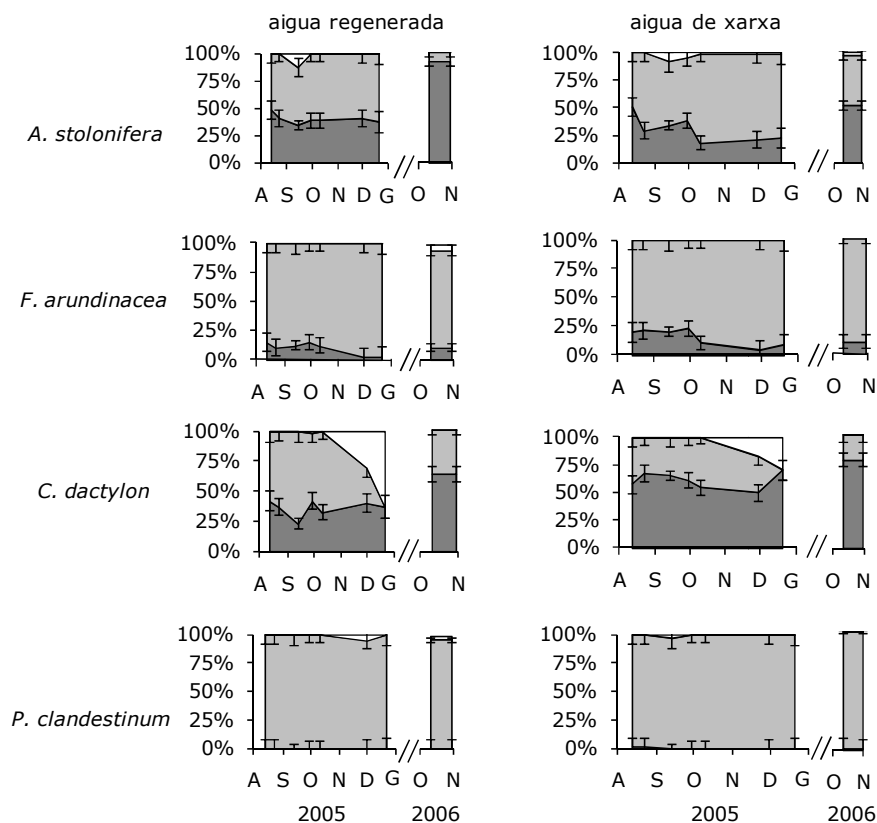


Figura 5.13. Evolució del percentatge de cobertura de les parcel·les a tardor del 2005 i al final de l'assaig.

$P \leq 0.05$. Les columnes indiquen l'estat de la cobertura al final de l'assaig a l'octubre del 2006. Els gràfics es desglossen en tres parts: la proporció ocupada de males herbes ■; El tant per cent ocupat per l'espècie de gespa ■; i a la part superior, la superfície sense cobrir de vegetació o vegetació seca □. Separades en dos blocs en funció de la qualitat de l'aigua de reg que ha rebut la parcel·la: l'esquerre i dreta, que corresponen l'aigua de xarxa i la regenerada respectivament. Les línies verticals representen l'error estàndard. $n = 4$ de cada combinació dels tractaments.

Les gespes regades amb aigua de xarxa tendien a presentar més quantitat de males herbes que amb regenerada (Fotografia 5.3). Per entendre el comportament de la cobertura mostrem la taula 5.10. En totes les imatges la superfície marronosa és *A. stolonifera* sec. Al juliol, *P. clandestinum* està envaint la parcel·la d'*A. stolonifera*. Les fulles de *P. clandestinum* tenen una textura més gruixuda i s'aprecien els estolons. A més, hi ha un forat del mostreig de sòl. A l'agost, tota la banda dreta és *P. clandestinum* i a l'esquerra es veuen clapes d'*A. stolonifera* verd.

Aigua regenerada Aigua de xarxa



Fotografia 5.3 Pràcticament no es distingeixen les espècies en la parcel·la d'aigua de xarxa al setembre de 2004. Veure esquema de la distribució de les parcel·les a la Figura 1.

Taula 5.10 *A. stolonifera* regada amb aigua regenerada a l'estiu del 2006. Les fotografies s'utilitzen per a l'anàlisi de les imatges i no inclouen el total de la parcel·la (veure el text).



11 d'abril de 2006



11 de maig de 2006



7 de juny de 2006



6 de juliol de 2006



22 d'agost de 2006

5.4.9 Índexs de reflectància de la coberta vegetal

F. arundinacea és l'espècie que s'ha mostrat més constant durant l'any en el NDVI (Taula 5.11 i Figura 5.14). Marca la fenologia de les C_4 sobretot en *C. dactylon*. A l'estiu, totes les espècies presenten valors al voltant de 0.6. La qualitat de l'aigua afecta negativament només a *A. stolonifera*. Destaquem la correlació positiva amb la salinitat en *C. dactylon* (Figura 5.15).

El PRI és mínim a finals d'estiu i es recupera més ràpid en aigua regenerada a la tardor en totes les espècies excepte *C. dactylon*, que s'hi suma l'aturada hivernal (Taula 5.11 i Figura 5.16). Aquest índex detecta estrès salí en *A. stolonifera* (Figures 5.17 i 5.18).

El rang de valors del WI és molt estret, els mínims són a l'hivern i els màxims a l'estiu (Taula 5.11 i Figura 5.18). És gràcies al comportament de les espècies en aigua de xarxa; en regenerada, l'índex s'ha mantingut més constant i inferior durant l'any. De manera que s'ha detectat efecte en el reg en totes les espècies, més persistent en *A. stolonifera*. Tot i així, les diferències en la CE del sòl no semblen tant importants com la presència continua de sals, ja que no hi ha un efecte remarcable amb el gradient salí (Figura 5.15).

Taula 5.11 Anàlisi de variància de l'evolució dels índexs espectralradiomètrics.

Valors de p de l'anàlisi de variància per determinar l'efecte dels tractaments en els tres índexs. Tractaments: estació de l'any; espècie (*Agrostis stolonifera*, *Festuca arundinacea*, *Cynodon dactylon* i *Pennisetum clandestinum*), aigua (de xarxa o regenerada). n=12 de cada combinació dels tractaments i dia de mesura.

	NDVI	PRI	WI
Model	<.0001	<.0001	<.0001
Aigua	<.0001	0.0003	<.0001
Bloc	ns	0.6302	0.0015
Aigua * bloc	ns	ns	ns
Espècie	<.0001	<.0001	<.0001
Espècie * aigua	0.0222	ns	ns
Espècie * aigua * bloc	0.0126	ns	<.0001
Estació	<.0001	<.0001	<.0001
Estació * aigua	0.0001	ns	0.0369
Estació * espècie	<.0001	<.0001	<.0001
Estació * espècie * aigua	ns	ns	ns
Estació * espècie * aigua * bloc	0.0193	ns	0.0007

^{ns} Diferències no significatives per $p > 0.05$.

-- No disponible.

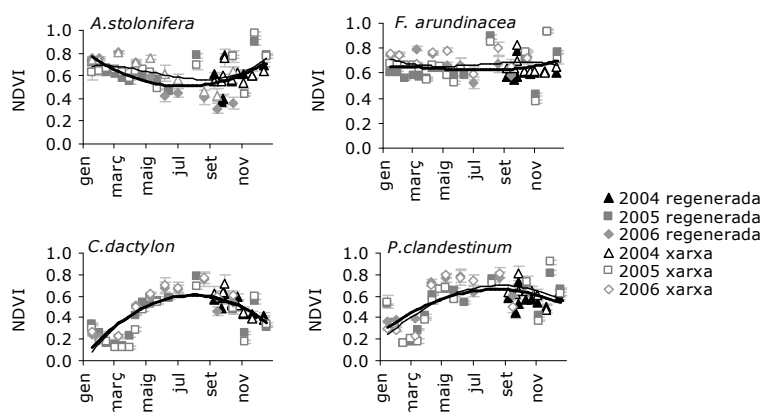


Figura 5.14 Evolució del NDVI segons la qualitat de l'aigua de reg per les espècies estudiades (Agost 2004 – Octubre 2006), $p \leq 0.05$. Les línies verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor. Es mostren les línies de tendència dels valors. Correlació polinòmica de tercer grau. En gruixut, aigua regenerada i en fi, aigua de xarxa. n=12 per cada combinació dels tractaments.

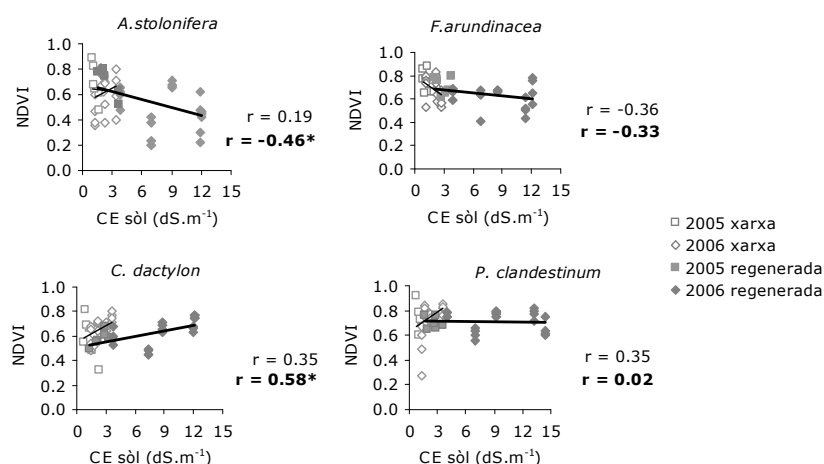


Figura 5.15 Correlació entre la conductivitat elèctrica del sòl i el NDVI a l'estiu. CE dels 10 cm primers del sòl. En gruixut recta de aigua regenerada i en fi la recta de l'aigua de xarxa. (*) recta significativa $p \leq 0.05$, $n = 20$.

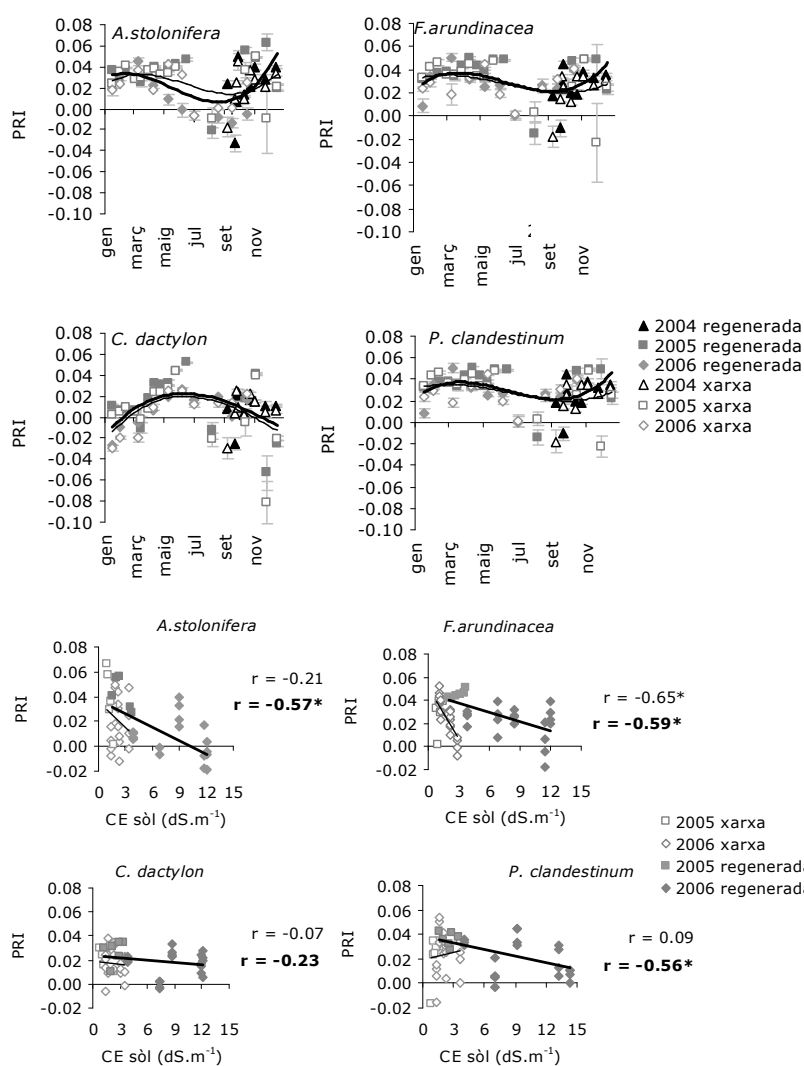


Figura 5.16 Evolució del PRI segons la qualitat de l'aigua de reg per les espècies estudiades. (Agost 2004 – Octubre 2006). Les línies verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor. Es mostren les línies de tendència dels valors. Correlació polinòmica de tercer grau. En gruixut aigua regenerada i en fi aigua de xarxa. $n=12$ per cada combinació dels tractaments.

Figura 5.17 Correlació entre la conductivitat elèctrica del sòl i el PRI a l'estiu. En gruixut recta de aigua regenerada i en fi la recta de l'aigua de xarxa. (*) recta significativa $p \leq 0.05$, $n = 20$.

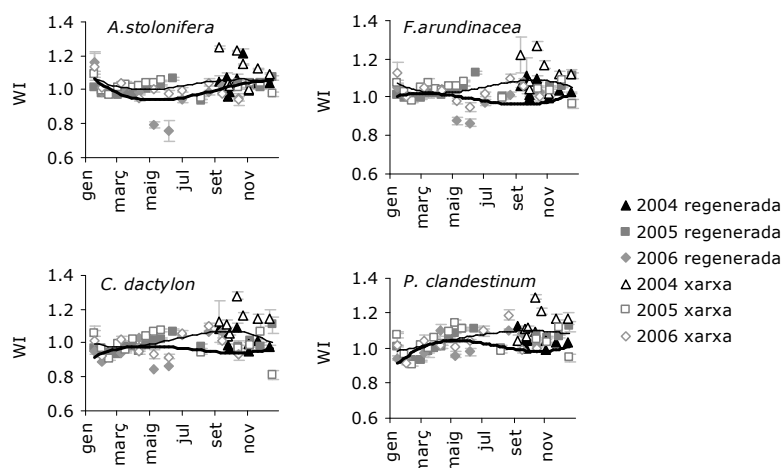


Figura 5.18 Evolució del WI segons la qualitat de l'aigua de reg per les espècies estudiades $p \leq 0.05$. (Agost 2004 – Octubre 2006). Les línies verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor. Es mostren les línies de tendència dels valors. Correlació polinòmica de tercer grau. En gruixut aigua regenerada i fi aigua de xarxa. $n=12$ per cada combinació dels tractaments.

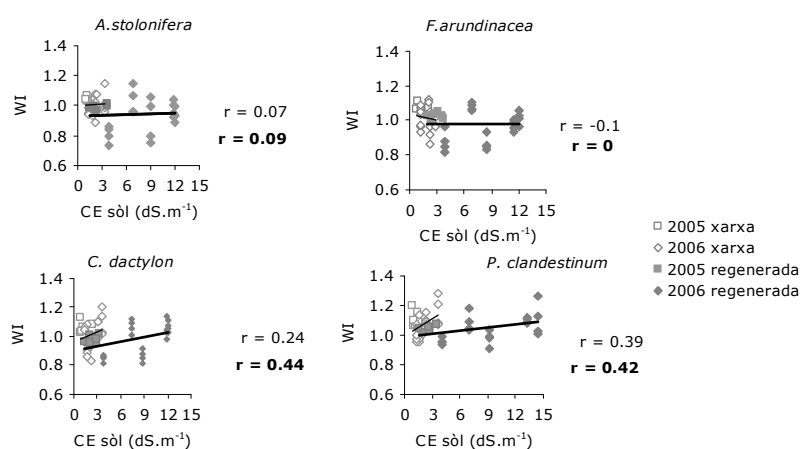


Figura 5.19 Correlació entre la conductivitat elèctrica del sòl i el WI a l'estiu. CE dels 10 cm primers del sòl. En gruixut recta de aigua regenerada i en fi la recta de l'aigua de xarxa. Rectes no significatives, $p \leq 0.05$, $n = 20$.

5.4.10 Fotografies digitals

En una visió general de la qualitat, *C. dactylon* és l'espècie més atraçada en l'establiment (Taula 5.12 i comparar amb l'esquema de la Figura 5.1). A l'agost del 2004, la cobertura és total en totes les espècies i que mostren diferent tonalitat de color. Al novembre del 2004 es distingeix *F. arundinacea* amb un color verd més fosc i que ha augmentat amb la maduresa de les fulles des de l'agost. *C. dactylon* està senescent per l'aturada hivernal, però en canvi *P. clandestinum* tot i ser C_4 es manté verda. Moltes parcel·les d'*A. stolonifera* i *F. arundinacea* han reduït la cobertura verda a causa de *Digitaria sanguinalis*, una mala herba C_4 que havia colonitzat a l'estiu i ara és latent. Al març del 2005 també *P. clandestinum* es troba en dormició, però dos mesos després totes les espècies s'han recuperat.

Al maig del 2006 i tres dies després d'una sega, les parcel·les de reg amb aigua regenerada mostren una acumulació més alta de feltre i es reconeix la ubicació dels degoters (En detall a les fotografies 5.4 i 5.5). Hi ha una diferència de qualitat considerable de la tardor del 2004 i les següents. Al 2006, les parcel·les estan desdibuixades sobretot per la invasió de *P. clandestinum* a les gespes adjacents.

Taula 5.12 Diferents èpoques de l'assaig. Veure esquema de la distribució de les parcel·les a la Figura 5.1.



Fotografies 5.4 i 5.5 *A. stolonifera* en aigua regenerada al març del 2005 i al maig del 2006. Per l'estat de la gespa es pot reconèixer la posició dels degoters de situats cada 30 cm. En la primera imatge per un creixement en longitud de les fulles més important o pel color en la segona per exemple a banda i banda del patró. **Fotografia 5.6 Detall del feltre en la gespa de *P. clandestinum* pocs dies després d'una sega baixa a l'estiu**

Els índexs analitzats a partir de les fotografies digitals s'han comportat semblant (Taula 5.13 i Figura 5.20). Sense diferenciar-se per la qualitat de l'aigua, però sí entre espècies, i estacions de l'any en les espècies C₄ (Figures 5.21, 5.23 i 5.25). En general, els valors màxims són a finals de primavera, i a l'estiu disminueixen, que es recuperen al setembre al 2004 i 2005. Al 2006 destaquem la variabilitat de resultats sobretot en l'àrea verda.

Els valors d'àrea verda de les C₃ són inferiors a la primavera però a la resta de l'any *A. stolonifera* ha presentat molts episodis de cobertura inferior que *F. arundinacea*. L'àrea verda de *C. dactylon* en aigua regenerada s'ha correlacionat gairebé amb pendent d' 1 amb els transectes de cobertura a la tardor del 2005, gràcies a l'entrada en dormició de l'espècie (Figura 5.22). La diferència entre les dues rectes mostra la cobertura més baixa de les parcel·les amb aigua regenerada, sumada a la més gran quantitat de males herbes respecte a les de xarxa. Les altres espècies no s'han diferenciat en aquest temps.

El punt màxim de tonalitat de color (H) és superior a 80° en les espècies C₃ però inferior en les C₄ (Figura 5.23). A l'inici de l'assaig, els valors són de la gespa no madura. L'H és la mitjana de la imatge, 1 m⁻² aproximadament, de manera que hi influeix la cobertura. L'índex de verdor té un comportament molt semblant. De la mateixa manera que amb els índexs espectroradiomètrics, no hi ha efectes remarcables en els derivats de fotografies amb la CE del sòl (Figura 5.24).

Taula 5.13 Anàlisi de variància de l'evolució dels índexs derivats de fotografies digitals.

Valors de p de l'anàlisi de variància per determinar l'efecte dels tractaments en els tres índexs. n=4 de cada combinació dels tractaments i dia de mesura. Tractaments: estació de l'any; espècie (*Agrostis stolonifera*, *Festuca arundinacea*, *Cynodon dactylon* i *Pennisetum clandestinum*), aigua (de xarxa o regenerada).

	àrea verda (%)	Tonalitat de color (°) ^a	Índex de verdor ^b (Tant per 1 de verd)
Model	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Aigua	ns	ns	ns
Bloc	ns	ns	ns
Aigua * bloc	ns	ns	ns
Espècie	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Espècie * aigua	ns	ns	ns
Espècie * aigua * bloc	0.0309	0.0016	0.0012
Estació	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Estació * aigua	ns	ns	0.0405
Estació * espècie	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Estació * espècie * aigua	ns	ns	ns
Estació * espècie * aigua * bloc	ns	ns	ns

^a La tonalitat de color és: vermell, 0°; groc, 60°; verd 120°; cian, 180°; blau, 240° i magenta, 300°.

^b Tant per 1 de verd respecte al vermell i el blau. Valors baixos de l'índex de verdor indiquen gespa cloròtica o necròtica. El llindar del color verd es troba entre 0.15 i 0.2.

^{ns} Diferències no significatives, p > 0.05.

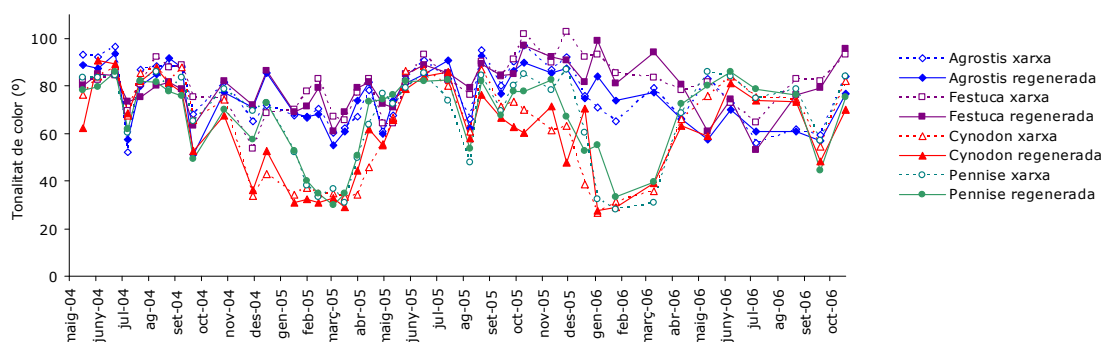


Figura 5.20 Evolució de la tonalitat de color a l'assaig en funció de la qualitat de l'aigua de reg per les espècies. Les línies verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor. n=4 per cada combinació dels tractaments. La tonalitat de color és: vermell, 0°; groc, 60°; verd 120°; cian, 180°; blau, 240° i magenta, 300°.

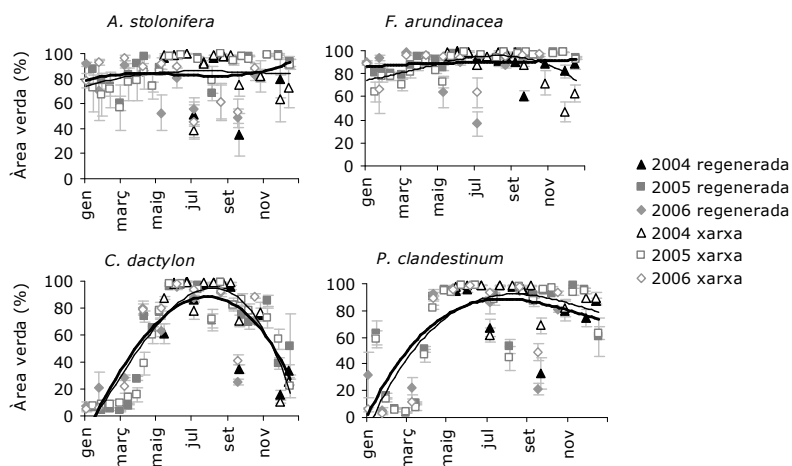


Figura 5.21 Evolució de àrea verda al llarg del temps segons la qualitat de l'aigua de reg per les diferents espècies. (maig 2004 – octubre 2006). Àrea verda és el percentatge de píxels de la imatge amb tonalitat de color entre 60° i 180°. Les línies verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor. Es mostren les línies de tendència dels valors. Correlació polinòmica de tercer grau. En gruiçut aigua regenerada i fi aigua de xarxa. $n = 4$ per cada combinació dels tractaments.

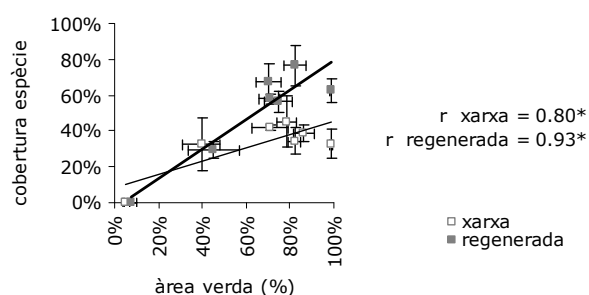


Figura 5.22 Correlació de la cobertura de *C. dactylon* respecte a l'àrea verda. (Agost 2005 - gener 2006). Àrea verda és el percentatge de píxels de la imatge amb tonalitat de color entre 60° i 180°. Les línies representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor. Tant la cobertura i l'àrea verda $n = 4$ per cada combinació dels tractaments. En gruiçut recta de aigua regenerada i en fi la recta de l'aigua de xarxa. Rectes significatives, $p \leq 0.05$.

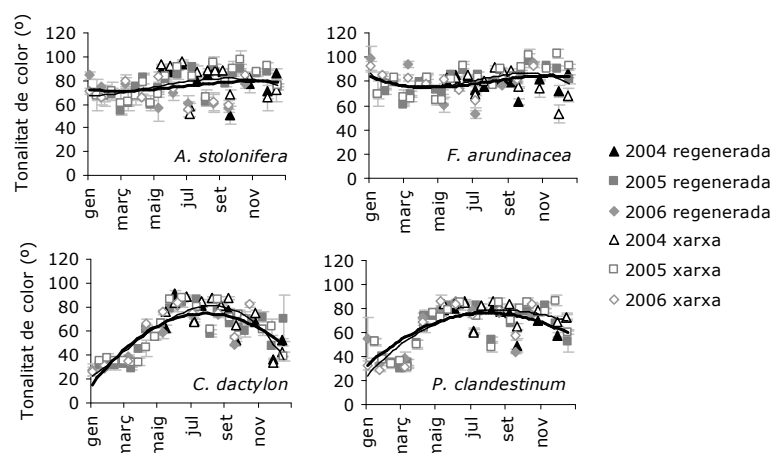


Figura 5.23 Evolució de tonalitat de color al llarg del temps segons la qualitat de l'aigua de reg per les diferents espècies estudiades. (maig 2004 – octubre 2006). Les línies verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor. $n=4$ per cada combinació dels tractaments. Es mostren les línies de tendència dels valors. Correlació polinòmica de tercer grau. En gruiçut aigua regenerada i fi aigua de xarxa. La tonalitat de color és: vermell, 0°; groc, 60°; verd 120°; cian, 180°; blau, 240° i magenta, 300°.

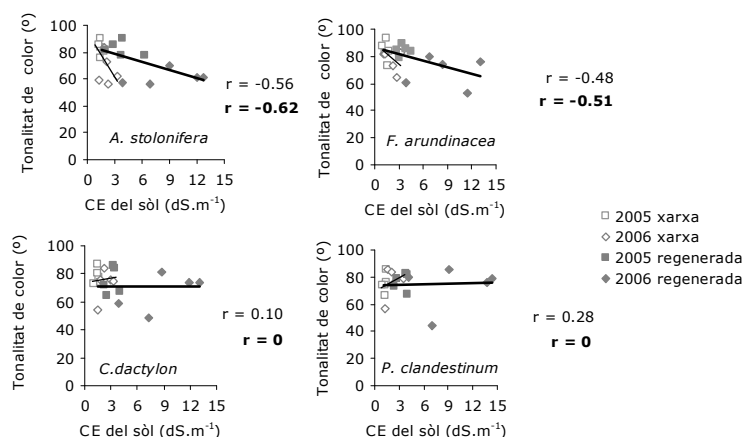


Figura 5.24 Correlació de la tonalitat de color respecte la conductivitat elèctrica del sòl, segons el tipus d'aigua amb què s'ha estat regant la gespa. (Agost 2005 - Gener 2006). CE dels 10 cm primers del sòl. En gruiçut recta de aigua regenerada i en fi la recta de l'aigua de xarxa. La tonalitat de color és: vermell, 0°; groc, 60°; verd 120°; cian, 180°; blau, 240° i magenta, 300°. $n=4$ per a la tonalitat de color i $n=1$ per la CE del sòl. Rectes no significatives, $p \leq 0.05$.

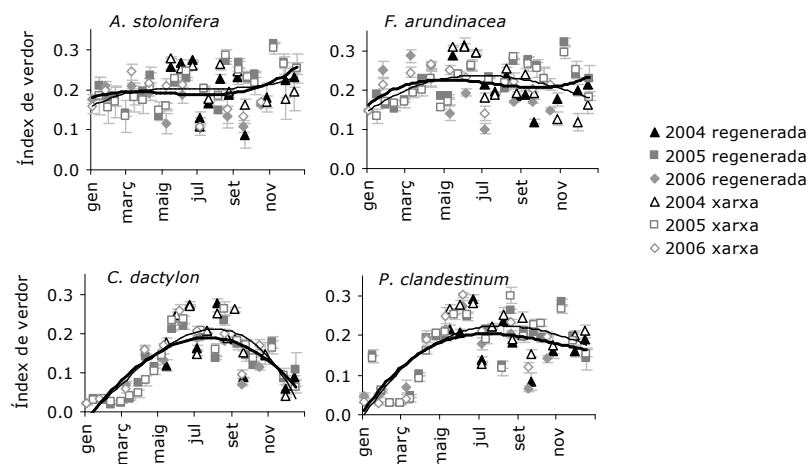


Figura 5.25 Evolució de l'índex de verdor al llarg del temps segons la qualitat de l'aigua de reg per les diferents espècies estudiades. (maig 2004 – octubre 2006). Tant per 1 de verd respecte al vermell i el blau. Valors baixos de l'índex de verdor indiquen gespa cloròtica o necròtica. El llindar del color verd es troba entre 0.15 i 0.2. Les línies verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor. $n = 4$ per cada combinació dels tractaments.

5.5 DISCUSSIÓ

5.5.1 Reg per degoters enterrats

Un dels inconvenients del reg enterrat és que impedeix determinades pràctiques culturals a la gespa. Al tractar-se d'un sòl franco-arenós i sense trepig no van ser necessaris els punxats per airejar i descompactar el sòl. Però si l'assaig hagués durat més, hagués estat inevitable, almenys per reduir el fletre dens i compacte d'*A. stolonifera* degut al creixement estolonífer i la textura fina de les fulles.

La distància entre degoters es reconeixia a la gespa sobretot en èpoques d'alta demanda evaporativa i en les espècies C_3 . Podria ser per l'acumulació de sals a l'extrem dels bulbs d'humitat o la falta d'aigua. Es podria haver assegurat el solapament dels bulbs d'humitat col·locant les mànegues més juntes o una dosi de reg més alta, tot i que la tensió al sòl era propera a saturació. Es mostrejava el sòl entre degoters per no afectar la instal·lació, de manera que els valors obtinguts de CE serien els més alts.

5.5.2 Aigua de reg i els seus efectes en el sòl

Al final de l'assaig, la taxa d'infiltració del sòl no es va diferenciar pel tipus d'aigua rebuda i es corresponia amb la textura franc – arenosa (Roquero i Porta 1992). El sòl no estava compactat, permetia el drenatge de la pluja i resultava relativament senzill extreure'n mostres fins a 40 cm de profunditat. Instal·lar el reg va implicar remoure el sòl i només es trepitjava en les mesures i el manteniment. Les arrels de gespa, la important quantitat de matèria orgànica estable en el sòl, juntament amb els cucs de terra detectats, podrien haver contribuït a mantenir l'estructura del sòl, tot i el reg amb aigua regenerada (Doran *et al.* 1996).

El pH s'ha mantingut dins la categoria de sòl bàsic o calcari, entre a 7.5 i 8.5, molt comú a Catalunya (Porta 1985). El pH de l'aigua regenerada és alcalí, però en canvi tendeix a acidificar el sòl. A Qian i Mecham (2005) entre altres, aquesta aigua augmenta el pH del sòl però en el mateix ordre de magnitud. Probablement l'efecte en el sòl és per les sals de càrrega negativa, com el clor que s'afegeix a l'aigua en la regeneració i al tanc de la parcel·la. També la urea de l'adob d'alliberació lenta, al passar a amoni, pot disminuir el pH de la rizosfera fins a una unitat de pH (Syers 2008).

El sòl regat amb aigua regenerada supera els 8 dS m^{-1} de CE "molt salí", al 2006 (Ayers i Westcot 1985). Mentre que amb aigua de xarxa és inferior a 2 dS m^{-1} . La CE del sòl més alta a la superfície, a l'estiu es podria explicar per l'evaporació de l'aigua al sòl i la capil·laritat, ja que els degoters es trobaven a 15 cm (Porta *et al.* 2003). L'increment anual de la CE no és per l'acumulació de sals, perquè a la tardor disminueix cada any. A l'estiu, l'augment progressiu de la CE seria per les diferències anuals de la qualitat de l'aigua de reg. Al 2006 va ploure un 60% menys que al 2005, especialment a l'estiu. A

la resta de l'any, el reg era inferior per compensar les precipitacions. I al no haver compactació del sòl, es facilitava la lixiviació de sals i disminuint la CE a la rizosfera, quan la demanda evaporativa és més baixa (Marcum 2006; Miyamoto i Chacon 2006).

Tot i la diferent qualitat d'aigua de reg, el contingut de matèria orgànica en el sòl semblant s'explica pel tractament a què se sotmet l'aigua regenerada. Nivells superiors a 3.5% de matèria orgànica total són molt alts per a sòls de la Península Ibèrica (Porta *et al.* 1985). Però Duble (2001) considera que un nivell de matèria orgànica entre 2 – 5 % és apropiat per a gespes. Els nivells alts prop de la superfície respecte a les mostres de 20 – 40 cm de profunditat són pel fentre i les arrels de la gespa que es trobaven en el sòl analitzat. En gespes es recomana retirar de les mostres els 2 cm primers de sòl per evitar aquest error (Miyamoto i Chacon 2006). L'esmena orgànica aportada, l'any anterior en la sembra, no creiem que hagi influït remarcablement en els resultats. D'observacions no quantificades de les mostres, les arrels de les gespes no es trobaven a més de 20 cm tot i el reg enterrat (veure els resultats al capítol 3).

Un nivell de nitrogen a l'aigua superior a 30 mg L⁻¹, com el de la subministrada, pot perjudicar determinades espècies (Ayers i Westcot 1985 adaptat de *University of California Committee of Consultants* 1974), però és semblant al de Oron *et al.* (2001). L'IBDU o isobutidindiurea, l'adob d'alliberament lent, que vam aplicar per igual a les parcel·les, s'hidrolitza a urea més lentament a pH > 8 i a temperatures i humitats baixes del sòl. En la dissolució, pot incrementar lleugerament el pH del sòl (Duble, 2001; Elliott i Des Jardin 1999). A diferència de l'adob orgànic, no depèn dels microorganismes del sòl per alliberar el nitrogen, de manera que ajudaria a explicar la inexistència de diferències entre els tractaments de reg (Handreck i Black 1991).

Al maig del 2005 feia tres dies de l'aplicació de l'adob per tant no es poden considerar els seus efectes al sòl, i la fertilització anterior de la tardor del 2004 ja s'hauria exhaurit. En canvi, a la primavera del 2006 feia 10 dies de l'aplicació, per tant l'augment de la concentració de nitrogen i la lixiviació en el sòl poden ser la resposta de l'inici de dissolució de l'adob (Shuman 2002). Tot i que en aquest període les pluges van ser minses, les temperatures eren suficientment elevades. Els valors de la tardor dels dos anys són anteriors a la nova aplicació d'adob. Aquest fertilitzant triga uns 60 dies a desfer-se, pels 2 mm de diàmetre de partícula en què es comercialitza per a gespes (Duble 2001). Però amb el reg subterrani podria ser més lent, de manera que es mantindrien pràcticament els nivells de nitrogen al sòl. Bowman *et al.* (2006) no van detectar un increment de la lixiviació de nitrats amb el reg amb aigua salina fins a 6 dSm⁻¹ de CE d'una gespa de *C. dactylon*.

La concentració de P és inferior a 2 mg L⁻¹, acceptable per aigua de reg (Ayers i Westcot 1985). Els nivells a l'aigua de xarxa i regenerada són semblants, per tant, no expliquen les diferències d'aquest element en la forma disponible al sòl. En general, el P és menys mòbil que el N al sòl però el que s'aplica amb el fertilitzant és molt soluble (Haygarth *et al.* 1998a i 1998b). L'acumulació de P Olsen a la superfície podria ser per la més quantitat de matèria orgànica en aquesta zona (Syers *et al.* 2008). Els valors de P es consideren elevats però s'han detectat en altres assajos com a Sumner i Farina (1986). El possible estrès salí de les plantes podria haver-ne afectat l'absorció, afavorint la concentració en el sòl regat amb aigua regenerada (Syers *et al.* 2008).

Els nivells de K⁺, de l'aigua de l'assaig, són comuns d'una aigua regenerada urbana, entre 10-30 mg L⁻¹, però elevats per una aigua de reg (Arienzo *et al.* 2009). Ayers i Westcot (1985) recomanen el mateix lliandar que pel P. Amb els adobats de primavera i tardor s'aportava la dosi de K⁺ recomanada per a una gespa de parc públic (Thomas i Guérin 2006). La diferència de K⁺ al sòl es podria explicar pel reg al maig. El K⁺ en l'aigua regenerada normalment és en forma disponible per les plantes i les gespes tenen una alta capacitat d'absorbir-lo (Grieve *et al.* 2004). De manera que explicaria la semblança entre els sòls al final de l'estiu. La important quantitat de matèria orgànica al sòl i el pH relativament elevat

haurien ajudat a mantenir aquest element a nivells baixos al sòl (Ariezo *et al.* 2009). A més, les gespes es consideren de les plantes més tolerants al K^+ també en condicions de salinitat (Ariezo *et al.* 2009). Així, els nivells de K^+ de l'aigua no haurien afectat a la vegetació.

5.5.3 La vegetació

Al final de l'assaig en aigua regenerada pràcticament s'havia extingit la cobertura d'*A. stolonifera*, la resta d'espècies s'han comportat de manera semblant en els dos tipus d'aigua. Per la salinitat del sòl a la que s'arriba al tercer any d'assaig, les espècies es podrien haver adaptat a aquestes condicions. Els efectes més importants en la vegetació s'han degut a la demanada evaporativa, la temperatura, la ubicació dels degoters i el comportament de les espècies C_3 i C_4 .

La diferent qualitat de les gespes C_4 a la tardor del 2004 respecte a la tardor del 2005 i 2006 seria perquè a la primera, la temperatura va baixar més aviat que a la tardor del 2005. A més, per la disminució de la temperatura més acusada a l'hivern del 2005 que al 2006 o una certa adaptació de les espècies a les condicions ambientals del sòl. També podria ser pel diferent règim de pluviometria, la tardor del 2004 va ser menys plujosa. Un altre motiu és la presència de males herbes, que van anar augmentant progressivament des de l'inici de l'assaig. A la tardor del 2005 les males herbes constituïen el 50% de la cobertura en les parcel·les d'*A. stolonifera* i *C. dactylon* per aquesta raó es van quantificar. Fins i tot, abans de la primavera es van extreure manualment les males herbes monocotiledònies, per poder continuar l'assaig. Al tractar-se de subparcel·les de 2 x 2.5 m hi ha hagut invasió d'espècies entre elles, sobretot per *P. clandestinum*. És una espècie que pot arribar a ser molt invasora a Catalunya (Pyke 2008; Wilen i Holt 1996a).

La velocitat de germinació més alta a les espècies C_3 respecte a les C_4 és per la temperatura del sòl. Per les C_4 l'òptim és entre 20 i 23 °C, que s'aconsegueix a principis d'estiu, dos mesos més tard que la implantació de les parcel·les (Duble 2001). També pot haver influït l'increment progressiu de la temperatura en aquest període. *F. arundinacea* va germinar primer que la resta, presenta llavors més grans i amb més reserves (Larsen i Andreassen 2004). Sembrar abans de temps pot implicar perllongar l'estadi de plàntula més del necessari, en què la planta és més sensible als estressos ambientals, però totes van germinar correctament (Duble 2001). La diferència segons l'aigua de reg s'explicaria per una més baixa capacitat d'imbibició de les llavors i de creixement a causa de les sals de l'aigua. Varis estudis indiquen que la tolerància a la salinitat varia en funció del l'estadi de creixement (Chen *et al.* 2007). Així en l'assaig, *F. arundinacea* i *A. stolonifera* semblen tenir un millor comportament en la germinació en condicions salines. A Dai *et al.* (2009), la varietat 'mariner' d'*A. stolonifera* (registrada per Lehman *et al.* 1998) es mostrava com una espècie C_3 amb millor resposta a la germinació en condicions de salinitat.

Un RWC òptim per la majoria d'espècies és entre 85 i 95%, quan l'absorció d'aigua per les arrels s'igualava a la pèrdua per transpiració (Taiz i Zeiger 2006). Que l'índex es mantingui entre aquests valors òptims en general durant l'any indica que la dosi de reg va ser adequada. *A. stolonifera* i *F. arundinacea* van presentar el mateix rang de valors de RWC davant d'estudis amb estrès hídric o salí a Schlemmer *et al.* (2005), Xu *et al.* (2006), respectivament i per a *C. dactylon* els trobem per exemple a Lu *et al.* (2007) i a Utrillas i Alegre (1997). Radhouane (2008) avalua aquest índex en una altra espècie de *Pennisetum*, *P. glaucum* i el resultat també va ser equivalent. La davallada del RWC en totes les espècies a l'octubre del 2004 podria haver anticipat el marcimient de la gespa a la tardor - hivern.

Com que el RWC no detectava diferències importants en el reg es va fer el seguiment amb el potencial osmòtic foliar (Ψ_o) al 2006. Vam distingir entre el Ψ_o *in situ* i a saturació. La primera és una metodologia poc utilitzada ja que combina l'efecte del contingut hídric (Rosner *et al.* 2001). Però s'ha mostrat més sensible a la conductivitat elèctrica del sòl, tot i que els valors no han estat representatius de la qualitat ornamental de la vegetació.

El RWC va detectar estrès per les altes temperatures a *A. stolonifera* amb una recuperació important a la tardor. Semblant a Jiang *et al.* (2009), on el RWC es correlacionava negativament amb les diferències de temperatura i la humitat del sòl amb *Lolium perenne*, una altra gespa C₃. Que la CE del sòl arribi a nivells més alts en *A. stolonifera* es podria explicar per un més elevat consum hídric d'aquesta gespa, de manera que augmenti la concentració d'ions al sòl. A la tardor hi ha un important nombre de mesures per sota d'aquest valor. Tal com en el RWC, sembla que la temperatura tingui més influència que la salinitat de l'aigua i del sòl, ja que mostra un NDVI i un PRI superior a 9 dS m⁻¹ que a moltes conductivitats inferiors a 4dS m⁻¹. El PRI, com a indicador de l'activitat fotosintètica, es troba en concordança amb el NDVI. El diferent comportament del WI en aigua regenerada respecte a la resta d'espècies estudiades es podria explicar per una més acusada sensibilització a l'estrès al 2006. *A. stolonifera* hauria reaccionat més que les altres a l'increment de la CE del sòl a finals de primavera del 2006. Del qual no s'ha pogut recuperar al final de l'assaig, com es correspon amb els baixos nivells de cobertura de l'espècie regada amb l'aigua de l'EDAR. L'angle de tonalitat de color (H) d'*Agrostis* spp. òptim és superior a 120° (Casadesús *et al.* 2005 i 2007; Landschoot i Marcino 2000). Tot i que en ocasions l'espècie ha mostrat una correcta qualitat no ha assolit aquests valors durant l'assaig a causa del reg deficitari i a les condicions salines. No vol dir que hi haguessin clapes amb una tonalitat que s'aproximés a aquest valor òptim.

Els efectes de l'estrès salí i hídric en la vegetació estan relacionats, és l'anomenada sequera fisiològica o sequera induïda per la sal (Barrett-Lennard *et al.* 2003; veure capítol 4). A Wang i Bughara (2008b) tres varietats de *F. arundinacea* evitaven l'estrès hídric gràcies a canvis morfològics a la part aèria i a les arrels, i probablement a través de l'ajust osmòtic per mantenir una suficient pressió de turgència a la zona d'elongació foliar. L'elevat RWC de *F. arundinacea* es pot explicar perquè aquesta espècie es caracteritza per les fulles amples i gruixudes, amb un pes específic superior que podrien influir en la retenció d'aigua (veure capítol 3). En la classificació de les gespes es diu que forma una coberta amb textura basta (Morris i Sherman 2000). A més *F. arundinacea* enrotlla longitudinalment de les fulles en condicions d'estrès, disminuint la superfície de contacte amb l'aire. Ha estat l'espècie que ha arribat a un Ψ_o *in situ* més elevat en condicions de reg amb aigua regenerada. A Dean *et al.* (1996) en un gradient de salinitat equivalent a l'assaig al 2005 i 2006, *C. dactylon* i *F. arundinacea* proporcionen gespes d'acceptable qualitat (color, cobertura i producció) regant-les amb aigua regenerada fins a 6 dS m⁻¹ de CE. L'òptim de tonalitat de color de *F. arundinacea* és inferior que *A. stolonifera* ja que té un color genètic verd fort (Morris i Sherman 2000).

En dèficit hídric, les fulles de *C. dactylon* es marceixen o creixen menys (Carmo – Silva *et al.* 2007). A més, presenta glàndules d'excretores de sals. Característiques que poden haver contribuït a mantenir un RWC elevat abans de la necrosis foliar. Sobretot el RWC detecta la fenologia en les C₄, per l'aturada hivernal. Les mesures de RWC eren en fulles verdes o cloròtiques però no seques. *C. dactylon* podria arribar a RWC inferiors en aigua de xarxa que regenerada mantenint les fulles com a mínim cloròtiques a l'hivern. O que una certa acumulació de sals als teixits hauria afavorit el contingut hídric foliar. A Hameed i Ashraf (2008), el Ψ_o a saturació en *C. dactylon* va passar de -1.1 a -1.5 MPa a mesura que augmentava la concentració salina del medi de cultiu de 0 a uns 18 dS m⁻¹. Valors que només podem comparar amb el Ψ_o *in situ* a l'estiu. Xiong *et al.* (2007) ajusten a una correlació polinòmica de tercer grau el NDVI amb *C. dactylon*. Obtenen un mínim al maig, un a principis d'octubre i un màxim a principis de juliol que coincideix amb la fenologia de l'espècie com en els resultats de l'assaig.

P. clandestinum és l'espècie que manté el RWC més baix abans d'entrar en dormició. En canvi, mostra el Ψ_o més baix a CE del sòl més elevades, indicant tolerància a l'estrès salí. L'espècie colonitza medis salins (Southwell 1999) i junt amb *Paspalum vaginatum* i *Chloris gayana* és la millor opció de pastura en aquestes condicions (Radhakrishnan *et al.* 2006; Semple *et al.* 2003). Alhora l'osmoregulació pot afavorir una tolerància a les baixes temperatures (Liu i Osborne 2008). Capacitat que explicaria la més

tardana entrada en dormició a la tardor del 2005. Tot i arribar a CE del sòl més elevades, el PRI indica la capacitat fotosintètica en aquestes condicions (Filella *et al.* 1995). Els estams blancs poden haver contribuït a disminuir el NDVI i la tonalitat de color a l'estiu (Galli *et al.* 2007). Era la única espècie capaç de formar les característiques espigues entre segues (veure capítol 2). La cobertura va ser superior al 90% sempre i amb un comportament molt homogeni, de manera que en aquesta espècie, els índexs derivats de fotografies mostren l'evolució dels pigments foliars.

Després de dos anys i mig d'assaig era necessari disminuir el feltre, amb aireig, en les espècies estoloníferes. Aquestes requereixen una alçada de sega inferior perquè el creixement postrat limita la llum a les fulles inferiors, degradant-se més ràpid (Duble 2001). Els borrons de creixement se situen per sobre del feltre, llavors és fàcil retirar-los en bona part amb una sega baixa i es tardi més a formar fulles, que es produeixi *scalping* (Duble 2001).

5.6 CONCLUSIONS

- La qualitat físico-química de l'aigua regenerada va variar a l'estiu i entre els anys. Al 2005 i 2006 era superior a 3 dS m⁻¹, categoria de salina.
- La gespa no patia compactació i les pluges lixivien les sals als primers 40 cm de sòl i n'impedien l'acumulació d'un estiu al següent. Els nutrients del sòl analitzats no van dependre de la qualitat de l'aigua.
- A l'estiu, l'aigua regenerada augmentava la CE del sòl franc - arenós, però no afectava als paràmetres fisiològics analitzats. De manera que es podria acceptar un reg a 60% de l'ET₀ per mantenir la gespa també amb aquesta aigua. Però la distància entre degoters es reconeixia per la vegetació. Hagués calgut una densitat de degoters superior o incrementar la dosi de reg a l'estiu.
- La germinació en aigua de xarxa va ser una setmana més ràpida que en regenerada. Per exemple pot condicionar l'accés al públic de les gespes.
- Les males herbes van afectar més a la gespa d'*A. stolonifera* però menys a la de *C. dactylon* regades amb aigua regenerada respecte a la de xarxa. Indicaria diferent tolerància a la salinitat i capacitat competitiva de les espècies.
- El RWC no ha detectat diferències importants en la qualitat de l'aigua de reg ja que no anticipava suficientment la necrosi foliar, de la mateixa manera que el Ψ_o . El Ψ_o *in situ* incorpora l'efecte del contingut hídic i s'ha mostrat més sensible a la CE del sòl.
- Les mesures de coberta han proporcionat informació representativa de l'estat de les gespes. En general les espècies no han mostrat diferències remarcables en la qualitat ornamental pel reg.
 - Que la CE del sòl arribi a nivells més alts en *A. stolonifera* es podria explicar per un consum hídic d'aquesta gespa més alt, de manera que augmenti la concentració d'ions al sòl.
 - *F. arundinacea* ha estat l'espècie que ha arribat a un Ψ_o *in situ* més elevat en reg amb aigua regenerada. És possible que gràcies a l'ajust osmòtic pugui mantenir una suficient pressió de turgència a la zona d'elongació foliar.
 - Sembla que *C. dactylon* podria arribar a RWC inferiors en aigua de xarxa que regenerada mantenint com a mínim clorosi a l'hivern. O que una certa acumulació de sals als teixits hauria afavorit el contingut hídic foliar.
 - *P. clandestinum* és l'espècie que manté el RWC més baix abans d'entrar en dormició. En canvi, és la que mostra un Ψ_o més baix a CE del sòl més elevades, indicant tolerància. Tot i arribar a CE del sòl més elevades, el PRI pren valors positius, denotant la capacitat fotosintètica en aquestes condicions. Els estams poden haver contribuït a disminuir el NDVI i la H a l'estiu.

Competència aèria i subterrània entre *L. tenuis* i *C. dactylon* en resposta als nutrients i a l'establiment

RESUM

En un context urbà, bona part de l'opinió pública percep que un prat mostra una aparença descuidada. Però per altra banda, s'aprova com a resposta al desenvolupament de les nocions de biodiversitat i sostenibilitat en les aportacions d'aigua, nutrients i tasques de manteniment. Després de la disponibilitat de l'aigua, en sòls pobres com a les regions mediterrànies, la fertilització influeix en la productivitat i les interaccions entre plantes. Les gramínies i les lleguminoses es caracteritzen per una bona capacitat d'establir-se, un creixement ràpid i la tolerància a una àmplia varietat de condicions ambientals. Les lleguminoses permeten que el nitrogen estigui també disponible per altres espècies. Els indicis a camp mostren certa competència entre *C. dactylon* i *L. tenuis* tot i que les arrels de la llegum poden profunditzar més. L'objectiu d'aquest capítol és examinar els efectes de la interacció d'aquestes espècies, sota dos nivells de fertilització en condicions d'hivernacle. S'avalua el creixement, la distribució de la biomassa i la resistència hidràulica de les arrels per determinar si una espècie és competitivament superior. Mitjançant la tècnica de 'testos dividits' es pretén avaluar quina fracció de la planta és més influent sobre l'altra espècie. Es conclou que *L. tenuis* es desenvolupa millor sense *C. dactylon* ja que la gramínia ocupa l'espai subterrani del test i n'extreu els recursos. Els efectes de la competència subterrània són més importants en condicions de competència aèria. L'al·lelopatia podria intervenir en la competència. Els resultats suggereixen diferents estratègies per mantenir aquestes comunitats a un bon nivell de funcionament.

6.1 INTRODUCCIÓ

Un prat és una coberta vegetal formada per herbàcies de port mitjà o baix, on predominen gramínies i lleguminoses, amb capacitat de rebrot o de ressebra i que, amb una gamma àmplia de variacions, toleren la sega i el trepig (Brown 2003, Col·legi Oficial d'Enginyers Tècnics Agrícoles i Pèrits Agrícoles de Catalunya, NTJ 07N; Diboll 2004). A diferència de les gespes, en el prat la majoria de plantes completen el cicle vital entre segues, que es realitzen per evitar el desenvolupament arbustiu.

En un context urbà, un percentatge remarcable d'opinió pública percep que un prat té una aparença descuidada i plena del que es consideren males herbes (Barro i Bright 1998; Seguro 2006). Però des d'un altre punt de vista s'aprova, com a resposta al desenvolupament de les nocions de biodiversitat, d'esforç de manteniment i sostenibilitat (Cabot i Travesa 2000; de Herralde *et al.* 1998; Hichmough 2004, 2006; Loyd 2004; Meyer i Pedersen 1999; Wiley 2004; Zhang *et al.* 1996).

El prat inclou plantes anuals i perennes amb floració vistosa, de diferents alçades i densitats, que pot arribar a mantenir una cobertura i color acceptables durant dècades, amb un aspecte que s'ha qualificat com a "fresc i romàntic" o "silvestre i elegant", reflecteix les estacions de l'any i evoluciona constantment (CABE Space 2004; Dai 2000). La riquesa d'espècies aporta estructura, versatilitat funcional i estabilitat ecològica davant de canvis de les condicions ambientals (Biel *et al.* 1999; Clary *et al.* 2006; Jolliffe 1997; Piper 1998).

Aquesta diversitat afavoreix un manteniment inferior i diferent d'una gespa (Dunnett 2004; Hitchmough 1999): regs ocasionals (Kjellgren *et al.* 2000); fertilització mínima, d'una a tres segues anuals, i la sembra, en necessitar-se, presenta uns costos raonables de mà d'obra i matèria primera (Stabler i Martin 2004; Whisenant 1999). Pel grau de manteniment es distingeixen els prats ornamentals dels naturals (Bosch *et al.* 2001). Els primers poden tenir un ús social, i en general els trobem en l'àmbit urbà o zones de servei; mentre els naturals són sobretot periurbans.

Les regions mediterrànies es caracteritzen per sòls poc fèrtils, estius calorosos i secs, hiverns freds i precipitacions irregulars que limiten el creixement de les plantes (Beard 1983; Köppen 1923; Kruger *et al.* 1983). Per aconseguir un bon aspecte amb manteniment mínim, és important seleccionar les

espècies (Tinsley 2006; Mastersanz i Valladares 2007). Es tenen en compte gramínies i lleguminoses, i si és possible autòctones o adaptades (Clary *et al.* 2004; Grace III *et al.* 1998; Franco *et al.* 2001; Logan 1992; Matesanz *et al.* 2006; Morales *et al.* 2000, 2001; Muzzi *et al.* 1997; Vignolio *et al.* 2002; Tinsley *et al.* 2006). Són grups amb una bona capacitat d'establir-se, creixement ràpid i tolerància a una àmplia varietat de condicions ambientals, que els permet viure en medis fins i tot degradats. Les gramínies responen ràpidament a la fertilització i a les pràctiques culturals (Whisenant 1999). Les lleguminoses permeten que el nitrogen estigui disponible per altres espècies estalviant fertilitzants (Andrews 2007; Atkinson 2005; Harper 1977; Farnham i George 1994; Gebhart *et al.* 1993; Hodgson i White 1999; Ledgard 2001; Mallarino *et al.* 1990; Peoples i Baldock 2001; Raven *et al.* 2005). Però moltes de les mescles de llavors, que es comercialitzen, estan constituïdes per espècies que tradicionalment s'han utilitzat en prats de pastura que no és la finalitat d'un prat urbà (Tinsley 2006).

Hem estudiat les interaccions entre la gramínia *C. dactylon* i la lleguminosa *L. tenuis* Waldst. et Kit. (ex *Lotus glaber* Mill.). Vignolio *et al.* (2002b i 2005) van determinar que la mescla de *C. dactylon* i *Lotus creticus* és apta per a revegetar sòls. A més, que *C. dactylon* presenta una taxa de creixement més alta i és més agressiu que *L. creticus*. Així, estudiarem la relació en les proporcions 1:2. Per si es produeix un cert altruisme entre les plantes de *L. tenuis* a l'hora de competir amb la gramínia (Murphy i Dudley 2009).

La coexistència està determinada pel balanç entre competència i complementarietat en l'adquisició dels recursos (Connell 1983; Gleason 1926; Grime 1979; Hooper 1998; Tilman 1982 i 1988; Schoener 1983). Sòls pobres en nutrients i el solapament d'estrats de vegetació fan important la competència entre espècies pels recursos i la radiació (Callaway 1992; Thébaud *et al.* 1996; Vilà 1997; Vilà i Terradas 1995). Es proposa la complementarietat, com a principal mecanisme, explorant més exhaustivament del medi (Novoplansky 2002): produint una part aèria i/o subterrània amb arquitectures distintes per captar la llum (Schmitt i Wulff 1993) i els recursos del sòl (Fitter i Stickland 1991; Jackson i Cadwell 1991; Wardle i Peltzer 2003), modificant la relació part aèria : part subterrània (Reynolds i D'Antonino 1996) o diferències en la conductivitat hidràulica (Eissenstat 1997).

L'explotació dels recursos és el principal mecanisme de competència entre plantes (Reynolds 1999). On els competidors interactuen indirectament pel consum: esgotant o avançant-se a adquirir-lo (Thomas i Weiner 1989; Weiner i Thomas 1986). Pel contrari, la competència per interferència implica interaccions directes entre competidors, que impedeixen l'accés als recursos. Ja sigui pel creixement d'un individu per sobre d'un altre o ocupant l'espai si és limitant. S'ha considerat l'al·lelopatia dins d'aquest tipus de competència. És la producció de substàncies químiques tòxiques per altres espècies sense afectar a la que les produeix (Begon *et al.* 2006).

La competència redueix el creixement de les plantes perquè disminueixen els recursos disponibles. Però els mecanismes de competència, com hi responen, i com la força de la competència varia en les comunitats depenen del recurs (Casper i Jackson 1997). A priori, la competència pels del sòl predomina en terrenys pobres en nutrients; per la llum, és important a mesura que la fertilitat s'incrementa, ja que al créixer, es fan ombra entre elles (Reynolds 1999). Per exemple la competència per la llum afecta a la diversitat a Carson i Pickett (1990) i Gibson (1988) però no a Rajaniemi (2001). En general però, la competència subterrània disminueix amb la fertilització (Cahill 1999; Peltzer *et al.* 1998; Putz i Canham 1992; Wilson i Tilman 1991, 1993). Diferents metodologies separen la competència aèria de la subterrània (McPhee i Aarssen 2001): a camp (Sánchez i Peco 2004); o en condicions controlades s'utilitzen els testos dividits, un test dins l'altre, o la combinació de testos i estaquas (Mallik i Prescott 2001; MCPhee i Aarssen 2001; Weiner 1986).

Les mescles de gramínies i lleguminoses es fertilitzen amb nitrogen per exemple als Estats Units (Hill i Hoveland 1993). El nitrogen, juntament amb el fòsfor, afavoreix el creixement en molts cultius, encara

que pot reduir la nodulació i la fixació de N_2 , per exemple a *L. tenuis* (Streeter 1988). Sobretot en lleguminoses amb potencial de fixació relativament alt a l'any de l'establiment, sense afectar la producció de biomassa (Eardly *et al.* 1985; Heichel i Vance 1979). Però per exemple en *Trifolium vesiculosum* Savi., *Lotus pedunculatus* Cav. i *Glycine max* (L.) Mer, que desenvolupen els nòduls lentament i/o amb nivells de fixació baixos pot incrementar la producció de biomassa o de fruits i, en alguns casos, també la nodulació i la fixació, si s'aplica una dosi moderada (Abdel Wahab i Abd-Alla 1996; Hojjati *et al.* 1978; Schomberg i Weaver 1990; Wedderburn 1983).

6.2 OBJECTIUS

Davant d'indis observats a camp i les males herbes en les gespes dels capítols anteriors, hem plantejat examinar els efectes de la interacció entre *L. tenuis* i *C. dactylon*, i la influència del fertilitzant. Mitjançant la tècnica dels 'testos dividits', si es detecta que una espècie és competitivament superior, determinar si la part aèria, la subterrània o les dues és més influent sobre l'altra espècie.

6.3 MATERIAL I MÈTODES

L'estudi es va realitzar en condicions d'hivernacle a la *Unidad Integrada Balcarce*, EEA, INTA - *Facultad de Ciencias Agrarias* UNMdP, Buenos Aires, Argentina (37° 45' S; 58° 18' W).

6.3.1 Disseny experimental

L'experiment va consistir en dues espècies, *L. tenuis* i *C. dactylon*; quatre nivells de competència, dos nivells de fertilització i sis repeticions de cada combinació de tractaments. Els nivells de competència eren A+ i A-, amb i sense competència aèria respectivament; i S+ i S-, per la competència subterrània. Per tant, el tractament sense competència és A-S-; només competència aèria, A+ S-; només competència subterrània, A- S+; i competència aèria i subterrània, A+ S+.

6.3.2 Material vegetal

El 15 d'abril del 2005 es va sembrar *L. tenuis* Waldst. (ex. *Lotus glaber* Mill.) cv. INTA Pampa, en caixes de Petri amb paper de filtre humit. Als tres dies, es van inocular amb *Rhizobium loti* soca 733 (Andreoli *et al.* 1998) i se sembraren en testos de 100 ml amb una mescla de vermiculita i sorra de riu a 2:3 (v/v) (Bañon *et al.* 2004). Es van fertilitzar amb 15 ml de solució Hoagland diluïda al 50%, p/v (Hoagland i Arnon 1950). Alhora es van recol·lectar estolons de *C. dactylon* d'un prat del *Partido de Ayacucho, San Marcos* (Província de Buenos Aires, Argentina 37° 39' S, 58° 29' W) i es van deixar arrelar en les mateixes condicions.

6.3.3 Tractaments de competència i fertilització, i condicions ambientals

Es va estudiar la competència amb la tècnica dels testos dividits. Pel nivell del factor sense competència aèria, els testos tenien un envà de plàstic transparent al centre (Figura 6.1). I pel nivell sense competència subterrània, els testos incloïen dos contenidors per evitar la difusió d'aigua, nutrients o compostos químics entre ells (Cahill 2002; McPhee i Aarssen 2001).

Cada test de 10 cm de diàmetre i 700 cm³ es va omplir amb 770 g del substrat descrit anteriorment. Al 12 de maig, s'hi va trasplantar un esqueix de *C. dactylon* i dues plàntules de *L. tenuis*. Es van elegir els esqueixos amb dues làmines desenvolupades i la tercera sense expandir. Mentre que les plàntules presentaven els cotiledons i una fulla. El pes sec mitjà total ($\pm$ SE) $n = 10$ de *C. dactylon* va ser de $92.0 \cdot 10^{-3} \pm 8.7 \cdot 10^{-3}$ g planta⁻¹ i en *L. tenuis*, de $3.6 \cdot 10^{-3} \pm 0.4 \cdot 10^{-3}$ g planta⁻¹.

Es regava setmanalment amb aigua destil·lada o solució nutritiva a capacitat de contenidor, solució Hoagland (Hoagland i Arnon 1950). Els contenidors tenien un drenatge, o tub de plàstic transparent, per observar el nivell de reg i evitar pèrdues de nutrients, semblant a Stoffella *et al.* (1998). La freqüència i la dosi de reg eren les mateixes per tots els tractaments. L'experiment va iniciar a la tardor austral i la

quantitat d'adob es va augmentar progressivament fins al final de l'assaig (Taula 6.1). Els testos es disposaren a l'atzar i es canviaven de posició setmanalment.

Taula 6.1 Mitjana ($\pm$ SE) de les condicions ambientals de l'assaig i els tractaments fertilització alta i baixa de la solució nutritiva Hoagland (14 N – 5 P₂O₅ – 23 K₂O).

Estacions	PAR ^A , $\mu\text{E}\cdot\text{s}^{-1}\text{m}^{-2}$	VPD ^B , kPa	HR mín %	T ^a mín., °C	T ^a màx., °C	Fert. baixa, g N m ⁻²	Fert. alta, g N m ⁻²
Tardor	297.4 $\pm$ 16.1	0.51 $\pm$ 0.07	47.0 $\pm$ 2.2	4.6 $\pm$ 0.6	28.1 $\pm$ 0.9	2.0 $\pm$ 0.0	4.0 $\pm$ 0.0
Hivern	350.3 $\pm$ 16.4	1.17 $\pm$ 0.08	68.2 $\pm$ 4.4	5.7 $\pm$ 0.8	19.8 $\pm$ 0.5	2.7 $\pm$ 0.2	4.7 $\pm$ 0.2
Primavera	891.0 $\pm$ 26.7	1.92 $\pm$ 0.11	26.5 $\pm$ 1.5	7.0 $\pm$ 0.7	32.4 $\pm$ 0.8	7.5 $\pm$ 0.4	10.5 $\pm$ 0.7
Principis d'estiu	1053.1 $\pm$ 77.2	2.52 $\pm$ 0.39	26.0 $\pm$ 5.7	10.9 $\pm$ 1.6	37.5 $\pm$ 1.6	9.7 $\pm$ 0.0	15.6 $\pm$ 0.0

^A Radiació Fotosintèticament Activa que arribava a les plantes. Es va obtenir amb la Radiació Global a partir de l'estació meteorològica de la EEA – Balcarce, situada a 400 m de l'assaig i es va corregir per l'extinció de radiació causada per la coberta plàstica de l'hivernacle. El 19 de maig, un dia assolellat i al migdia hora solar, es va obtenir l'extinció de radiació mitjançant un LI - COR, LI - 188B (*Integrating Quantum Radiometer / Photometer*, Lincoln, Nebraska USA).

^B VPD, Dèficit de Pressió de Vapor; HR, Humitat Relativa mínima i, Temperatura màxima i mínima es van obtenir amb un termohigròmetre (*Hygro - Thermometer* Qualitats - Erzeugnis, by TFA. Alemanya).

6.3.4 Mesures

Quinzenalment es mesurava la longitud de la tija més llarga per planta, des del coll de l'arrel fins a l'àpex de la fulla més jove. També, el nombre de tiges primàries, les originades al coll de l'arrel, fins el dia 166 després de trasplantar, per evitar alterar les plantes amb la manipulació.

L'assaig va finalitzar abans de l'estadi reproductiu, només cinc plantes de *L. tenuis* i una de *C. dactylon* havien florit. Va morir una planta de *L. tenuis* en tres testos de tractaments diferents, repeticions excloses de l'estudi.

Es va separar la biomassa de fulles, tiges i arrels. Les arrels es van rentar amb aigua en un sedàs, per evitar pèrdues. Els resultats s'expressen en g test⁻¹ després de 48 h a 60 °C; les dues arrels de *L. tenuis* el mateix test no es van separar, per la dificultat de distingir-les i la fragilitat (Hill i Hoveland 1993). Es van calcular els índexs de distribució de biomassa: R/S, *root/shoot*, pes sec arrels / pes sec part aèria; LWR, *leaf weight ratio*, pes sec de fulles / pes sec total; SWR, *stem weight ratio* (pes sec de tiges + estolons + rizomes) / pes sec total; RWR *root weight ratio* (pes sec d'arrels / pes sec total). Els quatre expressats en g g⁻¹. L'eficiència en l'ús dels nutrients, NUE, *nutrient use efficiency* expressat en la quantitat de nitrogen de la solució nutritiva. Biomassa total al final de l'assaig / total de fertilitzant aportat. La Taxa de Creixement Relatiu, *Relative Growth Ratio*, de la biomassa total (RGRT, g g⁻¹ dia⁻¹), i del nombre (RGRn, número · número⁻¹ · dia⁻¹) i longitud de tiges (RGRI, cm cm⁻¹ dia⁻¹) (Pearcy 1989; Mendoza *et al.* 2005). Acumulació relativa de biomassa per cada espècie calculada com $RB_{ij} = Tb_{i(j)} / Tb_{ii}$ on $Tb_{i(j)}$ és la biomassa total de l'espècie *i* en mescla amb l'espècie *j* i Tb_{ii} és la biomassa total de l'espècie *i* creixent en monocultiu (Keddy *et al.* 1994).

Davant dels resultats obtinguts es va considerar necessari conèixer la resistència hidràulica de les arrels. Es van utilitzar plantes de 4 mesos sembrades individualment en testos d'1 L i substrat de perleta. Es regava per aspersió d'un minut cada quart d'hora. Als tres mesos es van fertilitzar: 0.08 g test⁻¹ de KNO₃ (38 K₂ - 13 N₂ - 46 K₂O) i 0.5 g test⁻¹ d'adob "d'alliberació lenta" amb IBDU (Isobutidin diurea, en granulats) (20 N - 5 P₂O₅ - 8 K₂O). La Resistència hidràulica de les arrels es va mesurar amb una bomba de pressió (*Soil Moisture* Santa Barbara, California, USA) (Ramos i Kaufmann 1979; Markhart III i Smith 1990; Savé *et al.* 1995). I la longitud específica de les arrels (cm g⁻¹), amb un analitzador digital d'imatges (DIAS, Delta - T. *Image Analysis System*, Devices, UK) (Tagliavini *et al.* 1993). Es van mostrejar deu plantes per espècie: dues arrels per planta de *C. dactylon* i tota l'arrel de *L. tenuis*, a partir del coll de l'arrel.

6.3.5 Anàlisi estadística

L'efecte de la dosi d'adob i el tipus de competència a la que estaven exposades les plantes en el creixement i la biomassa es va determinar mitjançant un anàlisi de la variància ANOVA, amb el

procediment GLM del programa estadístic SAS (versió 8.0 SAS Institute Inc., Cary, NC, USA 1999). El RB no es pot analitzar estadísticament perquè es calcula amb la mitjana de la biomassa dels tractaments. En el creixement del nombre i la longitud de tiges, es va realitzar un anàlisi ANOVA per a mesures repetides en el temps (RANOVA). La resistència hidràulica de les arrels es va analitzar amb un ANOVA d'una via, el factor espècie.

Quan existia diferències en els nivells dels factors, nivell de significació $\alpha = 0.05$, es realitzava la Prova de Comparació Múltiple o Test a *Posteriori* de Duncan. En les interaccions significatives entre factors, es comparaven les mitjanes de cada combinació de tractaments per Mínims Quadrats amb la separació de mitjanes *LSMEANS* i *PDIFF* del procediment GLM de SAS (Steel *et al.* 1997).

6.4 RESULTATS

6.4.1 Biomassa

Al final de l'assaig, *L. tenuis* va multiplicar per 300 la biomassa inicial, mentre que l'increment de *C. dactylon* era de 50 vegades. La biomassa per test més alta es va produir en d'adobat alt (Taula 6.2, Figura 6.1). *C. dactylon* constituïa el 65% de la biomassa total del test, la resta la formaven les dues plantes de *L. tenuis*. I la diferència entre espècies va ser més important en competència subterrània (Figura 6.2 esquerra).

La biomassa de fulles va ser més elevada en adobat alt. *C. dactylon* en va produir significativament més que *L. tenuis* en el tractament de competència aèria i subterrània, A+ S+ (Figura 6.2 dreta). I va ser inferior en els tractaments sense competència subterrània. *L. tenuis* presentava menys fulles en el tractament A+S+ que el control (A- S-). La biomassa de tiges va ser significativament més elevada en adobat alt. *C. dactylon* tenia significativament més biomassa a les tiges i aquesta diferència va ser significativament més important en el tractament A+S+. *L. tenuis* va produir significativament més biomassa d'arrels. Els rizomes de *C. dactylon* representaven el 2.34% de la biomassa radicular. *C. dactylon* va generar més arrels quan hi havia competència subterrània, al contrari que *L. tenuis*. La biomassa d'arrels de *L. tenuis* va augmentar amb l'adobat, mentre *C. dactylon* no hi va respondre. L'eficiència de l'adob va ser més alta en *C. dactylon* que en *L. tenuis* (Figura 6.3). La lleguminosa va produir alguns nòduls nitrificants, però sense el color vermellós indicador de la maduresa funcional (Pankhurst *et al.* 1987).

Els tractaments de competència aèria van presentar significativament menys LWR (Taula 6.2). La SWR va ser significativament més baix en el tractament A-S+. I els de competència aèria tenien més RWR que el de sense competència. *L. tenuis* presentava significativament més LWR i RWR, però menys SWR que *C. dactylon*. A l'augmentar l'adob, *C. dactylon* va al·locar significativament més biomassa a fulles i la va disminuir a les tiges, però en *L. tenuis* era el contrari. L'índex R/S va ser significativament més elevat en *L. tenuis* (Figura 6.4), amb una biomassa semblant a la part aèria i a l'arrel. El R/S de *C. dactylon* és deu a la biomassa de tiges (Figura 6.2 dreta). A nivell baix de fertilització, *C. dactylon* acumula més biomassa en condicions de competència aèria més subterrània i competència subterrània (Figura 6.5). D'altra banda, en competència subterrània, *L. tenuis* era més eficient en nivells alts de fertilitzant.

Taula 6.2 Anàlisi de variància dels paràmetres productius.

A la part superior de la taula hi ha les mitjanes de cada paràmetre per les combinacions dels tractaments, n = 6. Tractaments: adobat (alt i baix), competència (A+S+, A+S-, A-S+ i A-S-; veure figura) i espècie (*C. dactylon* i *L. tenuis*). LWR, pes sec de fulles / pes sec total; SWR, (pes sec de tiges + estolons + rizomes) / pes sec total; RWR, pes sec d'arrels / pes sec total. R/S, pes sec arrels/ pes sec part aèria; NUEt eficiència de l'adop de les espècies; RGRt (taxa de creixement relatiu del pes sec total) del període de l'assaig, 207 dies.

A la segona part es mostren els valors de p de l'anàlisi de variància per determinar l'efecte dels tractaments en la producció del pes sec de cada combinació dels tractaments.

Factor		Biomassa (g test ⁻¹)				(g g ⁻¹)				(g g ⁻¹)	(g g ⁻¹ dia ⁻¹)
		total	fulles	tiges	arrels	LWR	SWR	RWR	R/S	NUEt	RGRt
Adob	Baix	3.02 b*	0.51 b	1.90 b	0.62 b	0.20	0.51	0.29	0.54	39.71a	0.022 b
	Alt	4.16 a	0.79 a	2.33 a	1.03 a	0.20	0.51	0.29	0.52	33.85 b	0.024 a
Competència	A+S+	3.78	0.64	2.37	0.77	0.19 b	0.51 a	0.30 a	0.57	38.71	0.022
	A+ S-	3.55	0.63	1.99	0.93	0.18 b	0.52 a	0.30 a	0.57	35.95	0.024
	A- S+	3.41	0.64	1.97	0.79	0.23 a	0.48 b	0.29 ab	0.51	35.31	0.022
	A- S-	3.67	0.69	2.15	0.82	0.21 ab	0.53 a	0.27 b	0.47	37.21	0.023
Espècie	<i>C. dactylon</i>	4.66 a	0.67	3.48 a	0.52 b	0.14 b	0.75 a	0.11 b	0.13 b	48.67 a	0.019 b
	<i>L. tenuis</i>	2.46 b	0.64	0.66 b	1.16 a	0.26 a	0.25 b	0.48 a	0.96 a	24.03 b	0.027 a
Model		<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Adob		<0.0001	<0.0001	0.0021	<0.0001	ns	ns	ns	ns	0.0276	<0.0001
Competència		ns	ns	ns	ns	0.0091	0.0202	0.0319	ns	ns	ns
Adob x Competència		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	<0.0001	ns
Espècie		<0.0001	ns	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Espècie x Adob		ns	ns	ns	0.0001	0.0020	0.0002	ns	ns	<0.0001	0.0010
Espècie x Competència		0.0015	0.0084	0.0373	0.0003	ns	ns	ns	ns	0.0003	0.0004
Espècie x Adob x Competència		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

* Dins de cada factor, les mitjanes seguides de diferent lletra difereixen significativament pel test de Duncan, p ≤ 0.05.

^{ns} Diferències no significatives per p > 0.05.

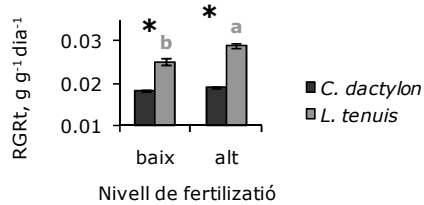


Figura 6.1 Mitjanes de RGR de la biomassa total segons el nivell de fertilització. Les línies verticals representen l'error estàndard. Les lletres diferents indiquen diferències significatives entre tractaments d'adobat per a *L. tenuis*. L'asterisc indica diferències significatives entre les espècies dins el mateix tractament d'adobat pel test de Duncan, $p \leq 0.05$. Mitjanes de $n = 24$ testos.

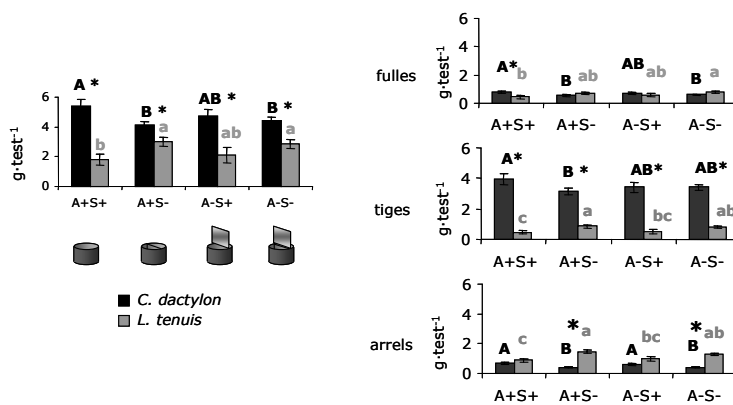


Figura 6.2 Mitjanes del pes sec de la interacció dels tractaments competència i espècie. El total a l'esquerra i per fraccions a la dreta. Una planta de *C. dactylon* respecte a dues de *L. tenuis*. Els tractaments de competència: A+ i A- amb i sense competència aèria respectivament; S+ i S- indiquen l'equivalent per la competència subterrània. (Veure les representacions de la figura de l'esquerra). Les línies verticals representen l'error estàndard. Lletres diferents indiquen diferències significatives entre tractaments pel test de Duncan, $p \leq 0.05$. Les lletres majúscules es refereixen a *C. dactylon* i les minúscules a *L. tenuis*. L'asterisc indica diferències significatives entre les espècies dins del mateix tractament de competència. Mitjanes de $n = 12$ testos.

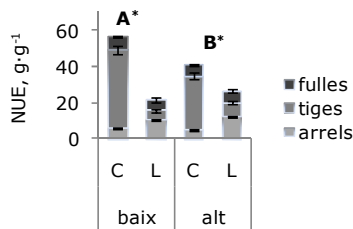


Figura 6.3 Mitjanes de l'eficiència en l'ús dels nutrients NUE de les fraccions de la planta. *C. dactylon* i *L. tenuis* i els nivells de fertilització. Les línies verticals representen l'error estàndard. Referent al NUE total, de les tres fraccions de la planta: les lletres diferents indiquen diferències significatives entre tractaments d'adobat per a *C. dactylon*. L'asterisc indica diferències significatives entre les espècies dins el mateix tractament d'adobat pel test de Duncan, $p \leq 0.05$. Mitjanes de $n = 24$ testos.

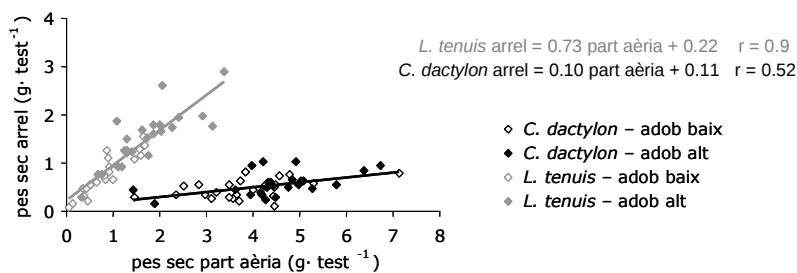


Figura 6.4 Correlació part subterrània - part aèria de les espècies. Es mostren els valors segons la dosi d'adobat, encara que no són diferents significativament, $n = 45$ per *L. tenuis* i *C. dactylon*, $p < 0.01$ en les dues rectes.

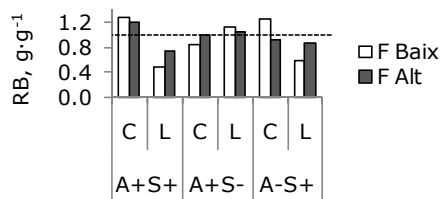


Figura 6.5 Mitjana de la biomassa relativa al tractament sense competència separat per espècies i les dosis de fertilitzant.

6.4.2 Creixement de tiges

C. dactylon va produir 7.5 tiges de mitjana fins a 90 cm, mentre que *L. tenuis*, un màxim de 20 tiges d'uns 20 cm. El fertilitzant va incrementar significativament el nombre de tiges en *L. tenuis*, sense afectar a la competència (Taula 6.3 i Figura 6.6). Al novembre, aquest paràmetre en *C. dactylon* va arribar al màxim a la concentració de 120 kg N ha⁻¹, però en la llegum encara podria ser més alt segons la tendència que mostra (Figura 6.7).

Les tiges creixen exponencialment en longitud amb independència de la dosi de fertilitzant sobretot en *C. dactylon* (Taula 6.3 i Figura 6.8). En la lleguminosa eren més llargues en els tractaments sense competència subterrània (Figura 6.9) i sensibles a la dosi d'adob en competència subterrània (Figura 6.8)

Taula 6.3 Anàlisi de variància de l'evolució del nombre i la longitud de tiges primàries.

Valors de p de l'anàlisi de variància en mesures repetides per determinar l'efecte dels tractaments en funció del temps. n=6 plantes de *C. dactylon* i 12 de *L. tenuis*. Tractaments: adob (alt i baix), competència (A+S+, A+S-, A-S+ y A-S-; veure figura) i espècie (*C. dactylon* i *L. tenuis*). A la dreta, apareixen els tractaments desglossats per cada data. DDT = Dies Després del Trasplantament.

			104 DDT 24 - ag	132 DDT 21 - set	152 DDT 11 - oct	166 DDT 25 - oct	187 DDT 15 - nov	197 DDT 25 - nov	207 DDT 05 - des	221 DDT 19 - des	235 DDT 02 - gen
nombre de tiges primàries	Model	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001					<0.0001
	Temps (T)	<0.0001									
	T x Adob (A)	<0.0001	ns	0.0006	<0.0001	<0.0001					0.0009
	T x Competència (C)	ns	ns	0.0063	ns	ns					ns
	T x A x C	ns	ns	ns	ns	ns					ns
	T x Espècie (E)	<0.0001	<0.0001	0.0047	ns	ns					<0.0001
	T x E x A	<0.0001	ns	ns	0.0005	0.0032					0.0029
	T x E x C	ns	ns	0.0208	ns	ns					ns
	T x E x A x C	ns	ns	ns	0.0266	ns					ns
longitud de tiges primàries	Model	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	Temps (T)	<0.0001									
	T x Adob (A)	ns	0.0116	<0.0001	0.0007	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	T x Competència (C)	ns	0.0205	0.0005	0.0004	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	T x A x C	ns	ns	ns	0.0011	0.0085	0.0094	0.0456	0.0359	ns	ns
	T x Espècie (E)	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	T x E x A	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	T x E x C	ns	ns	0.0003	0.0067	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	T x E x A x C	0.0228	ns	ns	0.0076	0.0091	0.0157	0.0466	0.0356	ns	ns

^{ns} Diferències no significatives per $p > 0.05$.

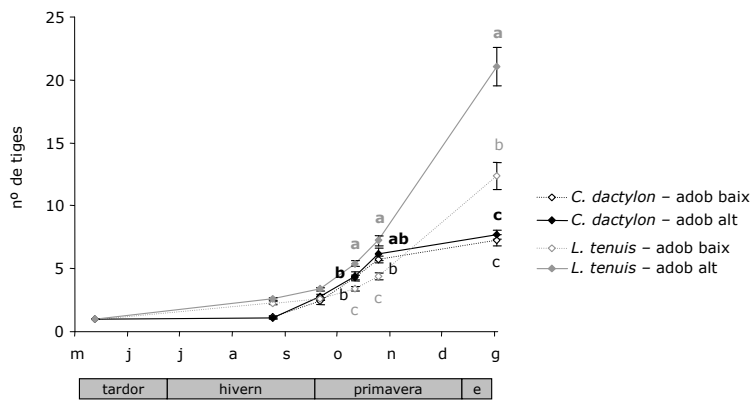


Figura 6.6 Evolució del nombre de tiges primàries, des del coll de l'arrel. Interacció adobat i espècie. Baix i alt són els tractaments d'adobat. Temps expressat en mesos i en gris les estacions de l'any austral. Mitjanes de $n = 6$ per *C. dactylon* i $n=12$ per *L. tenuis*. Les barres verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor. Les lletres diferents indiquen diferències entre tractaments dins el mateix dia segons el test de Duncan, $p \leq 0.05$. En negre les lletres que corresponen a *C. dactylon* i en gris les de *L. tenuis*.

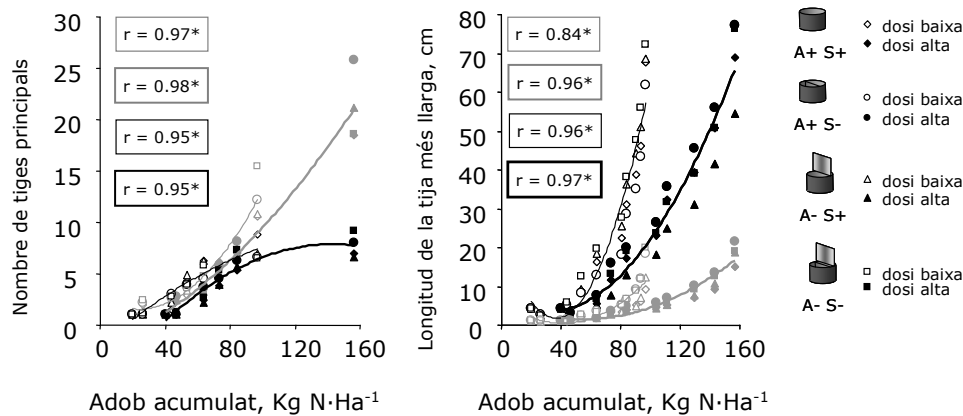


Figura 6.7 Correlacions entre el nombre i la longitud de la tija més llarga relatiu al l'adob acumulat des de maig del 2005 a gener del 2006. En gris *L. tenuis* i en negre *C. dactylon*. El fertilitzant està expressat com a concentració de nitrogen però es tractava de la solució Hoagland ($14 \text{ N} - 5 \text{ P}_2\text{O}_5 - 23 \text{ K}_2\text{O}$). Els asteriscs indiquen que les correlacions de segon grau són estadísticament significatives $n=24$ i 40 pel nombre i la longitud respectivament, $p > 0.01$.

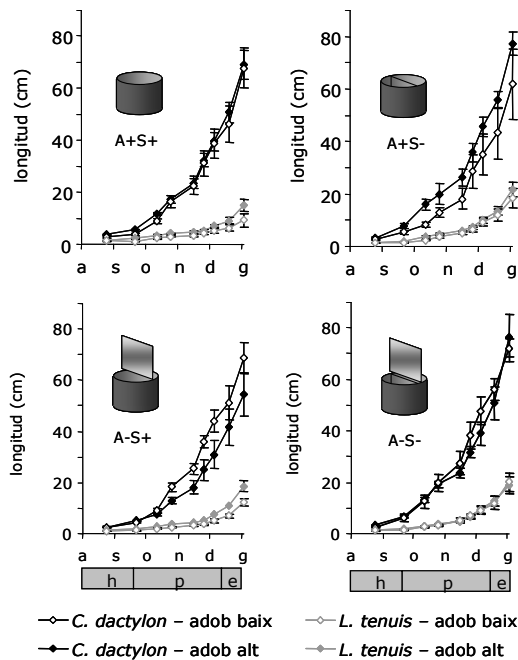


Figura 6.8 Longitud de la tija més llarga per planta, des del coll de l'arrel en el temps. Interacció competència, adob i espècie. Baix i alt són els tractaments d'adob. Els tractaments de competència: A+, A- amb i sense competència aèria respectivament; S+ i S- l'equivalent per a competència subterrània. Temps expressat en mesos i en gris les estacions de l'any austral (Hivern, Primavera i Estiu). Mitjanes de $n = 6$ testos (que representen 6 plantes de *C. dactylon* i 12 de *L. tenuis*). Les barres verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor.

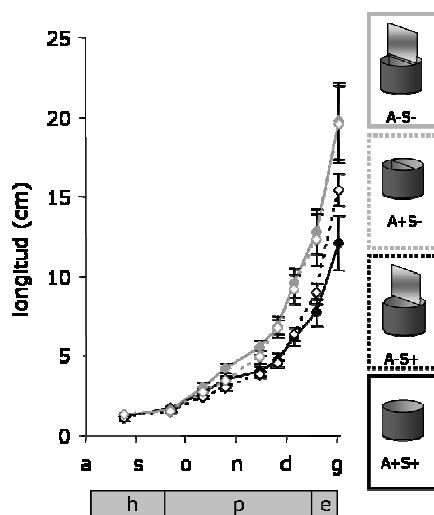


Figura 6.9 Longitud de la tija més llarga per planta de *L. tenuis* en el temps en els tractaments de competència. Els tractaments de competència: A+, A- amb i sense competència aèria respectivament; S+ y S- l'equivalent per la competència subterrània Temps expressat en mesos i en gris les estacions de l'any austral (Hivern, Primavera i Estiu). Mitjanes de $n = 12$ plantes en 6 testos. Les barres verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor.

A finals d'hivern, l'RGRn de *C. dactylon* és més elevat (Taula 6.4 i Figura 6.10). A principis de primavera, es distingeixen significativament els tractaments: *C. dactylon* - adob baix > *C. dactylon* - adob alt = *L. tenuis* - adob alt > *L. tenuis* - adob baix. Després, la taxa s'igualava en les dues espècies. Mentre que en *L. tenuis* es manté, en *C. dactylon* decau gairebé a zero. Les diferències significatives d'octubre en fertilització baixa es poden resumir en què els tractaments de competència subterrània tenen una RGRn més alta. Sobretot en el tractament de competència aèria + subterrània, que va començar a produir noves tiges un mes després. Fins la primavera s'incrementa l'RGRi en les dues espècies i a l'estiu torna a activar-se (Taula 6.4 i Figura 6.11). En d'adob baix l'RGRi augmenta més tard però acaba sent superior. La RGRi en *C. dactylon* és més alta a la primavera, després s'igualava en les dues espècies.

6.4.3 Resistència hidràulica de les arrels

En els testos de perleta, la biomassa no es va diferenciar entre espècies. La mitjana de la part aèria i arrel va ser 3.0 g i 0.4 g respectivament. La longitud específica de les arrels de *C. dactylon* va ser estadísticament superior que en *L. tenuis*, $2088.4 \pm 122.8 \text{ cm g}^{-1}$ i $193.4 \pm 75.4 \text{ cm g}^{-1}$, respectivament. La resistència hidràulica de les arrels va ser estadísticament més baixa en *C. dactylon* que en *L. tenuis* ($p < 0.0001$), $83.12 \cdot 10^3 \pm 11.23 \cdot 10^3 \text{ MPa s cm}^{-2}$ i $830.67 \cdot 10^3 \pm 118.33 \cdot 10^3 \text{ MPa s cm}^{-2}$ respectivament.

Taula 6.4 Anàlisi de variància de l'evolució de l'RGR del nombre i la longitud de tiges primàries.

Valors de p de l'anàlisi de variància en mesures repetides per determinar en l'efecte dels tractaments en funció del temps. n=6 plantes de *C. dactylon* i 12 de *L. tenuis*. Tractaments: adob (alt i baix), competència (A+S+, A+S-, A-S+ y A-S-; veure figura) i espècie (*C. dactylon* i *L. tenuis*). A la dreta, apareixen els tractaments desglossats per la data. DDT = Dies Després del Trasplantament.

			104 DDT 24 - ag	132 DDT 21 - set	152 DDT 11 - oct	166 DDT 25 - oct	187 DDT 15 - nov	197 DDT 25 - nov	207 DDT 05 - des	221 DDT 19 - des	235 DDT 02 - gen
RGR del nombre de tiges primàries	Model	<0.001									
	Temps (T)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	ns					<0.001
	T x Adob (A)	ns	ns	ns	ns	ns					ns
	T x Competència (C)	0.016	ns	ns	ns	ns					ns
	T x A x C	ns	ns	ns	ns	ns					ns
	T x Espècie (E)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	ns					<0.0001
	T x A x E	0.026	ns	ns	0.003	ns					ns
	T x C x E	0.001	ns	0.023	0.014	ns					ns
	T x A x C x E	<0.001	ns	0.016	0.003	ns					ns
RGR de la longitud de tiges primàries	Model	<0.001									
	Temps (T)	<0.001	ns	<0.001	ns	<0.001	ns	<0.001	ns	ns	<0.001
	T x Adob (A)	0.003	ns	0.004	ns	0.006	ns	ns	ns	ns	ns
	T x Competència (C)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	T x A x C	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	T x Espècie (E)	<0.001	ns	<0.001	ns	<0.001	ns	0.001	ns	ns	0.003
	T x E x A	ns	ns	ns	ns	0.017	ns	ns	ns	ns	ns
	T x E x C	0.012	ns	ns	ns	0.002	ns	ns	ns	ns	ns
	T x E x A x C	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

^{ns} Diferències no significatives per $p > 0.05$.

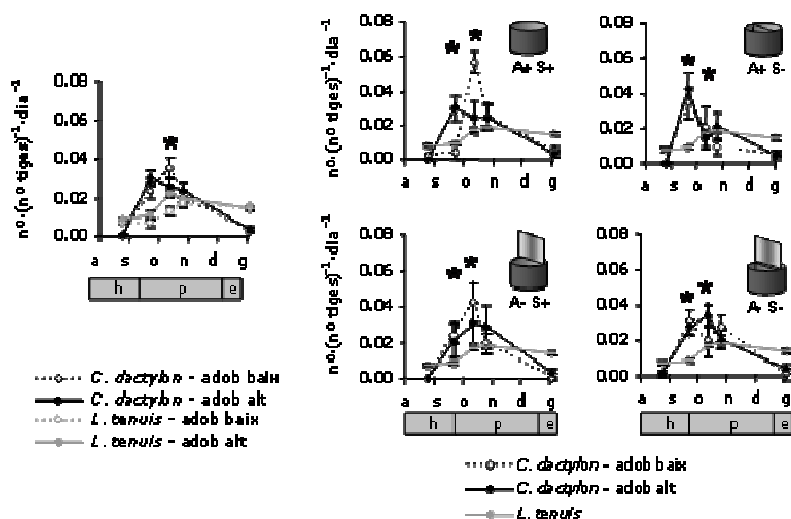


Figura 6.10 Evolució de la taxa de creixement relatiu del nombre de tiges primàries, des del coll de l'arrel. Interacció adob i espècie a l'esquerra, i interacció adob i competència en *C. dactylon* respecte a *L. tenuis* a la dreta. Els tractaments de competència: A+, A- amb i sense competència aèria respectivament; S+ i S- l'equivalent per la competència subterrània. Baix i alt són els tractaments d'adob. Temps expressat en mesos i en gris les estacions de l'any austral (Hivern, Primavera i Estiu). Mitjanes de $n = 24$ per *C. dactylon* i $n = 48$ per *L. tenuis* per la figura de l'esquerra i $n = 6$ i 96 respectivament per les figures de la dreta. Les barres verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor. L'asterisc indica la data en què hi ha diferències significatives entre els tractaments, $p \leq 0.05$.

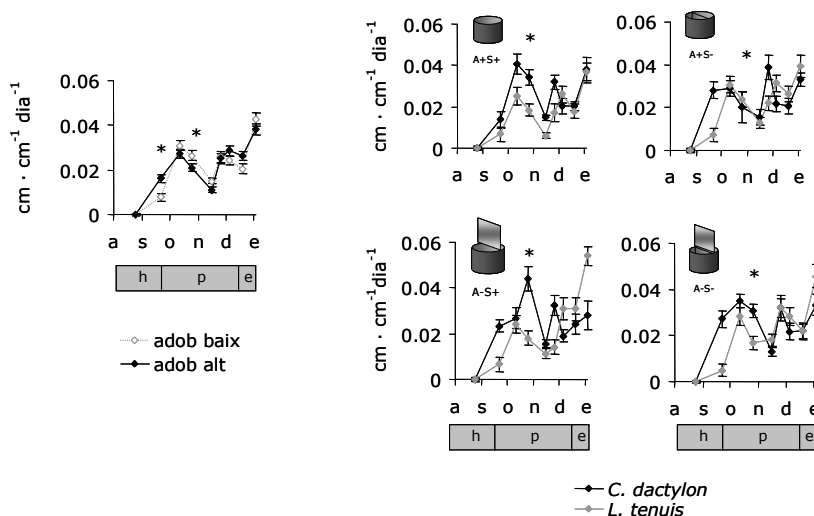


Figura 6.11 Evolució de la taxa de creixement relatiu de la longitud de la tija més llarga per planta segons la interacció adob i espècie, a l'esquerra; i la interacció competència i espècie, a la dreta. Els tractaments de competència: A+, A- amb i sense competència aèria respectivament; S+ y S- l'equivalent per la competència subterrània. Temps expressat en mesos i en gris les estacions de l'any austral (Hivern, Primavera i Estiu). Les barres verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor, $n = 6$ tests. L'asterisc indica les dates en que existeixen diferències significatives entre els tractaments, $p \leq 0.05$.

6.5 DISCUSSIÓ

L. tenuis pot coexistir amb *C. dactylon* però es desenvolupa millor sense ella. A Mujica (1998) i Sevilla et al. (1996), *L. tenuis* és vulnerable a la competència de la vegetació acompanyant pel pobre vigor i el creixement lent de les plàntules. Mentre la part aèria de *C. dactylon* va afectar poc al creixement de *L. tenuis*, la competència subterrània en va reduir la biomassa total. A principis de primavera, les tiges de *C. dactylon* comencen a créixer, però fins a finals de l'estació no s'aprecia un increment considerable en *L. tenuis*. Si les arrels han tingut un comportament semblant en aquest període, *C. dactylon* hauria

colonitzat l'espai, deixant només la resta per *L. tenuis*, tot i la potencialitat per créixer (testos S-), d'acord amb Donald (1958), Casper i Jackson (1997), Kitamura *et al.* (1981), Martin i Field (1987) i Wilson (1988). Una opció complementaria podria ser que substàncies al·lelopàtiques de la gramínia intervinguessin en la competència (Chung i Miller 1995; capítol 7).

L'adob ha afavorit el creixement de tota la planta en les dues espècies. Varis autors tampoc han detectat canvis en el R/S segons la competència pels recursos (Gedroc *et al.* 1996; McConnaughay i Coleman 1999; Muller *et al.* 2000; però veure Shipley i Meziane 2002 i Cahill 2003; Wardle i Peltzer 2003 o Wilson i Tilman 1995). On la plasticitat en l'índex es deuria a canvis ontogenètics més que adaptatius, i que un increment de la plasticitat no es relaciona consistentment amb l'habilitat competitiva (Reynolds i D'Antonino 1996). Aquest índex és similar a *Lotus creticus* i *C. dactylon* creixent en mescla a Vignolio *et al.* (2002). Una altra opció, tenint en compte el R/S molt inferior en l'assaig en perleta i una planta per test en *L. tenuis* es podria explicar pel reconeixement dels individus per les arrels (de Kroon 2007; Dudley i File 2007). I un cert grau de competència entre les dues plantes de *L. tenuis* al test.

La quantitat d'adob ha limitat més el desenvolupament de *L. tenuis* que la gramínia. A Seguin *et al.* (2001), la biomassa d'una lleguminosa, *Trifolium ambiguum* M.B. inoculada amb un bacteri nitrificant responia a l'adob en sòls sorrencs i pobres en nutrients com el substrat de l'assaig. L'èxit de la inoculació depèn de varis paràmetres, com el pH del sòl (Munns i Keyser 1981), la tolerància a la sequera i a les altes temperatures (Graham 1992; Munevar i Wollum II 1981), la disponibilitat de fotosintetitzats (Baraibar *et al.* 1999) o l'estadi fisiològic de la planta (Ribet i Drevon 1996). També podria mancar el temps fins la floració o un segon any a causa d'una nodulació lenta, com en trèvol (Seguin *et al.* 2001). Finalment, fertilitzar amb nitrogen pot impedir o reduir el desenvolupament dels nòduls (Kitamura *et al.* 1981; Streeter 1988). Al no apareixer pràcticament nòduls en cap dels tractaments no podem justificar que els al·leloquímics alliberats pels residus vegetals de *C. dactylon* redueixin la nodulació i el creixement d'una lleguminosa a diferència d'altres treballs. Per exemple, el nombre de nòduls de *Lotus corniculatus* disminueix amb la presència de la gramínia *Holcus lanatus* (Wurst i van Beersum 2009) i la llegum necessita el simbiont per coexistir amb altres plantes (van der Heijden *et al.* 2006). La disminució del creixement i de la nodulació de *Glicine max* i *Phaseolus vulgaris* en presència d'*Agropyron repens* es va atribuir a l'al·lelopatia a Weston i Putnam (1985).

El poc creixement als tres primers mesos es deuen a la sembra a la tardor i segurament també a la baixa fertilització. Aquest és el segon període de germinació de *L. tenuis*, després del de primavera (Sevilla *et al.* 1996). Tot i l'hivernacle, les temperatures eren insuficients per *C. dactylon*, planta C₄ que necessita 10 °C de mínima per sortir de la dormició, principis de primavera (Beard 1973; Green *et al.* 2004). D'altra banda, van sobreviure amb pocs recursos, com en altres assajos (Belesky 1999; Brown 1985; Denton *et al.* 2006; Montes 1988; Stoffella *et al.* 1998; Yuan *et al.* 2006). Les reserves dels esqueixos de *C. dactylon* i la capacitat d'absorció d'aigua i nutrients més elevada des de l'inici, podria haver contribuït a un millor establiment a l'hivern, per créixer a principis de primavera (Satorre *et al.* 1996; Unruh *et al.* 1996). A Fernández (2003), estolons plantats a mitjans d'aquesta estació mesuraven 19.3 ± 1.96 cm un mes després. En l'assaig, plantades la tardor, la majoria van assolir aquesta longitud a la primavera.

Nombre de tiges de *L. tenuis* semblants el trobem a Kade *et al.* (2003). A Stoffella *et al.* (1998), diferents genotips i poblacions aconseguien entre 20 i 40 ramificacions a finals de primavera, als tres mesos de plantar-les. I entre 20 i 50 cm de longitud segons els tractaments. La longitud inferior és equivalent a l'assaig a la mateixa època i en *Lotus creticus* a principis de primavera a Vignolio *et al.* (2002b).

C. dactylon disminueix la biomassa aèria i la producció de cultius de port més alt, com el blat de moro (Fernández *et al.* 2002). Davant la competència per la llum, incrementava la al·locació a part aèria i

extreia més nitrogen del sòl, accelerant la senescència del cultiu. Una competència subterrània més important en competència aèria indicaria una interacció positiva dels dos tipus de competència (Cahill 1999). Que la competència aèria no hagi mostrat uns efectes remarcables podria ser per les diferències en l'arquitectura de la part aèria. Mentre *C. dactylon* presenta poques tiges i estoloníferes, *L. tenuis* desenvolupa una roseta basal de tiges més curtes, que poden ser postrades o erectes depenent de la competència per la llum (Beuselinck *et al.* 1986). El nombre i la longitud de les tiges de les dues espècies poden variar en resposta a les condicions ambientals en el període de creixement (Kade *et al.* 2003; Stoffella *et al.* 1998; Vignolio *et al.* 2002).

Un altre motiu que la competència aèria sigui menys important pot ser pels testos dividits. L'envà transparent evita ombres dures que rarament es troben al camp. Però si l'altra planta s'hi recolza, la qualitat de llum és semblant a la situació de competència, disminueix l'índex roig/roig llunyà (McPhee i Aarsen 1991). També, colonitzar el substrat i extreure'n els recursos és relativament senzill en un test (McPhee i Aarsen 1991). A camp, *C. dactylon* concentra les arrels als primers 25 cm de sòl (Hays *et al.* 1991; Huang *et al.* 1997b; Fernández *et al.* 2002; Vignolio *et al.* 2005; i capítols 3 i 4). En canvi, *L. tenuis* pot aprofundir més (Denton *et al.* 2006; Schenk 2006). Juntament amb les diferències en la RH i l'SRL, es produiria competència baixa o complementarietat (Gross *et al.* 2007), semblant a Vignolio *et al.* (2005).

Per afavorir que *L. tenuis* s'inatal·li i desenvolupi recomanem reduir o controlar el nombre de propàguls de *C. dactylon* (Fernández 2003). Per exemple mitjançant herbicides o reguladors de creixement (Bedmar 1997; Fagerness *et al.* 2002; Rios 1999; Whitwell i Santelman 1978). L'adob ha estat més limitant per *L. tenuis* i tenint en compte que la competència és més agressiva al sòl, es podria fertilitzar durant l'establiment de la lleguminosa.

6.6 CONCLUSIONS

- *L. tenuis* pot coexistir amb *C. dactylon* però es desenvolupa millor sense ella, ja que es detecta competència "per interferència". La gramínia presenta una més alta SRL, més baixa RH, ocupa l'espai subterrani del test i n'extreu els recursos. Però, a camp la competència radicular seria menys intensa, perquè les arrels de *L. tenuis* poden profunditzar més.
- *L. tenuis* desenvolupa menys arrels en contacte amb *C. dactylon*, fa pensar que l'al·lelopatia podria intervenir en el procés de competència.
- S'ha detectat interacció positiva entre la competència subterrània i aèria. Els efectes de la competència subterrània són més importants en condicions de competència aèria.
- Els resultats ofereixen diferents estratègies per mantenir aquestes comunitats a un bon nivell de funcionament, almenys en el període estudiat d'establiment: reduir i/o controlar el nombre de propàguls de *C. dactylon*; i potenciar l'adob nitrogenat, almenys en l'època d'establiment de *L. tenuis*, quan els nòduls nitrificants encara no són funcionals.
- Davant de *C. dactylon* establert, es recomanaria una sega baixa del prat i sembrar *L. tenuis* a la tardor. El reduït creixement de la gramínia *C₄* per les baixes temperatures, afavoriria l'establiment de *L. tenuis* i una alçada de planta durant el creixement de *C. dactylon* a principis d'estiu.

Efectes al·lelopàtics d'extractes de *C. dactylon* sobre la germinació i el creixement de plàntules de *L. tenuis* i *L. corniculatus*

RESUM

S'han trobat substàncies al·lelopàtiques a la part aèria, a excrecions d'arrels o a restes en descomposició de *Cynodon* spp. però els efectes depenen de l'espècie a la que influeix. D'altra banda, *Lotus* spp. és sensible als efectes al·lelopàtics d'altres plantes. Davant dels resultats de l'assaig de la competència entre *L. tenuis* i *C. dactylon* del capítol anterior es buscava l'explicació a l'establiment inferior de *L. tenuis*. En aquest capítol s'estudia quina fracció de la planta de *C. dactylon* pot causar aquest efecte a nivell de germinació de llavors de *L. tenuis* i *Lotus corniculatus* amb diferents extractes de *C. dactylon*. Les llavors de *L. tenuis* i *L. corniculatus* han germinat entre el 30 i el 100% en extractes: entre 4 - 9 unitats de pH, 0 - 3 dS m⁻¹ de CE i 0.1 - 0.5 MPa de potencial osmòtic. Els extractes de fulles seques, germinats i la presència de llavors de *C. dactylon* en el medi de cultiu no han afectat a la germinació en les concentracions provades. Determinats extractes de *C. dactylon* han estimulat el desenvolupament de les plàntules. I, les llavors de *C. dactylon* han disminuït el creixement de la part aèria de plàntules de *L. corniculatus*.

7.1 INTRODUCCIÓ

Les plantes interactuen amb altres plantes, microorganismes o animals mitjançant la transmissió, la recepció i la resposta a substàncies químiques i altres signes en l'ambient, independentment dels recursos (Inderjit i Callaway 2003). Les plantes reaccionen de manera diferent a substàncies químiques que provenen de determinats veïns, la identitat dels quals pot tenir efectes substancials en la coexistència de les espècies i per tant, en la composició de la comunitat (Inderjit i Callaway 2003). Entendre els mecanismes de la interferència al·lelopàtica en les comunitats, pot desenvolupar noves estratègies, segures mediambientalment per revegetacions i cultius sostenibles (Olofsson *et al.* 2002).

El terme al·lelopatia el va inventar Hans Molisch al 1937 per referir-se a les interaccions bioquímiques entre tot tipus de plantes, inclosos els microorganismes (Rice 1984, 1995). Actualment es defineix com, els efectes directes o indirectes que poden tenir substàncies químiques produïdes per les plantes, que al ser alliberades al medi, afecten el creixement o la reproducció d'altres, però no per l'espècie que les produeix (Begon *et al.* 2006; Rice 1984). Per distingir-ho de l'autoal·lelopatia o autotoxicitat. Determinats metabòlits secundaris inhibeixen el creixement i són majoritàriament àcids orgànics com l'àcid hidroxàmic, flavonoides o compostos fenòlics. Es poden trobar a llavors, al pol·len, en forma volàtil produïts en diferents fraccions de la planta: a la biomassa aèria, en els productes de degradació de la planta morta, excrecions radiculars, en productes de la descomposició de la matèria orgànica, etc. O per exemple a les fulles bassals de les gramínies, de composició química diferent per la translocació (Sánchez - Moreiras 2003).

Nombroses espècies de la família Poaceae, cultivades i silvestres, presenten substàncies al·lelopàtiques (Sánchez - Moreiras 2003, Weiss *et al.* 2004). Se n'han trobat a la part aèria, a excrecions d'arrels o a restes en descomposició de *Cynodon* spp. I afecten la germinació, el nombre i l'àrea total de fulles per planta, el contingut total de clorofil·la de les fulles i l'activitat nitrata reductasa depenent de les espècies (Kalita 1999). En concret són àcids fenòlics: cafeic, clorogènic, cinnàmic, p-cumàric i felúric (Chung i Miller 1995b; Smith *et al.* 2001; Velu i Rajagopal 1996).

Però *Cynodon* spp. no és de les plantes més agressives en la inhibició al·lelopàtica, depèn de l'espècie a la que influeix. A Vasilakoglou *et al.* (2005), la gramínia *Sorghum halepense* inhibia més que *Cynodon* spp., la germinació, el pes fresc i la longitud de les arrels de plantes de cotó (*Gossypium hirsutum*) i les

gramínies *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. i *Setaria verticillata* (L.) P. Beauv. I aquestes espècies eren més sensibles que el blat de moro. A Smith *et al.* (2001), substàncies al·lelopàtiques de *Cynodon* spp. disminueixen el creixement de plàntules de *Carya illinoensis* i altres espècies. A Abdul - Rahman i Al-Naib (1986) i Abdul - Rahman i Habib (1986), extractes d'excrecions d'arrel de *C. dactylon* inhibeixen el creixement i/o germinació del cotó i l'alfals. A Kalita *et al.* (1999), restes de descomposició de *C. dactylon* redueixen el nombre i l'àrea total de fulles per planta, el contingut total de clorofil·la de les fulles i l'activitat nitrata reductasa en plantes d'arròs. Finalment a Challa (1998), extractes i excrecions de fulles i arrels de *C. dactylon* i *Echinochloa colonum* L. inhibeixen la germinació i el creixement de la part aèria i les arrels de ceba i raves.

D'altra banda, *Lotus* spp. és sensible als efectes al·lelopàtics d'altres plantes. A Peters al 1968 i Lu *et al.* (1982) els extractes aquosos de *Festuca arundinacea* poden afectar negativament la germinació i el creixement de *Lotus corniculatus*. Mentre que a Chung i Miller (1995b) els extractes aquosos de gramínies *Festuca arundinacea*, *Bromus inermis*, *Sorghum bicolor*, *Dactylis glomerata*, *Phleum pratense* i *Agrostis alba* inhibien en cert grau la germinació i el creixement de les plàntules de la lleguminosa, *Medicago sativa*.

Els típics assajos de camp no poden separar els efectes de competència dels de l'al·lelopatia, ja que es produeixen simultàniament. Però en medis artificials, es pot arribar a assegurar que no hi ha possibilitat de competència, permetent que es produeixi l'intercanvi de substàncies químiques (Inderjit i Callaway 2003). Davant dels resultats de l'assaig de competència entre *L. tenuis* i *C. dactylon* (capítol anterior) i dels indicis a la bibliografia, es va continuar estudiant aquesta relació a nivell de germinació de *L. tenuis* i *Lotus corniculatus* amb diferents extractes de *C. dactylon*.

L. corniculatus L. és una lleguminosa perenne originària d'Europa (Clapham *et al.* 1987). La trobem en un ampli rang d'hàbitats com: marges de carreteres i zones rocoses, prats, en revegetacions i també es cultiva com a farratgera (Jones i Turkington 1986; Vandevender i Sencindiver 1982; Wolf *et al.* 1990). Tolerà la sequera i pot viure en sòls pobres en nutrients (Hill 1990; Hoveland 1989). De la mateixa manera que *L. tenuis*, les llavors persisteixen al banc de llavors del sòl i germinen després d'un període d'escarificació per fred (Grime *et al.* 1988; Van Assche *et al.* 2003).

7.2 OBJECTIUS

Determinar el potencial al·lelopàtic de la gramínia *Cynodon dactylon* sobre les lleguminoses *Lotus corniculatus* i *Lotus tenuis* en condicions de laboratori. En cas afirmatiu, determinar la fracció de *C. dactylon* que presenta efectes al·lelopàtics o la més eficaç. Finalment poder recomanar certes estratègies per afavorir *Lotus corniculatus* i/o *Lotus tenuis* en un prat en coexistència amb *C. dactylon*.

7.3 MATERIAL I MÈTODES

7.3.1 Plantejament experimental

Es van realitzar extractes de diferents fraccions de *C. dactylon* per estudiar-ne els efectes sobre la germinació de *L. tenuis* i *L. corniculatus*: llavors, germinats, arrels, estolons i fulles verdes i seques però encara unides a la tija.

Es van aplicar dues metodologies de preparació dels extractes: mostres assecades i triturades respecte mostres fresques i trossejades. Finalment es van realitzar tres concentracions d'aquests extractes: control (aigua bidestil·lada), una concentració mitjana entre 4 i 5 % i una alta de 7 a 11%. Els percentatges són en p/v, és a dir, g de fracció de *C. dactylon* per 100 ml d'aigua bidestil·lada.

En resum, els tractaments van ser: 2 espècies de *Lotus* x 5 fraccions de la planta de *C. dactylon* x 2 preparacions x 3 concentracions x 4 repeticions. No es van realitzar tots els extractes possibles,

combinant els quatre factors. Perquè es va considerar que algunes condicions es trobaven difícilment a la natura com ara les fulles seques hidratades o les llavors i els germinats secs. Algunes concentracions no les van poder realitzar per limitacions de temps i recursos.

7.3.2 Elaboració dels extractes

Al novembre de 2005 abans de l'aturada hivernal, es van recol·lectar mostres de *C. dactylon*, de les parcel·les experimentals de l'IRTA de Cabriels (Barcelona, Espanya; 41° 25' N, 2° 23' E). Al laboratori, es va separar la biomassa en les fraccions esmentades. Es van rentar amb aigua de xarxa i posteriorment destil·lada i bidestil·lada. A continuació, s'eixugaven amb paper de cel·lulosa (Vasilakoglou *et al.* 2005).

Pel tractament que anomenem "assecat", les mostres es van deixar assecar en condicions ambientals, a temperatura de laboratori una setmana ($25 \pm 4^\circ\text{C}$) i amb un molinet s'obtenia una de mida de gra mitjana de 0.5 mm. *Moulinex DJ 2000 Illico* (Chung i Miller 1995a; Inderjit i Keating 1999; Vasilakoglou *et al.* 2005). Pel procediment "fresc" es van trossejar les fulles, els estolons i les arrels en fragments de 2 cm i es rentaven amb aigua bidestil·lada després de la manipulació (Vasilakoglou *et al.* 2005).

Per obtenir els extractes de germinats de *C. dactylon*, es van sembrar llavors en safates en perleta, i es van mantenir en un hivernacle amb reg per aspersió, fins a una longitud d'1 cm de part aèria i d'arrel. En aquest punt es van rentar amb l'ajuda d'un sedàs i aigua, i es va seguir el procediment de l'extracte fresc. Per l'extracte de llavors de *C. dactylon*, simplement es van pesar i es va procedir com en els extractes frescos, que es descriu a continuació.

Les mostres se submergien en aigua bidestil·lada, en la quantitat per obtenir l'extracte a la concentració desitjada. En les "fresques", la biomassa fresca que corresponia al pes sec, per obtenir concentracions equivalents a les mostres seques (Taula 7.1). Les solucions es col·locaven en un agitador magnètic, 1 hora a 200 rpm i es deixaven reposar 12h a 4°C i fosc. Seguidament es filtraven per gravetat, amb paper de filtre (Filter-Lab®, Barcelona, PL 1320200 de 160 g/m^2 de densitat) (Chung i Miller 1995a; Vasilakoglou *et al.* 2005). El filtrat se centrifugava a 3000 rpm, 1 hora. En una càmera de flux laminar s'esterilitzava el sobrenedant passant-lo per filtre de membrana de $0.22\mu\text{m}$ de porus (*Milllex - GS*, *Millipore*, Irlanda) amb l'ajuda d'una xeringa (Chung i Miller 1995a; Springer 1996). Fins a la utilització, els extractes es mantenien a 4°C i fosc.

Taula 7.1 Característiques dels extractes de *C. dactylon* utilitzats. La concentració s'expressa en percentatge (p/v) en g de pes sec / ml, el pH, la CE o conductivitat elèctrica i el Ψ_o o potencial osmòtic.

fracció	processat	concentració	pH	CE (dSm^{-1})	Ψ_o (MPa)
Control	aigua	0.0 %	7.85	0.05	0.03
Fulles verdes	fresc	0.2 %	7.81	0.13	0.03
		4.4 %	7.51	0.64	0.05
		10.9 %	7.13	1.34	0.03
	assecat	4.0 %	8.85	3.30	-0.44
		10.0 %	5.91	5.76	-0.33
Fulles seques	assecat	10.0 %	5.92	3.34	-0.28
estolons	fresc	4.6 %	7.47	0.45	0.02
		7.2 %	5.52	1.95	0.02
	assecat	10.0 %	5.33	2.81	-0.15
arrels	fresc	2.3 %	7.45	0.23	0.03
		11.0 %	6.90	0.55	0.05
	assecat	10.0 %	5.65	2.09	-0.01
llavors	fresc	9.1 %	6.93	1.27	0.01
germinats	fresc	4.0 %	8.50	0.65	0.01
		7.1 %	7.07	1.48	0.04

El pH, la conductivitat elèctrica (CE) i el potencial osmòtic dels extractes es va mesurar amb el pHmetre, *Lab pH-meter basic 20+ Crison*, Barcelona; Conductímetre, *Crison GLP 31*, Barcelona i l'Osmòmetre,

Vapor Pressure Osmometer Vapro Wescor 5520, Utah, EUA. Només l'extracte de fulles verdes i deixades assecar a l'aire, a la concentració del 4% va mostrar un pH proper a 9 (Taula 1). Per la resta, a més concentració d'extracte, més àcid era el pH. La CE augmentava amb l'increment de la concentració dels extractes, sent propera a zero en el control. El potencial osmòtic va ser proper a zero en el control i en els extractes de mostres fresques. En canvi, en els de mostres deixades assecar, va assolir valors negatius, més inferiors com més concentrats.

A més, un tractament sense extracte "C+", on se sembrava directament llavors de *C. dactylon*, de manera que cada llavor de *Lotus* spp es rodejava de 4 de *C. dactylon* (San Emetrio *et al.* 2004).

7.3.3 Sembrar de llavors de *Lotus*

Les llavors de *L. corniculatus* es van obtenir comercialment i les de *L. tenuis* es recolliren a les pastures d'Ayacucho (província de Buenos Aires, Argentina) a l'estiu austral del 2005. Les llavors es van extreure de les beines amb l'ajuda d'un sedàs de 2 mm de llum i es van descartar no viables: per predació, fongs, etc. Finalment es van escarificar, ja que les de lleguminoses presenten dormició física deguda a una cutícula impermeable (Mujica i Rumi 1993). Les llavors de *L. tenuis* es consideren dures, sense escarificar el percentatge de germinació és proper al 4 %. Mentre que escarificades s'acosten al 42 %. *L. corniculatus* però no presenta aquesta coberta i el percentatge és del 56 % (Hurt i Nelson 1985).

S'esterilitzaven les llavors amb hipoclorit sòdic al 2% durant 5 minuts i després es rentaven; primer amb aigua de xarxa durant 5 minuts i finalment amb aigua destil·lada (Chung i Miller 1995a). Se sembraven 50 llavors per placa de petri de 9 cm de diàmetre sobre dos papers de filtre, estèrils i s'aplicaven 4 ml d'aigua bidestil·lada o de l'extracte corresponent (Vasilakoglou *et al.* 2005). En una prova amb 25 llavors per placa, en lloc de 50, no es va diferenciar estadísticament en la germinació ni en el creixement de les plàntules. Les plaques se segellaven amb Parafilm®, per minimitzar la contaminació i mantenir la hidratació i es disposaven en una cambra de cultiu 14 dies (a 25 °C, 8 h de fosc i 16 h de llum, intensitat de llum 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (ISTA *International Seed Testing Association* 1999; López *et al.* 1997).

7.3.4 Percentatge de germinació i mesures a les plàntules

Cada dos dies es calculava el percentatge de germinació per placa. Llavors, amb 2 mm de radícula (ISTA 1999). Les no hidratades es descartaven del percentatge per treure l'efecte de l'escarificació. Es va calcular el percentatge de plàntules del total de llavors germinades per placa, i la biomassa en pes fresc i en pes sec (48h a 60°C) de deu plàntules per placa. També la longitud de les plàntules, la part aèria, des de la inserció de la llavor fins al borró de creixement; i l'arrel, a partir del coll de l'arrel.

Les plàntules arribaven a tocar la tapa de la placa, d'1 cm d'alçada. En una prova amb *L. corniculatus* en caixes de 7 cm d'alçada, $n = 4$, no es van detectar diferències significatives en el percentatge de germinació ($55.9 \pm 3.0 \%$) ni en la longitud (10.4 ± 0.8 mm de part aèria i 21.0 ± 2.18 mm d'arrel).

7.3.5 Anàlisi estadística

L'efecte de la fracció de la planta de *C. dactylon*, el mètode d'extracció i la concentració dels extractes sobre el percentatge de germinació i de plàntules, la biomassa i la longitud es va estudiar mitjançant l'anàlisi de la variància (ANOVA) amb el programa *SAS System for Windows* (versió 9.0 SAS Institute Inc. Cary, USA). Quan hi havia diferències entre els factors, nivell de significació $\alpha = 0.05$, es realitzaven les proves de comparació múltiple o proves *a posteriori*: el test de Duncan i per les interaccions, la separació de mitjanes *LS Means*.

Els percentatges es transformaven com a arc sinus de l'arrel quadrada del tant per u, per l'anàlisi estadística (Steel *et al.* 1997), però es mostren les dades sense transformar per a una millor interpretació dels resultats.

7.4 RESULTATS

7.4.1 Percentatge de germinació de *L. tenuis* i *L. corniculatus*

La majoria de llavors germinaven entre el 4rt i el 8è dia després de la sembra però es van mantenir les plaques fins al 14è dia (ISTA 1999). El percentatge de germinació va ser significativament superior en *L. tenuis* que en *L. corniculatus* (Taula 7.2).

Taula 7.2 Anàlisi de variància del percentatge de germinació, nombre, biomassa i longitud de plàntules.

A la part superior de la taula es mostren les mitjanes per placa de cada combinació dels tractaments. Tractaments: Espècie (E), *L. corniculatus* i *L. tenuis*; Mostra (M), extracte de mostres deixades assecar a l'aire 'seca', i sense deixar assecar 'fresca'; Fracció (F), fulles verdes, fulles seques, estolons, arrels, llavors, germinats, mescla de llavors de *Lotus* i *Cynodon* (Lo + Cy), i el control o aigua; Concentració (C), control o aigua, baixa, mitja, alta i presència de llavors de Cy (Lo + Cy).

El percentatge de germinació, el pes fresc i sec, n = 4 plaques. La longitud de les plàntules, n = 40, 10 de cada placa. A la part inferior de la taula apareixen els valors de p de l'anàlisi de variància per determinar l'efecte dels tractaments.

		Germinació, %	% plàntules / llavors germinades	pes plàntula, mg		longitud plàntula, mm	
				fresc	sec	part aèria	arrel
E	<i>L. corniculatus</i>	55.7 b*	94.8	11.3 a	1.1 a	11.4 a	18.8 a
	<i>L. glaber</i>	70.3 a	96.2	8.5 b	0.9 b	9.5 b	16.9 b
M	fresca	65.2 a	96.4 a	10.8 a	1.1	9.9 b	19.4
	seca	53.3 b	92.9 b	8.7 b	0.9	12.5 a	15.4
F	aigua	67.4 ab	94.6 ab	10.4 a	1.1	11.3 bc	20.9 b
	fulles verdes	45.2 c	94.8 ab	10.7 a	1.0	9.9 de	8.5 cd
	fulles seques	66.9 ab	94.2 ab	7.7 b	0.9	10.7 bcd	7.4 d
	estolons	54.4 c	92.9 b	9.1 ab	1.1	7.7 f	11.3 c
	arrels	58.8 b	96.2 ab	11.5 a	1.0	11.7 b	21.1 b
	llavors	72.0 ab	90.3 b	10.7 a	1.3	11.5 bc	22.2 b
	germinats	63.7 ab	100.0 a	9.2 a	1.2	13.2 a	28.9 a
	Lo + Cy	77.3 a	97.5 ab	10.9 a	1.3	10.4 e	21.1 b
C	control	67.3 ab	94.3 a	10.6 ab	1.1	11.4 ab	21.0 b
	baixa	60.7 bc	85.5 b	10.6 ab	1.3	11.6 ab	25.8 a
	mitja	61.6 bc	95.5 a	12.1 a	1.1	12.6 a	18.9 b
	alta	52.6 c	96.4 a	10.0 ab	1.0	9.8 c	13.3 c
	Lo + Cy	78.0 a	98.1 a	9.5 ab	1.1	8.3 d	22.3 b
Model		< 0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0002	< 0.0001	< 0.0001
Espècie (E)		< 0.0001	ns	<0.0001	<0.0001	< 0.0001	0.0002
Mostra (M)		< 0.0001	<0.0001	0.0010	ns	< 0.0001	ns
Fracció (F)		< 0.0001	0.0008	0.0138	ns	< 0.0001	< 0.0001
Concentració (C)		0.0007	<0.0001	0.0383	ns	< 0.0001	< 0.0001
M*F		0.0054	0.0002	ns	ns	< 0.0001	< 0.0001
M*F*C		< 0.0001	ns	0.003	ns	< 0.0001	< 0.0001
E*M*F*C		< 0.0001	0.0004	0.0007	ns	< 0.0001	< 0.0001

*Dins de cada factor, les mesures seguides de diferent lletra difereixen significativament p ≤ 0.05 pel test de Duncan.

^{ns} Diferències no significatives per p > 0.05.

Amb els extractes de fulles verdes i d'estolons frescos, la germinació de *L. tenuis* ha disminuït significativament. Però en *L. corniculatus* no s'han detectat diferències significatives respecte al control.

Els extractes de fulles verdes assecades i a concentració alta han inhibït la germinació en les dues espècies de lotus. La germinació ha arribat només al 30% en *L. tenuis* a l'extracte d'estolons assecats, mentre que en l'extracte d'arrels assecades ha disminuït un 20%. Les úniques diferències en la germinació amb extracte de germinats i la presència de llavors de *C. dactylon* són entre espècies de *Lotus* spp (Figura 7.1). L'extracte de fulles seques de *C. dactylon* a concentració alta amb *L. corniculatus* no s'ha diferenciat del control.

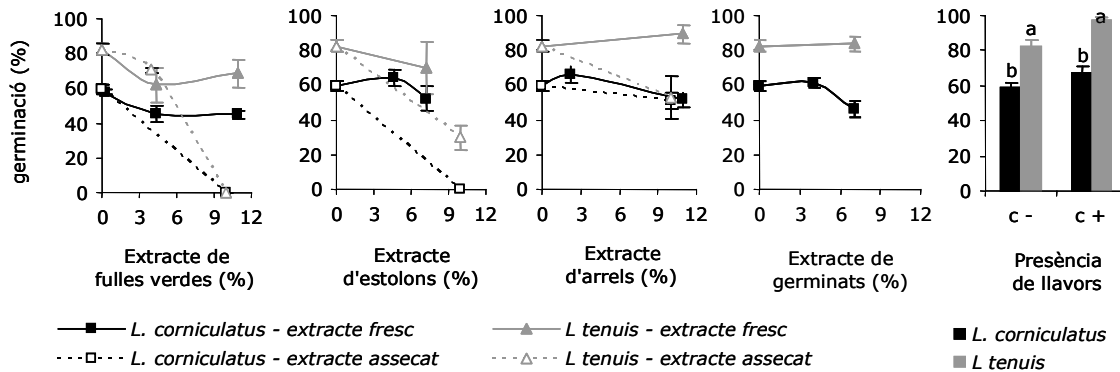


Figura 7.1 Efecte de la germinació de *Lotus corniculatus* i *Lotus tenuis* en funció d'extractes de fraccions de *C. dactylon* frescos o assecats i la presència o no de llavors de *C. dactylon*. n = 4. Les barres verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor. c+ i c- indiquen presència o no de llavors de *C. dactylon*. Lletres diferents indiquen diferències significatives pel test de Duncan, $p \leq 0.05$.

Amb l'augment de la concentració dels extractes, disminueix el pH, augmenta la CE i disminueix la germinació (Figura 7.2). *L. tenuis* presenta significativament un percentatge de germinació més alta que *L. corniculatus*. Els punts sense germinació pertanyen als extractes de fulles verdes i d'estolons secs. El potencial osmòtic ha estat majoritàriament proper a zero però els valors més baixos no coincideixen amb la germinació més baixa.

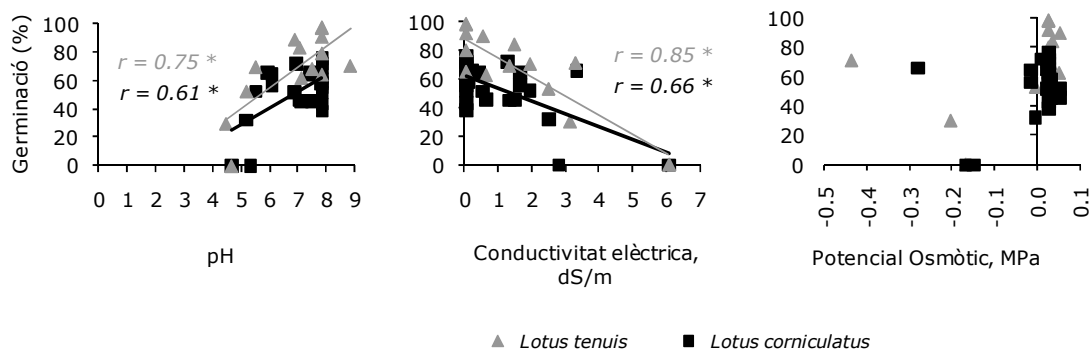


Figura 7.2 Correlació del percentatge de germinació de *L. glaber* i *L. corniculatus* en funció del pH, la CE i el potencial osmòtic dels extractes de *C. dactylon*. Els asteriscs indiquen correlacions significatives, $p \leq 0.05$.

7.4.2 Percentatge de plàntules respecte a les llavors germinades

El percentatge de plàntules respecte a les llavors germinades per placa no va variar per espècie i gairebé totes les llavors que germinaven, arribaven a l'estadi de plàntula en els 14 dies (Figura 7.3). Només una placa de *L. corniculatus* va germinar en extractes de fulles verdes assecades (Figura 7.1). I en l'extracte d'estolons secs tan sols el 50% els germinats de *L. tenuis* van arribar a plàntula.

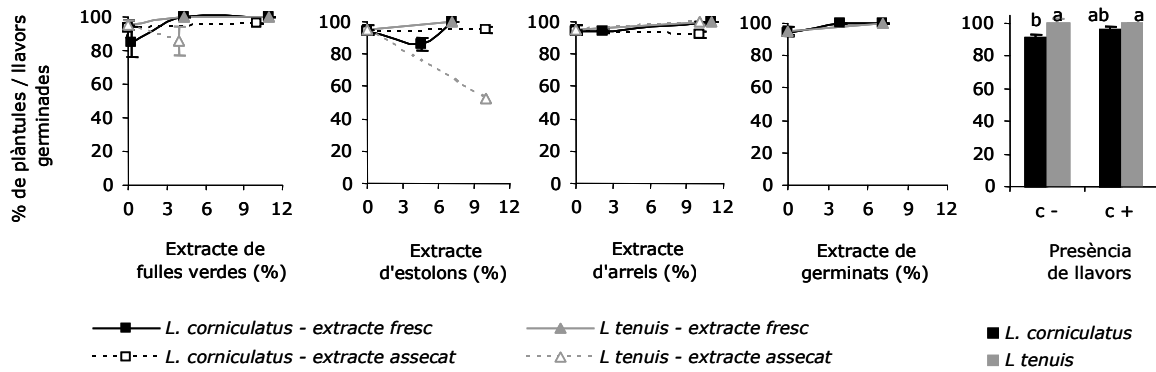


Figura 7.3 Efecte del percentatge de plàntules a partir de les llavors germinades de *L. corniculatus* i *L. tenuis* en funció d'extractes de fraccions de *C. dactylon* frescos o assecats i la presència o no de llavors de *C. dactylon*. $n = 40$. Les barres verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor. c+ i c- indiquen presència o no de llavors de *C. dactylon*. Lletres diferents indiquen diferències significatives pel test de Duncan, $p \leq 0.05$.

7.4.3 Creixement de les plàntules

L. corniculatus s'ha mostrat més sensible a la germinació davant dels extractes de *C. dactylon* que *L. tenuis*, però el creixement de les plàntules ha sigut superior en els 14 dies de l'assaig. Les plàntules de *L. corniculatus* tenien significativament més biomassa. Els extractes de fulles verdes, d'estolons i d'arrels van condicionar significativament la biomassa fresca de les plàntules (Figura 7.4). En el de fulles verdes va estimular un 30% el creixement a la concentració mitjana. Mentre que el d'arrels, la biomassa va arribar a ser gairebé el doble que el control. La biomassa de *L. corniculatus* ha disminuït significativament a l'augmentar la concentració dels extractes d'estolons i de fulles seques, i també per la presència de llavors de *C. dactylon*.

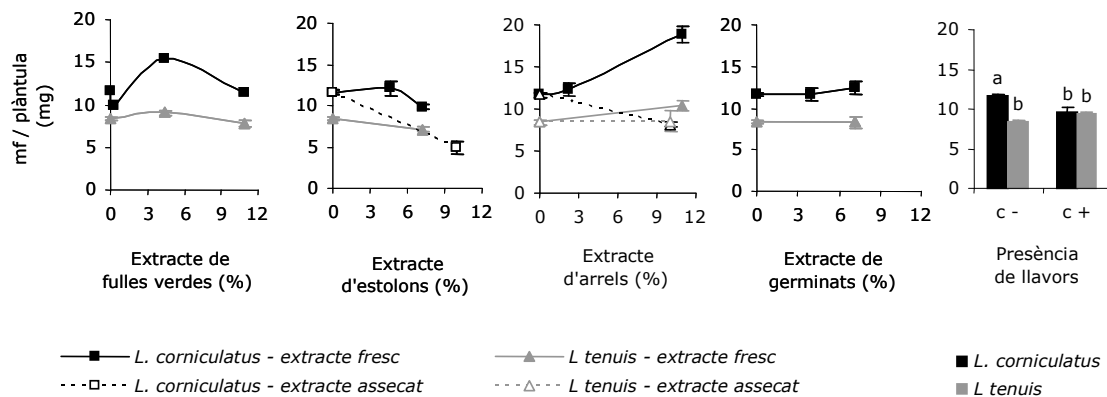


Figura 7.4 Biomassa fresca de les plàntules de *L. corniculatus* i *L. tenuis* segons els extractes de fraccions *C. dactylon* frescos o assecats i la presència o no de llavors de *C. dactylon*. $n = 40$. Les barres verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor. c+ i c- indiquen presència o no de llavors de *C. dactylon*. Lletres diferents indiquen diferències significatives pel test de Duncan, $p \leq 0.05$.

La longitud de plàntules va ser significativa i en general les arrels eren més llargues que la part aèria. Les plàntules, amb part aèria superior als 10 mm, produïen fulles verdaderes. L'extracte de fulles verdes assecades va estimular el creixement en la part aèria de *L. tenuis* (Figura 7.5). Destaquem el poc desenvolupament de les arrels de les plàntules d'ambdues espècies en l'extracte fresc. En canvi, va disminuir significativament la longitud de les arrels de *L. corniculatus* en extracte de fulles seques.

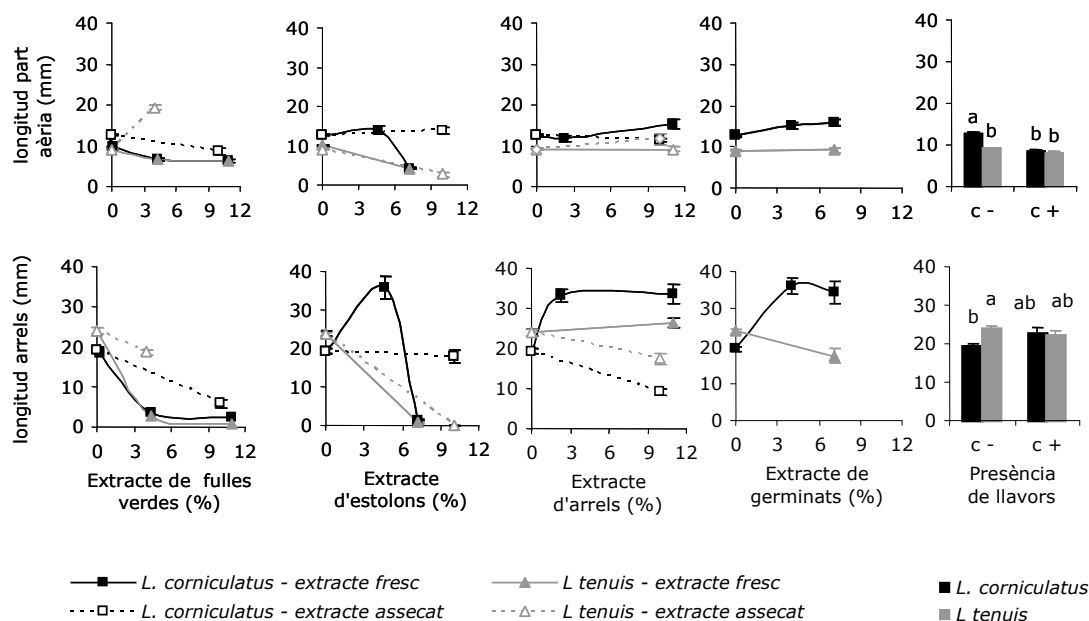


Figura 7.5 Efecte del creixement de plàntules de *L. corniculatus* i *L. tenuis* en funció d'extractes de *C. dactylon* (%). $n = 40$. Les barres verticals representen l'error estàndard, algunes de les quals queden amagades pel símbol del valor. c+ i c- indiquen presència o no de llavors de *C. dactylon*. Lletres diferents indiquen diferències significatives pel test de Duncan, $p \leq 0.05$.

L'extracte d'estolons frescos al 5% de concentració va estimular significativament el creixement de les arrels de *L. corniculatus*. Però en el mateix extracte al 7% de concentració, l'arrel no es desenvolupava i la part aèria només arribava a 4 mm. Per tant, no han arribat a plàntula. La longitud de la part aèria i de les arrels de *L. tenuis* es va reduir en aquest extracte tant en fresc com assecat.

L'extracte d'arrels frescos i de germinats estimulava significativament el creixement tant de la part aèria com de les arrels de *L. corniculatus* mentre que no afectava o disminuïa en *L. tenuis*. Les plàntules de *L. corniculatus* han arribat a créixer fins a 15 mm més que en les plaques control. En els extractes d'arrels seques, la longitud de les arrels ha sigut de 5 a 10 mm significativament inferior al control per k i *L. corniculatus* respectivament.

Els extractes de llavors no van condicionar estadísticament la resposta a cap paràmetre, tot i que el pH i la CE van ser diferents al control i comparables a l'extracte de germinats per exemple. L'extracte de germinats va estimular el creixement en arrels i part aèria de *L. corniculatus*. La longitud de la part aèria de *L. corniculatus* s'ha reduït significativament en presència de llavors de *C. dactylon* (tractament C+).

La relació part aèria : arrels de les plàntules és superior a 1 en les crescudes en extractes de fulles verdes. En estolons també, excepte *L. corniculatus* en extracte sec i fresc a concentració mitjana on la distribució de la biomassa ha sigut contrària. Les plàntules del control i les crescudes en extractes d'arrels i germinats de *Cynodon* també han presentat més proporció d'arrels que de part aèria. A la taula 7.3 mostrem el resum dels resultats obtinguts.

Taula 7.3 Resum de la resposta de lotus davant dels extractes a les concentracions més altes provades o presència de llavors de *C. dactylon*. Fracció no provada □; no s'ha detectat efecte en la vegetació ■; s'ha detectat estimulació en el creixement de lotus ■; s'ha detectat disminució de la germinació o del creixement de lotus ■.

				<i>L. corniculatus</i>					<i>L. tenuis</i>				
				llavors		plàntules			llavors		plàntules		
Format	Mostra	Processat	Fracció	%	%	Biomassa	Longitud p.aèria	Longitud arrels	%	%	Biomassa	Longitud p.aèria	Longitud arrels
extracte	sec	sec	fulles										
			llavors										
			germinats										
			fulles										
			estolons										
			arrels										
	verd	fresc	fulles										
			estolons										
sec	sec	fulles											
		estolons											
		arrels											
		presència llavors											

7.5 DISCUSSIÓ

7.5.1 Propietats dels extractes

L. tenuis pot germinar i créixer en prats amb pH alt, on altres lleguminoses no prosperen (Correa *et al.* 1995; Montes 1988). S'han trobat plantes de *L. tenuis* en sòls de pH dins el rang en què es troben els extractes (Kade *et al.* 2003; Stoffella *et al.* 1998). *L. tenuis* és tolerant a la salinitat (Kade *et al.* 2003; Schachtman i Kelman 1991; Rogers *et al.* 1997; Vignolio i Fernández 1999). A Morales *et al.* (2000), *Lotus creticus* va créixer en cultiu hidropònic amb una CE de 12.34 dS m⁻¹.

Els extractes amb un potencial osmòtic superior a -0.25 MPa no condicionen a la imbibició i la conseqüent germinació de les llavors (Bell 1974; Smith i Martin 1994; Stowe 1979). Pel contrari, a Mujica i Rumi (1999), dues poblacions de *L. tenuis* eren sensibles a la salinitat superior a 20mM de NaCl. Concentració que equival a un potencial osmòtic de -0.1 MPa, on van germinar un 14%. En l'assaig, els extractes de fulles verdes i assecades, i el de fulles seques van superar aquest llindar sense causar diferències destacables en la germinació.

7.5.2 Potencial al·lelopàtic de *C. dactylon* sobre les lleguminoses *L. corniculatus* i *L. tenuis*

A Vignolio *et al.* (2002a), *L. tenuis* és més vigorosa i produeix més llavors però de menys biomassa que *L. corniculatus* i així es pot mantenir en comunitats poc denses (Sevilla *et al.* 1996). *L. tenuis* es considera oportunista (Juan *et al.* 2000; Laterra *et al.* 1994 i 2003). En canvi, *L. corniculatus* té més habilitat competitiva a l'establiment, per les llavors més grosses (Harper 1977; Werner i Platt 1976).

A Hovstad i Ohlson (2008) en condicions de camp, la germinació i l'establiment de *L. corniculatus* disminuïa a mesura que augmentava la quantitat de feltre que cobria les llavors. El feltre estava format per fulles i tiges de plantes d'un prat semi-natural que, entre altres herbàcies, contenia gramínies i lleguminoses (sense *C. dactylon*). Les llavors no eren afectades pels extractes del feltre. Suggestint que el què impedia la germinació eren els efectes físics del feltre, la temperatura i la llum que afectaven a la dormició de la llavor (Fenner i Thompson 2005; Van Assche *et al.* 2003). Però Hovstad i Ohlson (2008)

van obtenir com a màxim el 10% de germinació. A diferència de l'assaig, que era del 50% i 75% per *L. corniculatus* i *L. tenuis* respectivament (només havíem escarificat les llavors de *L. tenuis*).

A Ortega i Laterra (2003), la crema del prat dominat per *Paspalum quadrifarium* beneficiava a *L. tenuis*. Però perquè les plàntules poguessin emergir a través d'ella, encara depenia del gruix de la capa de feltre romanent després de la crema.

7.5.3 Quina fracció de *C. dactylon* presenta els efectes al·lelopàtics sobre *L. corniculatus* i *L. tenuis*?

En la revisió de l'al·lelopatia que fan Inderjit i Nilsen (2003) mostren que les sèries diluïdes d'extractes són una bona opció per trobar la concentració amb toxicitat efectiva, i permeten separar la inhibició al·lelopàtica de la causada per la limitació de recursos com els nutrients. En la majoria dels extractes, no hem arribat a la inhibició de la germinació i s'ha detectat estímul del creixement de les plàntules en determinades concentracions i extractes. Podrien indicar sensibilitat a la concentració de nutrients en el medi, ja que en la germinació les lleguminoses no han desenvolupat els nòduls fixadors de nitrogen.

L'estímul del creixement també podria ser degut a la presència de citoquinines. Són hormones implicades en diferents processos del creixement i desenvolupament de les plantes. S'ha demostrat en la inhibició de l'emergència de l'arrel, la germinació i l'inici de l'establiment de les plàntules (Chiwocha *et al.* 2005; Stirk *et al.* 2005). D'altra banda, les citoquinines exsudades per les arrels en el medi poden actuar com a fitotòxic i possible agent al·lelopàtic com es coneix a les plantes d'arròs (Khanh *et al.* 2007). A Nikolić *et al.* (2006), el percentatge de germinació de *L. corniculatus* augmentava amb la concentració de citoquinines, però disminuïa la longitud de les plàntules.

A Shanthi *et al.* (2007) en testos, la incorporació de restes de biomassa seca de *C. dactylon* al 5% reduïa un 29.3% de la germinació de cotó. A més *C. dactylon* afectava a la divisió cel·lular, de la mateixa manera que *Trianthema portulacastrum* i *Cyperus rotundus* inhibia el creixement en longitud de les arrels més que de l'hipocòtil de les plàntules de cotó. De la mateixa manera que en l'assaig, on les arrels de les plàntules de *L. tenuis* i *L. corniculatus* han estat més inhibides que la part aèria.

A Nikolić *et al.* (2006), *L. corniculatus* tenien 3 i 4 cm de longitud de part aèria i arrel respectivament, als 20 dies de la germinació. Gairebé 4 cm més longitud total que en l'assaig. Només les plàntules de *L. corniculatus* en extractes d'estolons frescos de *C. dactylon* a concentració mitjana i els d'arrels i germinats a concentració mitjana i alta s'han acostat als valors control d'aquests autors.

Els extractes d'arrels no han estat els més efectius en la inhibició de la germinació o del creixement. A Shanthi *et al.* (2007), extractes aquosos d'arrels de *C. dactylon* al 30% inhibien un 60% la germinació i el desenvolupament de plàntules de cotó. En l'assaig, concentracions inferiors dels extractes de part aèria han inhibit la germinació i desenvolupament de les plàntules. És provable que els estolons, òrgans de reserva i propagació, concentrin substàncies al·lelopàtiques (Fernández 2003; Satorre *et al.* 1996; Unruh *et al.* 1996). Que els extractes d'arrels no hagin inhibit podria ser equivalent a Inderhit i Nilsen (2003). Els al·leloquímics excretats per les arrels poden ser modificats pels microorganismes i la química de la rizosfera, per això recomanen analitzar el sòl.

Els extractes de la part aèria de *C. dactylon* assecats han resultat més efectius en quant a la inhibició de la germinació. A Vasilakoglou *et al.* (2005), el 4% de la concentració de l'extracte de part aèria de *C. dactylon* va inhibir significativament en un 55% la germinació d'*Echinochloa crus – galli* mentre que l'extracte d'arrels va inhibir un 10% aquesta gramínia. Però tant extractes de part aèria com d'arrels de *C. dactylon* al 4% de concentració van inhibir un 60% la germinació de cotó i *Stearia verticillata*. Biomassa verda però seca de *C. dactylon* la trobem per exemple en situacions d'estrès hídric. Estrès molt probable en un prat sec ornamental en clima mediterrani i les espècies estudiades el toleren (Hoveland 1989; Hill 1990; Vignolio *et al.* 2002b).

7.5.4 Recomanacions per afavorir a lotus en un prat

L'estudi de la baixa germinació de *Lotus* spp. té interès pels usos: farratgera, restauració de paisatge, etc. (López *et al.* 1997; Nikolić *et al.* 2007, entre altres). El poder germinatiu en llavors comercials hauria de ser com a mínim del 70%, però en general ja és elevat per l'escarificació durant les operacions de sega, neteja i classificació a què se sotmeten. Així, les no comercials necessiten tractaments per sortir de la dormició abans de sembrar (Hurt i Nelson 1985; Grime *et al.* 1988; López *et al.* 1997; Nikolić *et al.* 2007; van Assche *et al.* 2003). A Ortega i Laterra (2003), llavors de *L. tenuis* d'una varietat comercial presentaven un 100% de viabilitat i un 86% de duresa. A Nikolić *et al.* (2007), la mitjana de germinació de *L. corniculatus* era del 27% i en López *et al.* (1997) era inferior al 50% en *Lotus creticus*, *Lotus creticus cytisoides* i *Lotus campylocladus*.

Les llavors de *C. dactylon* no han afectat a la germinació de *Lotus* spp. Però per potenciar *L. corniculatus* en un prat, caldria tenir en compte que disminueixen el creixement de les plàntules de la lleguminosa. A San Emetrio *et al.* (2004), llavors *Lolium rigidum* inhibien l'elongació de la part aèria de plàntules de *Medicago sativa*. Ho van estudiar en plaques de petri amb 30:10 llavors de la gramínia i la lleguminosa respectivament. En l'assaig era de 50:50, ja que les llavors *C. dactylon* i *Lotus* spp. són més petites.

Hi ha una normativa de compliment obligatori de alçada màxima de la vegetació en els prats secs urbans i peri-urbans per seguretat (Col·legi Oficial d'Enginyers Tècnics Agrícoles i Pèrits Agrícoles de Catalunya NTJ 13G 1999, NTJ 14G 1997). Es recomanaria segar a mitjans d'estiu per extreure les espigues de *C. dactylon*. No afectaria excessivament a la propagació ja que el sistema reproductor principal és el vegetatiu (Fernández 2003). Encara que la debilitaria, perquè a l'extreure biomassa aèria, disminueixen les reserves dels rizomes per translocació, de manera semblant a *Solidago altissima* L. a Stoll *et al.* (1998).

Es recomanaria tenir en compte la biomassa aèria morta de *C. dactylon* a l'hora de sembrar o per garantir la germinació de *L. tenuis* des del banc de llavors del sòl. El període de màxima germinació de *L. tenuis* és a principis de primavera i el segon, a la tardor (Sevilla *et al.* 1996; Vignolio i Fernández 2006). Quan germina *L. tenuis* a la primavera, *C. dactylon* encara es troba en dormició (Richardson 2004). De manera que *L. tenuis* es comporta com a oportunista (Laterra *et al.* 1994 i 2003; Juan *et al.* 2000). A Sevilla *et al.* (1996), germinava el doble en prats amb densitat de pastura alta. Per altra banda, no li afecta que hi hagi germinats de *C. dactylon* a la zona.

En general es recomana mantenir un nivell de feltre baix especialment a la tardor. Per exemple amb fresadores de ganivetes verticals, que arrossequen a la superfície del sòl els residus del fons, o apers dentats que tallen el feltre (Thomas i Guerin 2006). El feltre no es considera estètic en una gespa o prat ornamental (Morris i Shearman 2000). Tot i que redueix la evaporació del sòl (Fowler 1986) i l'estrès hídric, allibera nutrients i/o fitotoxines, i condiona la quantitat de llum que deixa passar, disminueix la probabilitat de contacte de les llavors amb el sòl (Facelli i Pickett 1991; Grime 1979; Hamrick i Lee 1987; Hovstad i Ohlson 2007). A Rasran *et al.* (2007), *Lotus pedunculatus* germinava i s'establia en prats amb vegetació alta, i el feltre ajudava a la supervivència de les plàntules en condicions de sequera. Però la sega i retirada del feltre n'afavoria la germinació.

7.6 CONCLUSIONS

- La cutícula de les llavors de *L. tenuis* és impermeable, que ha obligat a escarificar-les. La germinació de *L. tenuis* era del 4% sense escarificar i ha estat un 20% superior a *L. corniculatus* després d'escarificar.
- *L. tenuis* i *L. corniculatus* han germinat entre un 30 i un 100% en extractes entre 4 - 9 unitats de pH, 0 - 3dS m⁻¹ de CE i 0.1 - 0.5 MPa de potencial osmòtic.
- Determinats extractes i concentracions de teixit de *C. dactylon* han estimulat el desenvolupament de les plàntules de lotus. Podria ser per l'aportació de compostos de N o a la presència de citoquinines en els extractes. En concret:
 - o Extractes de fulles verdes fresques a concentració mitjana i d'arrels fresques a concentració alta de *C. dactylon* han estimulat el creixement en biomassa fresca de les plàntules de *L. corniculatus*.
 - o L'extracte de fulles verdes assecades a concentració mitjana de *C. dactylon* ha estimulat el creixement en longitud de la part aèria de plàntules de *L. tenuis*.
 - o L'extracte d'estolons frescos a concentració mitjana, arrels i germinats frescos a concentració mitjana i alta de *C. dactylon*, han estimulat el creixement en longitud radicular de plàntules de *L. corniculatus*.
- Les llavors i plàntules (germinats) de *C. dactylon* no afecten al lotus. Però les llavors de *C. dactylon* disminueixen el desenvolupament de la part aèria de plàntules de *L. corniculatus*.
- Per mantenir la mescla de *C. dactylon* i *Lotus* spp. en el prat, si en aquest predomina *L. corniculatus* es recomanaria segar per retirar les espigues de *C. dactylon*. La disminució de llavors en el banc no afectaria excessivament a *C. dactylon* ja que el sistema de reproducció principal és vegetatiu.
- Extractes de fulles verdes i estolons secs de *C. dactylon* han inhibit la germinació i desenvolupament de plàntules de *L. corniculatus* i *L. tenuis*. Per tant, recomanariem:
 - o Retirar la biomassa aèria seca de la gramínia a principis d'hivern, abans de l'entrada en dormició d'aquesta espècie C₄. A més, la presència de fentre en un prat no es considera estètica.
 - o Aplicar regs de suport en el cas que es detecti estrès hídric en *C. dactylon* perquè no s'assequi.
 - o Els extractes de fulles seques, germinats i la presència de llavors de *C. dactylon* en el medi de cultiu no van tenir efecte en la germinació en les concentracions provades. Al tractar-se d'un assaig de germinació de "sèries diluïdes", seria necessari continuar aquestes per trobar la concentració inhibidora.
- A l'assaig de competència, al capítol anterior, *L. tenuis* desenvolupa més arrels quan no es troba en contacte amb les de *C. dactylon*. En canvi, a l'assaig de germinació, els extractes d'arrels no són els més efectius en quant a la inhibició de la germinació o el creixement de les plàntules de *L. tenuis* o *L. corniculatus*. Confirmaria que la competència radicular que s'estableix entre les dues espècies és pel consum dels recursos i no per al·lelopatia.

Conclusions generals

- La sensibilitat a la disponibilitat hídrica i a les temperatures s'ha diferenciat entre les cespitoses estudiades. A nivell de gestió, a l'hivern es pot reduir el reg al 40 % de la ETo. A l'estiu, el tractament 40% ETo per *Agrostis stolonifera*, *Poa pratensis*, *Cynodon dactylon* i *Pennisetum clandestinum* i els de 40 i 60% ETo per a *Festuca arundinacea* no són aconsellables en el clima mediterrani ja que no aconsegueixen un desenvolupament òptim en les qualitats pels quals es cultiven.
- *Lolium perenne*, *Puccinellia distans*, *Zoysia japonica* i *Paspalum notatum* no han assolit una bona coberta. Les males herbes competitivament superiors en les condicions de l'assaig poden haver-ne perjudicat el desenvolupament.
 - o *L. perenne*, tot i la ràpida germinació, s'ha mostrat sensible a la sequera i a l'afectació per fongs a l'estiu.
 - o *P. distans* ha destacat per ser l'espècie C₃ amb menys biomassa d'arrels tot i mantenir una producció equivalent a les altres espècies C₃, en les zones que cobria. És coneguda la tolerància a la salinitat del sòl. Podem suposar que en aquestes condicions limitants per altres espècies, hauria sortit competitivament beneficiada.
 - o La majoria d'espècies del gènere *Zoysia* només es poden plantar d'esqueix. L'espècie utilitzada se subministra de llavor, però és coneguda la dificultat d'establiment.
- La mescla de *F. arundinacea* + *P. pratensis* + *L. perenne* ha mostrat estadísticament millor qualitat que les espècies per separat. *L. perenne*, per la ràpida germinació i després *F. arundinacea* per la tolerància a la sequera. En canvi, la mescla de *C. dactylon* + *P. notatum* + *P. distans*, no s'ha constituït, mantenint-se només el *C. dactylon*. A causa de la pobra instauració de *P. notatum* i *P. distans*, i possiblement per la capacitat competidora de *C. dactylon*.
- Les espècies han mantingut una qualitat acceptable fins a un 3.5 dS m⁻¹ de CE de l'aigua de reg. A partir del qual han mostrat clorosi. La concentració de Na⁺ foliar s'ha correlacionat amb el potencial osmòtic foliar i la CE del sòl, sobretot en la mescla d'espècies C₃. En aquestes espècies sensibles, pot ser indicador de toxicitat.
 - o Que la CE del sòl arribi a nivells més alts en *A. stolonifera* es podria explicar per un més elevat consum hídric, de manera que augmenti la concentració d'ions al sòl.
 - o *F. arundinacea* ha estat l'espècie que ha arribat a un potencial osmòtic *in situ* més elevat en condicions de reg amb aigua regenerada. Possiblement gràcies a l'ajust osmòtic pot mantenir una suficient pressió de turgència a la zona d'elongació foliar.
 - o Sembla que *C. dactylon* podria arribar a RWC inferiors en aigua de xarxa que regenerada mantenint les fulles com a mínim cloròtiques a l'hivern. O que una certa acumulació de sals als teixits hauria afavorit el contingut hídric foliar.
 - o *P. clandestinum* és l'espècie que manté valors de RWC més baixos abans d'entrar en dormició. En canvi, és la que mostra un potencial osmòtic més baix a CE del sòl més elevades, indicant la tolerància a aquest estrès. Tot i arribar a CE del sòl més elevades, el PRI mostra valors positius, indicant la capacitat fotosintètica en aquestes condicions. Els

estams blancs poden haver contribuït a disminuir el NDVI i la tonalitat de color en la floració a l'estiu.

- La qualitat físico-química de l'aigua regenerada era variable estacional i anualment.
 - o El reg amb aigua salina ha augmentat la conductivitat elèctrica del sòl, però no s'ha detectat acumulació de sals, excepte en el sòl de textura argilosa a causa a les propietats físico-químiques.
 - o L'aigua salina ha disminuït el pH del sòl, sobretot en l'agrícola, encara que s'ha mantingut en la mateixa categoria de sòl calcari. Però el ferro, junt amb altres nutrients, es troba en forma poc disponible per les plantes de manera que pot haver incrementat els efectes de la salinitat.
 - o El sistema de reg "*triple line source*" ha donat bons resultats tot i el vent.
 - o El reg mitjançant degoters no va perdre homogeneïtat en els 2.5 anys d'estudi. Es pot atribuir a la qualitat de l'aigua, en quant a partícules en suspensió. Per evitar les diferents densitats de vegetació d'acord amb la situació dels degoters cal optimitzar l'aportació hídrica.
- Els tensiòmetres de matriu granulosa han permès seguir el contingut hídric del sòl, podent-se extrapolar les lectures puntuals a la parcel·la.
- Les metodologies seguides per avaluar paràmetres morfològics foliars es descarten pel temps que requereixen, són tedioses i poc representatives de la gespa. La longitud o la densitat de les arrels no han estat indicadors de la tolerància a la sequera ni la salinitat.
- Els índexs espectroradiomètrics, especialment el NDVI, s'han mostrat com a paràmetres objectius per descriure l'estat de la vegetació en les diferents situacions, són descriptius, no predictius. El que ha impedit anticipar la pèrdua de qualitat, agronòmica o ambiental, de la gespa. La resposta semblant del NDVI i el RWC es correspon amb resultats previs, on el NDVI només és sensible a partir de valors inferiors al 70% RWC. Pels mateixos motius el WI presenta una conducta igual.
- En lloc de l'escala de la NTEP, els índexs calculats a partir de les fotografies digitals han resultat representatius de l'estat de la gespa. Generen mesures integradores i versàtils de la coberta. Permeten registrar una àrea variable depenent de distància a la que disposem la càmera. En canvi, colorímetres d'àrea de mesura reduïda, necessiten varies repeticions per obtenir una mitjana representativa d'una superfície irregular. Els paràmetres derivats de fotografies digitals, amb càmeres comercials, poden ajudar en la gestió de superfícies cespitoses, per l'objectivitat, reproductibilitat, senzillesa i baix cost.
- Les segues periòdiques no permeten la fructificació de la gespa, impeding l'autosembra. El creixement estolonífer i/o rizomatós d'*A. stolonifera*, *C. dactylon* i *P. clandestinum* els ha permès recuperar la cobertura en les dues primeres o mantenir-la en *P. clandestinum*. *C. dactylon* i *P. clandestinum* s'han mostrat invasores.
- Les males herbes han estat importants en la cobertura de les gespes. Les que són gramínies, no es poden tractar amb herbicida sistèmic, selectiu "de fulla ampla", per exemple *Poa annua* i *Digitaria sanguinalis*, C₃ i C₄ respectivament.
- La tècnica dels testos dividits ha detectat competència aèria i subterrània entre *C. dactylon* i *L. tenuis*. Determinats extractes i concentracions de teixit de *C. dactylon* han estimulat el desenvolupament de les plàntules. Podria ser per l'aportació d'adob o la presència de citoquinines en els extractes.

- *L. tenuis* desenvolupa més arrels quan no es troba en contacte amb les de *C. dactylon*, però competència radicular és pel consum dels recursos en lloc de l'al·lelopatia. Ja que els extractes d'arrels no són els més inhibitoris de la germinació o el creixement de les plàntules de *L. tenuis* o *L. corniculatus*.
- La informació del comportament de les espècies en clima mediterrani, gestió del reg i les metodologies d'anàlisi aplicades pot ajudar a prendre decisions objectives en la gestió de gespes i restauracions paisatgístiques.

Bibliografia

- Abad, L. (2004). Curs: Monografies de paisatgisme i jardineria. Institutió Catalana d'Estudis Agraris. Institutió Catalana d'Història Natural. Barcelona.
- Abdel Wahab, A.M. i Abd-Alla, M.H. (1996). Effect of different rates of N-fertilizers on nodulation, nodule activities and growth of two field grown cvs. of soybean. *Fert. Res.* 43: 37 – 41.
- Abdul – Rahman, A.A.S. i Al-Naib, F.A.G. (1986). The effects of bermudagrass *Cynodon dactylon* (L.) Pers. On the germination and seedling growth of cotton and three weed species. *JAWRR* 5: 115 – 128.
- Abdul – Rahman, A.A.S. i Habib, S.A. (1986). Effectiveness of herbicides and some plant extracts in controlling dodder on alfalfa. *JAWRR* 5: 53 – 64
- Abernethy, G.A., Fountain, D.W. i McManus, M.T. (1998). Observations on the leaf anatomy of *Festuca novae-zelandiane* and biochemical responses to water deficit. *New Zealand Journal of Botany.* 36: 113 – 123.
- Abrams, P.A. (1995). Monotonic or unimodal diversity-productivity gradients: what does competition theory predict? *Ecology*, 76: 2019 – 2027.
- Ackerson, R.C. (1980). Stomatal responses to water stress and abscisic acid as affected by water stress history. *Plant Physiol.* 65: 455 – 459.
- Adamsen, F.J., Pinter, P.J., Barnes, E.M., LaMorte, R.L., Wall, G.W., Leavit, S.W. i Kimball, B.A. (1999). Measuring wheat senescence with a digital camera. *Crop Science.* 39: 719 – 724.
- Agència Catalana de l'Aigua (2002a). Estudi de caracterització i prospectiva de les demandes d'aigua a les conques internes de Catalunya i a les conques catalanes de l'Ebre. Conques internes de Catalunya. Document de síntesi. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient, ACA.
- Agència Catalana de l'Aigua (2002b). Estudi de caracterització i prospectiva de les demandes d'aigua a les conques internes de Catalunya i a les conques catalanes de l'Ebre. Conques catalanes de l'Ebre. Document de síntesi. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient, ACA.
- Agència Catalana de l'Aigua (2009). <aca-web.gencat.cat/aca/appmanager/aca/aca/?_nfpb=true&_pageLabel=P1202954461208200426277>. Última consulta: 09/09/2009.
- Ahern, F. J. (1988). The Effects of Bark Beetle Stress on the Foliar Spectral Reflectance of Lodgepole Pine. *International Journal of Remote Sensing.* 9(9): 1451-1468
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. i Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper nº 56. Food and Agriculture Organization. Rome, Italy.
- Alshammary, S.F., Qian, Y.L. i Wallner, S.J. (2004). Growth response of four turfgrass species to salinity. *Agricultural Water Management.* 66: 97 – 111.
- American Society for Testing and Materials (1989). Standard test method for specifying color by the Munsell System. D 1525 – 89. Annual book of ASTM standards. Amer. Soc. for Testing and Materials. Philadelphia.
- Anderson, J.V., Gesch, R.W., Jia, Y., Chao, W.S. i Horvath, D.P. (2005). Seasonal shifts in dormancy status, carbohydrate metabolism, and related gene expression in crown buds of leafy spurge. *Plant, Cell and Environment* 28: 1567 – 1578.
- Andreoli, Y., Quadrelli de Escuder, A.M., Laich, F.S. i González, N.S. (1998). Identificación de *Rhizobium loti* por inmunodifusión. *Ciencia del Suelo.* 16: 16 – 19.
- Andrews, M., Scholefield, D., Abberton, M.T., McKenzie, B.A., Hodge, S. i Raven, J.A. (2007). Use of white clover as an alternative to nitrogen fertiliser for dairy pastures in nitrate vulnerable zones in the UK: productivity, environmental impact and economic considerations. *Annals of Applied Biology* 151: 11 – 23.
- Angelakis, A. i Diamadopoulos, E. (1995). Water resources management in Greece: current status and prospective outlook. *Water Science and Technology.* 32 (9-10): 267 – 272.
- Angelakis, A.N., Do Monte, M., Bontoux, L. i Asano, T. (1999). The status of wastewater reuse practice in the Mediterranean basin: need for guidelines. *Water Research.* 33(10): 2201 – 2217.
- Angelakisa, A.N. i Bontoux, L. (2001). Wastewater reclamation and reuse in European countries. *Water Policy.* 3: 47-59.
- Araújo-Alves, J.P., Torres-Pereira, J.M.G., Biel, C., de Heralde, F. i Savé, R. (1999). Effects of minimum irrigation technique on ornamental parameters of two Mediterranean species used in xerigardening and landscaping. *Acta Horticulturae.* 541: 1 – 10.
- Araus, J.L., Casadesús, J. i Bort, J. (2001). Recent tools for screening of physiological traits determining yield. En: Reynolds, M.P., Ortiz-Monasterio, J.I. i McNab, A. (eds.) *Application of physiology in wheat breeding.* Mexico D.F.:CIMMYT. Chapter 5: 59 – 75.
- Arienzo, M., Christen, E.W., Quayle, W. i Kumar, A. (2009). A review of the fate of potassium in the soil-plant system after land application of wastewaters. *Journal of Hazardous Materials.* 164(2-3): 415 – 422.
- Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts: polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol.* 24: 1 – 15.
- Aronson, L.J., Gold, R. H., Hull, R.J. i Cisar, J.L. (1987). Evapotranspiration of cool-season turfgrasses in the humid northeast. *Agronomy Journal.* 79: 901 – 905.
- Asano, T. i Levine, A.D. (1998). Wastewater reclamation, recycling and reuse: an introduction. En: Asano, T. (ed.) *Wastewater reclamation and reuse.* Lancaster: Technomic Publishing. p. 1 – 56.
- Ashraf, M., McNeilly, T. i Bradshaw, A.D. (1986). The potential for evolution of salt (NaCl) tolerance in seven grass species. *New Phytologist.* 103: 299 – 309.
- Atkinson D., Black K.E., Dawson L.A., Dunsiger Z., Watson C.A. i Wilson S.A. (2005) Prospects, advantages and limitations of future crop production systems dependent upon the management of soil processes. *Annals of Applied Biology.* 146: 203 – 215.

- Auda, H., Blaser, R. E. i Brown, R.H. (1966). Tillering and carbohydrate contents of orchardgrass as influenced by environmental factors. *Crop Science*. 6: 139 – 143.
- Ayers, R.S. i Westcot, D.W. (1985). Water quality for agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO Irrigation and Drainage, Paper No. 29. Rome. Italy.
- Babar, M.A., Reynolds, M.P., Van Ginkel, M., Klatt, A.R., Raun, W.R. i Stone, M.L. (2006). Spectral reflectance to estimate genetic variation for in-season biomass, leaf chlorophyll, and canopy temperature in wheat. *Crop Science*. 46(3): 1046 – 1057.
- Baghzouz, M., Devitt, D.A. i Morris, R.L. (2006). Evaluating temporal variability in the spectral reflectance response of annual ryegrass to changes in nitrogen applications and leaching fractions. *International Journal of Remote Sensing*. 27 (19): 4137 – 4157.
- Bahri, A. (1999). Agriculture reuse of wastewater and global water management. *Water Science and Technology*. 40 (4-5): 339 – 46.
- Bais, H.P., Loyola – Vargas, V.M., Flores, H.E. i Vivanco, J.M. (2001). Root-specific metabolism: the biology and biogeochemistry of underground organs: In vitro Cell Dev. Biol. Plant. 37: 730 – 741.
- Bais, H.P., Walker, T.S., Stermitz, F.R., Hufbauer, R. A. i Vivanco, J.M. (2002). Enantiomeric-depenent phytotoxic and antimicrobial activity of (±)-catechin. A rhizosecreted racemic mixture from spotted knapweed. *Plant physiology*. 128: 1173-1179.
- Baker, N.R. (2008) Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. *Annu. Rev. Plant. Biol.* 59: 89 – 113.
- Balatti, P.A. (1996). Interacciones tempranas Rhizobio-leguminosa. *Rev. Fac. De Agron. La Plata*. 101: 91 – 108.
- Bannister, P. (1976). Introduction to Physiological Plant Ecology. Ed. Blakwell Scientific. Oxford.
- Bañón, S. Fernández, J.A., Franco, J.A., Torrecillas, A., Alarcón, J.J. i Sánchez-Blanco, M.J. (2004). Effects of water stress and night temperature preconditioning on water relations and morphological and anatomical changes of *Lotus creticus* plants. *Scientia Horticulturae*. 101: 333 – 342.
- Baraibar, A., Frioni, L., Guedes, M.E. i Ljunggren, H. (1999). Symbiotic effectiveness and ecological characterization of indigenous *Rhizobium loti* populations in Uruguay. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília. 34 (6): 1011 – 1017.
- Baret, F. i Guyot, G. (1991). Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR estimation. *Remote Sensing of Environment*. 35: 161 – 173.
- Barnes, J.D., Balaguer, L., Manrique, E., Elvira, S. i Davison, A.W. (1992). A Reappraisal of the Use of DMSO for the Extraction and Determination of Chlorophylls-a and Chlorophylls-B in Lichens and Higher-Plants. *Environmental and Experimental Botany*. 32 (2): 85 – 100.
- Barrett-Lennard, E. G. (2003). The interaction between waterlogging and salinity in higher plants: causes, consequences and implications. *Plant and Soil*. 253 (1): 35 – 54.
- Barrett-Lennard, E.G., Speijers, J., Morris, J. i Marcar, N. (1998). Transpiration by trees on land with shallow water-tables: a survey of the literature suggests that transpiration is affected by soil texture. En: Smettem K.R.J. (Ed.) Deep drainage and nitrate losses under native vegetation and agricultural systems in the mediterranean climate region of Australia, Land and Water Resources Research and Development, Canberra, pp. 6 – 11.
- Barro, S.C. i Bright, A.D. (1998). Public views on ecological restoration. *Restoration Management Notes*. 16 (1): 59 – 65.
- Barton, L., Wan, G.G. Y. i Colmer, T.D. (2006). Turfgrass (*Cynodon dactylon* L.) sod production on sandy soils: II. Effects of irrigation and fertiliser regimes on N leaching. *Plant and Soil*. 284(1-2):147 – 164.
- Barton, L., Wan, G. G. Y., Buck, R. P. i Colmer, T. D. (2009). Nitrogen Increases Evapotranspiration and Growth of a Warm-Season Turfgrass. *Agronomy Journal*. 101 (1): 17 – 24.
- Batish, D.R., Lavanya, K., Singh, H.P. i Kohli, R.K (2007). Phenolic allelochemicals released by *Chenopodium murale* affect the growth, nodulation and macromolecule content in chickpea and pea. *Plant Growth Regul.* 51: 119 – 128.
- Beard, J.B. (1973). Turfgrass: science and culture. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Beard, J.B. (1989). Turfgrass water stress: drought resistance components, physiological mechanisms, and species-genotypes diversity, *Int. Turfgrass Soc. Res. J.* 6: 23–28.
- Beard, J.B. i Daniel, W. H. (1965). Effect to temperature and cutting on the growth of creeping bentgrass (*Agrostis palustris* Huds.) roots. *Agronomy Journal*. 57: 249 – 250.
- Beard, J.B. i Green, R.L. (1994). The role of turfgrasses in environmental protection and their benefits to humans. *Journal of Environmental Quality*. 23: 452 – 460.
- Beard, J.B., Croce, P., Mocioni, M., De Luca, A. i Volterrani, M. (2001). The comparative competitive ability of thirteen *Agrostis stolonifera* cultivars to *Poa annua*. *Intl. Turfgrass Soc. Res. J.* 9:828 – 831.
- Beard, J.S. (1983). Ecological control of the vegetation of Southwestern Australia: moisture versus nutrients. En: Kruger, F.J., Mitchell, D.T. i Jarvis, J.U.M. (eds.) *Mediterranean type-ecosystems. The role of nutrients*, pp. 66 – 73. Springer-Verlag, Berlin.
- Bedmar, F. (1997). Bermudagrass (*Cynodon dactylon*) control in sunflower, soybean and potato with postemergence herbicides. *Weed technology*. 11: 683 – 688.
- Begon, M., Harper, J.L. i Townsend, C.R. (2006). Ecology. From Individuals to Ecosystems (4a Ed). Blackwell Publishing.
- Belanger, G. (1998). Morphogenetic characteristics of timothy grown with varying N nutrition. *Canadian Journal of Plant Science*. 78: 103 – 108.
- Bell, D.T. (1974). The influence of osmotic pressure in tests for allelopathy. *Trans III. State Acad. Sci.* 67: 312 – 317.
- Bell, G.E., Howell, B.M., Johnson, G.V., Raun, W.R., Solie, J.B. i Stone, M.L. (2004). Optical sensing of turfgrass chlorophyll content and tissue nitrogen. *HortScience*. 39 (5): 1130 – 1132.
- Bell, G.E., Odorizzi, E. i Danneberger, T.K. (1999). Reducing populations of annual bluegrass and roughstalk bluegrass in creeping bentgrass fairways: A nutritional approach. *Weed Technology*. 13 (4): 829 – 834.
- Bell, G.E., Martin, D.L., Wiese, S.G., Dobson, D.D., Smith, M.W., Stone, M.L. i Solie, J.B. (2002). Vehicle-mounted optical sensing: an objective means for evaluating turf quality. *Crop Science*. 42: 197 – 201.

- Bennett, J.M. i Sullivan, C.Y. (1981). Effects of water stress preconditioning on net photosynthetic rate of grain sorghum. *Photosynthetica*. 15: 330 - 337.
- Bennett, R.E. i Hazinski, M.S. (1993). Water-Efficient Landscape Guidelines, American Water Work Association, Denver, Colorado. pp.163 - 169.
- Berndt, W.L. (2007). Salinity affects quality parameters of 'SeaDwarf' seashore paspalum. *Hortscience*. 42 (2): 417 - 420.
- Bertrand, A. R. (1965). Plant environment and efficient water use p 207-235. En: Pierre, W.H., Kirkham, D. Pesek, J. i Shaw, R.H. (eds.) *Am. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Am.*, Madison, Wis.
- Beuselinck, P.R., Ben Younes, M. i McGraw, R.L. (1986). Taxonomic investigation of an accession of *Lotus* spp. *Crop Science*. 26: 661 - 664.
- Biel, C., Araujo-Alves, J.P.L. i Savé, R. (1999). Effects of minimum irrigation technique on *Rosmarinus officinalis* L. Used in landscaping. *Proc. Third Inter. Symp. Irrigation of Horticultural Crops*. Estoril (Portugal).
- Biel, C., Llobet, M., Casadesús, J., Mujeriego, R. i Savé, R. (2006). Efecte sobre la qualitat de la vegetació de l'ús de l'aigua regenerada per al reg de zones verdes. En: Freixes, A. (Ed.) *Volum de Ponències de les II Jornades tècniques de gestió d'estacions depuradores d'aigües residuals*. Sistemes de sanejament i medi ambient, reutilització planificada de l'aigua. Agència Catalana de l'aigua.
- Bilger, W. i Björman, O. (1990). Role of the xanthophyll cycle in photoprotection elucidated by measurements of light - induced absorbance changes, fluorescence and photosynthesis in *Hedera canariensis*. 25: 173 - 185.
- Birth, G.S. i McVey, G.R. (1968). Measuring the color of a growing turf with a reflectance spectrophotometer. *Agronomy Journal*. 60: 640 - 643.
- Blackburn, G.A. (1998). Spectral indices for estimating photosynthetic pigment concentrations: a test using senescent tree leaves. *International Journal of Remote Sensing*. 19 (4): 657 - 675.
- Blits, K.C. i Gallagher, J.L. (1991). Morphological i physiological responses to increased salinity in marsh dune ecotypes of *Sporobolus virginicus* (L.) Kunth. *Oecologia*. 87: 330 - 335.
- Blonquist, J. M., Jones, S. B. i Robinson, D. A. (2006). Precise irrigation scheduling for turfgrass using a subsurface electromagnetic soil moisture sensor. *Agricultural Water Management*. 84(1-2): 153-165.
- Blum, A. (1996). Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. *Plant Growth Regulation*. 20(2): 135-148.
- BOE (1998). Llei 6/1998, de 13 d'abril, sobre règim del sòl i valoracions. *Butlletí Oficial de l'Estat* nº 89, de 14 d'abril. 9p.
- Boeker, P. (1974). Root development of selected turfgrass species and cultivars. p. 55-61. En: Roberts, E.C. (Ed.) *Proc. Int. Turfgrass Res. Conf.* 2nd. Blacksburg, V.A. 19-21 June 1973. ASA and CSSA, Madison, WI.
- Bonilla, I., El-Hamdaoui, A. i Bolanos, L. (2004). Boron and calcium increase *Pisum sativum* seed germination and seedling development under salt stress. *Plant and Soil*. 267 (1-2): 97 - 107.
- Bontoux J. i Courtois G. (1996). Wastewater reuse for irrigation in France. *Water Science and Technology*. 33 (10 - 11): 45 - 49.
- Borlaug N.E. i Dowsell C.R. (2005). Feeding a world of ten billion people: a 21st century challenge. En: *Proceedings of "In the Wake of the Double Helix: From the Green Revolution to the Gene Revolution"*, 27 - 31 May 2003, Bologna, Italy, pp. 3 - 24. (Eds.) Tuberosa, R., Phillips, R.L. i Gale, M. Bologna, Italy: Avenue Media.
- Bosch, J., Candela, X. i Jané, G. (2001). Plecs de prescripcions tècniques de manteniment dels espais verds. Nº 1. Diputació de Barcelona. Àrea de Cooperació.
- Bot, A. i Benites, J. (2005). The importance of soil organic matter. Key to drought-resistant soil and sustained food and production *FAO soils bulletin* nº 80. Food and Agriculture Organization of The United Nations, Rome.
- Botkin, D.B. i Beveridge, C.E. (1997). Cities as environments. *Urban Ecologist*. 1: 3 - 9.
- Boursier, P. i Läuchli, A. (1990). Growth responses and mineral nutrient relations of salt-stressed Sorghum. *Crop Science*. 30: 1226 - 1233.
- Bowman, D.C., Cherney, C.T. i Ruffy, T.W. (2002). Fate and transport of nitrogen applied to six warm-season turfgrasses. *Crop Science*. 42(3): 833 - 841.
- Bowman, D.C., Cramer, G.R. i Devitt, D.A. (2006). Effect of nitrogen status on salinity tolerance of tall fescue turf. *Journal of Plant Nutrition*. 29(8): 1491 - 1497.
- Bowman, D.C., Paul, J.L. i Davis, W.B. (1989). Nitrate and ammonium uptake by N-deficient Perennial Ryegrass and Kentucky Bluegrass turf. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 114: 421 - 426.
- Boyer, J.S., Nguyen, H.T. i Hsiao, T.C. (1996). Genetically engineered plants resistant to soil drying and salt stress: how to interpret osmotic relations? *Plant Physiology*. (110): 1051 - 1053.
- Bradford, K.J. i Hsiao, T.C. (1982). Physiological responses to moderate water stress. En: Lange, O.L., Nobel, P.S., Osmond, C.B. i Ziegler, H. (Eds.) *Physiological Plant Ecology II. Water relations and carbon assimilation*. *Encycl. Plant Physiology*. Berlin, Springer-Verlag. 12B: 264 - 324.
- Brian, I., Bravo, B., Bushkin-Harav, I. i Rawitz, E. (1981). Water consumption and growth rate of 11 turfgrasses as affected by mowing height, irrigation frequency, and soil moisture. *Agron. Journal*. 73: 85 - 90.
- Britton, N.L. i Brown, A. (1913). An illustrated flora of the northern United States, Canada and the British Possessions. 1: 268.
- Brown, D. (2003). (Ultra) Low maintenance lawns. *Extension Horticulturist*. University of Minnesota Extension. Yard and Garden Line News. Vol. 5 (7) <www.extension.umn.edu/yardandgarden/ygbriefs/h325lawn-lowmaint.html> Última consulta: 20/05/2010
- Brownell, P.F. i Crossland, C.J. (1972). Requirement for Sodium as a Micronutrient by Species Having C4 Dicarboxylic Photosynthetic Pathway. *Plant Physiology*. 49: 794-797.
- Burt, C., Clements, A., Strelkoff, S., Solomon, K., Bliesner, R., Hardy, L., Howell, T. i Eisenhauer, D. (1997). Irrigation performance measures: efficiency and uniformity. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 123 (6): 423 - 442.
- Busey, P. (2003). Cultural management of weeds in turfgrass: a review. *Crop Science*. 43: 1899 - 1911.
- CABE Space (2004). The Value of Public Space, how high quality parks and public spaces create economic, social and environmental value. Research Report, Commission for Architecture and the Built Environment, London.

- Cabot, P. i Travesa, E. (2000). Empleo de planta autóctona con fines ornamentales y paisajísticos. *Actas de Horticultura*. 31: 1-5.
- Cahill Jr, J. (2003). Lack of relationship between below-ground competition and allocation to roots in 10 grassland species. *Journal of Ecology*. 91: 532 - 540.
- Cahill, J.F. (1999). Fertilization effects on interactions between above- and below-ground competition in an old field. *Ecology*. 80: 466 - 480.
- Callaway, R.M. (1992). Effect of shrubs on recruitment of *Quercus douglassii* and *Quercus lobata* in California. *Ecology*. 73: 2118 - 2128.
- Camacho-Cristóbal, J. J., Rexach, J. i González-Fontes, A. (2008). Boron in plants: Deficiency and toxicity. *Journal of Integrative Plant Biology*. 50(10): 1247 - 1255.
- Camberato, J., Martin, B. i Dodd, R. (1999). Surface cooling and aeration at WildWing plantation. *Carlinas Green*. 35: 12 - 14.
- Caminos, T.S. i Estévez, S.J. (2001). Especies y variedades mesotérmicas aptas para formar césped en el centro sur de la provincia de Córdoba. Argentina. *Prod. Prot. Veg.* 16 (2): 237 - 248.
- Carmo-Silva, A.E., Soares, A.S., Marques da Silva, J., Bernades da Silva, A., Keys, A.J. i Arrabaça, M.C. (2007). Photosynthetic responses of three C_4 grasses of different metabolic subtypes to water deficit. *Functional Plant Biology*. 34: 204 - 213.
- Carr, R.M., Blumenthal, U.J. i Duncan, D. (2004). Guidelines for the safe use of wastewater in agriculture: revising WHO guidelines. *Water Science and Technology*. 50 (2): 31 - 38.
- Carroll, M.J., Dernoeden, P.H. i Krouse, J.M. (1996). Zoysiagrass establishment from springs following application of herbicides, nitrogen, and a biostimulator. *HortScience*. 31: 972 - 975.
- Carrow, R.B. (1996). Summer decline of bentgrass greens. *Golf Course Mgt.* 64: 51 - 56.
- Carrow, R.N. (1995). Drought resistance aspects of turfgrasses in the southeast: evapotranspiration and crop coefficients. *Crop Science* 36: 1685 - 1690.
- Carrow, R.N. i Duncan, R. R. (2003). Improving drought resistance and persistence in turf-type tall fescue. *Crop Science*. 43: 978 - 984.
- Carrow, R.N. (2006). Can we maintain turf customers satisfaction with less water? *Agricultural water management*. 80: 117 - 131.
- Carson, W.P. i Pickett, S.T.A. (1990). Role of resources and disturbance in the organization of an old-field plant community. *Ecology*. 71: 226-238.
- Carter, G.A., Paliwal, K., Pathre, U., Green, T.H., Mitchell, R.J. i Gjerstad, D.H. (1989). Effect of Competition and Leaf Age on Visible and Infrared Reflectance in Pine Foliage. *Plant Cell and Environment*. 12 (3): 309 - 315.
- Casadesús, J., Biel, C. i Savé, R. (2005). Turf color measurement with conventional digital cameras. EFITA/WCCA2005. The 5th Conference of the European Federation for Information Technology in Agriculture, Food and Environment and the 3rd World Congress on Computers in Agriculture and Natural Resources. Vila Real, Portugal.
- Casadesús, J., Kaya, Y., Bort, J., Nachit, M.M., Araus, J. L., Amor, S., Ferrazzano, G., Maalouf, F., Maccaferri, M. i Martos, V. (2007). Using vegetation indices derived from conventional digital cameras as selection criteria for wheat breeding in water-limited environments. *Annals of Applied Biology*. 150 (2): 227 - 236.
- Casler, M.D. (2006). Perennial grasses for turf, sport and amenity uses: evolution of form, function and fitness for human benefit. *Journal of Agricultural Science*. 144: 189-203.
- Casper, B.B. i Jackson, R.B. (1997). Plant competition under-ground. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 28: 545 - 570.
- Castel, J.R., Bautista, I., Ramos, C. i Cruz, G. (1987). Evapotranspiration and irrigation efficiency of mature orange orchards in Valencia (Spain). *Irri. and Drainage Sys.* 3: 205 - 217.
- Catalán, B., Saurí, D. i Serra, P. (2008). Urban sprawl in the Mediterranean? Patterns of growth and change in the Barcelona Metropolitan Region 1993 - 2000. *Landscape and Urban Planning*. 85 (3-4): 174 - 184.
- Cater, G.A. i Spiering, B.A. (2002). Optical properties of intact leaves for estimating chlorophyll concentration. *J. Environ. Quality*. 31: 1424 - 1432.
- Cereti, C.F., Rossini, F. i Nasseti, F. (2004). Water supply reduction on warm season grasses in Mediterranean environment. *Proceedings of the 1st International Conference on Turfgrass Management and Science Sports Fields*. 661: 153 - 158.
- Chalina, C. (2001). Urbanisation and town management in the Mediterranean countries: Assessment and perspectives for sustainable urban development. UNEP. Mediterranean Commission On Sustainable Development, Barcelona.
- Challa, P. i Ravindra, V. (1998). Allelopathic effects of major weeds on vegetable crops. *Allelopathy Journal*. 5: 89 - 92.
- Chapman, S.C. i Barreto, H.J. (1997). Using a Chlorophyll Meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. *Agronomy journal*. 89: 557 - 562.
- Chen, Z.H., Zhou, M.X., Newman, I.A., Mendham, N.J., Zhang, G.P. i Shabala, S. (2007). Potassium and sodium relations in salinised barley tissues as a basis of differential salt tolerance. *Functional Plant Biology*. 34 (2): 150 - 162.
- Chiwocha, S.D.S., Cutler, A.J., Abrams, S.R., Ambrose, S.J., Yang, J. et al. (2005). The *etr1-2* mutation in *Arabidopsis thaliana* affects the abscisic acid, auxin, cytokinin and gibberellin metabolic pathways during maintenance of seed dormancy, moist-chilling and germination. *Plant Journal*. 42 (1): 35 - 48.
- Choi, C.Y. i Suarez-Rey, E.M. (2004). Subsurface drip irrigation for bermudagrass with reclaimed water. *Transactions of the ASAE*. 47 (6): 1943 - 1951.
- Chung, M.I. i Miller, D.A. (1995a). Effect of alfalfa plant and soil extracts on germination and growth of alfalfa. *Agronomy Journal*. 87: 762 - 767.
- Chung, M.I. i Miller, D.A. (1995b). Allelopathic influence of nine forage grass extracts on germination and seedling growth of alfalfa. *Agronomy Journal*. 87: 767 - 772.
- Cirera, J. (2003). Comunicació personal. Monografies de Paisatgisme i Jardineria. Institució Catalana d'Estudis Agraris. Institució Catalana d'Història Natural. Barcelona.
- Clapham, A.R., Tutin, T.G., Moore, D.M. (1987). *Flora of the British Isles*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Clary, J. (2006) Distribution and ecophysiological adaptations of annual and perennial grasses in Mediterranean climate zones of California and the Iberian Peninsula. Ph.D. dissertation, University of California, Davis.
- Clary, J. (2008). Rainfall seasonality determines annual/perennial grass balance in vegetation of

- Mediterranean Iberian. Plant Ecology. 195 (1): 13 - 20.
- Clary, J., Savé, R., Biel, C. i de Herralde, F. (2004). Water relations in competitive interactions of Mediterranean grasses and shrubs. *Annals of Applied Biology*. 144 (2): 149-155.
- Col·legi Oficial d'Enginyers Tècnics Agrícoles i Pèrits Agrícoles de Catalunya. (2001). NTJ 07N Gespes i Prats. Normes Tecnològiques de Jardineria i Paisatgisme (NTJ). Col·legi Oficial d'Enginyers Tècnics Agrícoles i Pèrits Agrícoles de Catalunya. Barcelona.
- Col·legi Oficial d'Enginyers Tècnics Agrícoles i Pèrits Agrícoles de Catalunya. (1999). NTJ 13G Mètodes d'anàlisi de camp i de sòls de gespes no esportives i prats. Normes Tecnològiques de Jardineria i Paisatgisme (NTJ). Col·legi Oficial d'Enginyers Tècnics Agrícoles i Pèrits Agrícoles de Catalunya. Barcelona.
- Col·legi Oficial d'Enginyers Tècnics Agrícoles i Pèrits Agrícoles de Catalunya. (1997). NTJ 14G Manteniment de gespes no esportives i prats. Normes Tecnològiques de Jardineria i Paisatgisme (NTJ). Col·legi Oficial d'Enginyers Tècnics Agrícoles i Pèrits Agrícoles de Catalunya. Barcelona.
- Colabelli, M. i Miñón, D. (1994). Rendimiento y cambios botánicos de pasturas de *Lotus tenuis* puro y en mezcla bajo régimen de corte. *Agricultura técnica (Chile)*. 54: 34 - 45
- Colbaugh, P.F. i Elemore, C.L. (1985). Influence of water on pest activity p. 113 - 129. En: Giberault, V.A. i Cocklerham, S.T. (eds.) *Turfgrass water conservation*. Cooperate extension. University of California.
- Compo. Floranid® Césped y Floranid® Permanent <www.compo-expert.com/cl/productos/fertilizantes-de-lenta-liberacion-basados-en-isodur-ibdu.html> Última consulta: 20/05/2010
- Connell, J.H. (1983). On the prevalence and relative importance of interspecific competition: evidence from field experiments. *American Naturalist*. 122: 661 - 696.
- Connell, J.H. i Slatyer, R.O. (1977). Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organisation. *American Naturalist*. 111: 1119 - 1144.
- Connolly, J., Waite, P. i Bazzaz, F.A. (2001). Interspecific competition in plants: how well do current methods answer fundamental questions? *The American Naturalist*. 157 (2): 107 - 125.
- Cooper, R.J. i Spokas, L.A. (1991) Growth, quality, and foliar iron concentration of kentucky bluegrass treated with cheated iron sources. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116: 798 - 801
- Correa, O.S., Aranda, A i Barneix, A.J. (1995). Effect of pH on the growth of *Medicago sativa* and *Lotus tenuis*. *Lotus Newsletter*. 26: 12 - 13.
- Costello, L.R., Matheny, N.P. i Clark, J.R. (2000). A Guide to Estimating Irrigation Water Needs of Landscape Plantings in California. The Landscape Coefficient Method and WUCOLS III. (Water Use Classifications of Landscape Species). University of California Cooperative Extension. California Department of Water Resources.
- Crabbe, M., Gommès, R., Petrassi, F., Cattabiani, V. i Hegedus, P. (1984). Agroclimatic data for Africa. 1. Countries north of the equator. *FAO Plant Production and Protection Series*, nº 22.
- Cramer, G.R. (2002). Response of abscisic acid mutants of *Arabidopsis* to salinity. *Funct. Plant Biol.* 29: 561 - 67.
- Cramer, G.R. i Läuchli, A. (1986). Ion Activities in Solution in Relation to Na⁺ - Ca²⁺ Interactions at the Plasmalemma. *Journal of Experimental Botany*. 37 (176): 321 - 330.
- Cramer, G.R., Läuchli, A. i Polito, V.S. (1985). Displacement of Ca²⁺ by Na⁺ from the plasmalemma of root cells a primary response to salt stress. *Plant Physiology*. 79 (1): 207 - 211.
- Creus, O. (2004). La gestió tècnica i administrativa d'un projecte de reutilització en l'empresa privada. Jornada de treball sobre la utilització d'aigua regenerada per al reg de camps de golf i d'Espais Verds. Organitzada pel Consorci de la Costa Brava. Fundació Mas Badia (Girona).
- Creus, O. (2006). Principals malalties i plagues en gespes. 9a Jornades tècniques sobre jardineria. Vilafranca del Penedès.
- Critchfield, H.J. (1983). *General climatology*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Cudney, D.W., Downer, J.A., Gibeault, V.A., Henry, J.M. i Reints, J.S. (1993). Kikuyugrass (*Pennisetum clandestinum*) management in turf. *Weed Technol.* 7: 180 - 184.
- Curcio, J.A. i Petty, C.C. (1951). The near infrared absorption spectrum of liquid water. *J. Opt. Soc. Am.* 41: 302 - 304.
- Daget, P. (1985). The Mediterranean bioclimates and some of their consequences on vegetation, *Int. Turfgrass Soc. Res. J.* 5: 25 - 35.
- DaCosta, M. i Huang, B.R. (2006). Deficit irrigation effects on water use characteristics of bentgrass species. *Crop Science*. 46 (4): 1779 - 1786.
- Dai, J., Huff, D.R. i Schlossberg, M.J. (2009). Salinity effects on seed germination and vegetative growth of greens-type *Poa annua* relative to other cool-season turfgrass species. *Crop Science*. 49(2): 696 - 703.
- Dai, L. (2000). Public perception of naturalistic herbaceous vegetation in urban landscape and key factors that determine response. Masters Dissertation, Department of Landscape, University of Sheffield.
- Danielson, R.E., Hard, W.E., Feldhake, C.M. i Haw, P.M. (1979). Water requirements for urban lawns. Completion Report to OWRT Project B-035-WYO. Pp 91.
- Datt, B. (1999). Visible / near infrared reflectance and chlorophyll content in Eucalyptus leaves. *Infl. J. Remote Sens.* 20: 2741 - 2759.
- Davidson, J.L. i Milthorpe, F.L. (1966). Leaf growth in *Dactylis glomerata* following defoliation. *Annals of Botany*. 30: 173 - 184.
- De Herralde, F., Biel, C., Savé, R., Morales, M.A., Torrecillas, A., Alarcón, J.J. i Sánchez - Blanco, M.J. (1998). Effect of water and salt stresses on the growth, gas exchange and water relations in *Argyranthemum coronopifolium* plants. *Plant Science*. 139: 9 - 17.
- Dean, D.E., Devitt, D.A., Verchick, L.S. i Morris, R.L. (1996). Turfgrass quality, growth, and water use influenced by salinity and water stress. *Agronomy Journal*. 88: 844 - 849.
- Dean-Knox, D.E., Devitt, D.A., Verchick, L.S. i Morris, R.L. (1998). Physiological response of two turfgrass species to varying ratios of soil matric and osmotic potentials. *Crop Science*. 38: 175 - 181.
- De Kroon, H. (2007). Ecology - How do roots interact? *Science*. 318 (5856): 1562-1563.
- Delachiave, M.E.A., Orika, O. i Rodrigues, J.D. (1999). Efeitos Alelopáticos de Grama Seda (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.) na Germinação de Sementes de

- Pepino, Milho, Feijão e Tomate. Revista Brasileira de Sementes, Brasília. 21 (1): 194 - 197.
- Demarty, M., Morvan, C. i Thellier, M. (1984). Calcium and the Cell-Wall. Plant Cell and Environment. 7 (6): 441 - 448.
- Demming - Adams, B. i Adams, W.W. (1996). Xanthophyll cycle and light stress in nature: uniform response to excess direct sunlight among higher plant species. Planta. 198: 460 - 470.
- Dengler, N.G., Dengler, R.E., Donnelly, P.M. i Hattersley, P.W. (1994). Quantitative leaf anatomy of C₃ and C₄ grasses (Poaceae) - Bundle-sheath and mesophyll surface-area relationships. Annals of Botany. 73 (3): 241 - 255.
- DeOreo, W.B. i Lander, P. (1995). Summary: performance of soil moisture sensor operation in Boulder, Colorado (1993 -1994). En: Proceedings Irrigation Association National Meeting, Phoenix, Arizona.
- Dernoeden, P.H., Carroll, M.J. i Krouse, J.M. (1994). Mowing of tree fescue species for low maintenance turf sites. Crop Science. 34 (6): 1645 - 1649.
- Dettman-Kruse, J.K., Christians, N.E. i Chaplin, M.H. (2008). Predicting soil water content through remote sensing of vegetative characteristics in a turfgrass system. Crop Science. 48 (2): 763 - 770.
- Devitt, D.A., Lockett, M., Morris, R.L. i Bird, B.M. (2007). Spatial and temporal distribution of salts on fairways and greens irrigated with reuse water. Agronomy Journal. 99(3): 692 - 700.
- Devitt, D.A., Bowman, D.C. i Schulte, P.J. (1993). Response of *Cynodon dactylon* to prolonged water deficits under saline conditions. Plant and Soil. 148: 239 - 251.
- Devitt, D.A., Morris, R.L. i Browman, D.C. (1992). Evapotranspiration, crop coefficients, and leaching fractions of irrigated desert turfgrass systems. Agron. J. 84: 717 - 723.
- Devitt, D.A., Neuman, D.S., Browman, D.C. i Morris, R.L. (1995). Comparative water use of turfgrasses and ornamental trees in an arid environment. J. Turfgrass Mgt. 2: 47 - 63.
- Diboll, N. (2004). Creating prairie meadow ecosystems as the New American lawn. International Conference on Urban Horticulture. Acta Horticulturae. Leuven, Belgium: International Society for Horticultural Science (ISHS). 643: 57-70.
- DiTommaso, A. i Aarssen, L.W. (1989). Resource manipulations in natural vegetation: a review. Vegetatio. 84: 9 - 29.
- DOCE (2003). Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y el Consejo de 23 de Octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Diario Oficial de la Comunidad Europea. L 327 de 22 de desembre de 2000: 72p.
- Dodd, R., Martin, B. i Camberato, J. (1999). Subsurface cooling and aeration. Golf Course Mgt. 67:71 - 74.
- Doehlert, D.C., McMullen, M.S. i Baumann, R.R. (1999). Factors affecting groat percentatge in oat. Crop Science. 39: 1858 - 1865.
- Domene, E. i Saurí, D. (2006). Urbanisation and water consumption: Influencing factors in the Metropolitan Region of Barcelona. Urban Studies. 43(9): 1605 - 1623.
- Dong, M. i de Kroon, H. (1994). Plasticity in morphology and biomass allocation in *Cynodon dactylon*, a grass species forming stolons and rhizomes. Oikos. 70: 99 - 106.
- Dong, M. i Pierdominici, M.G. (1995). Morphology and growth of stolons and rhizomes in three clonal grasses, as affected by different light supply. Vegetatio. 116: 25 - 32.
- Dong, Z.S., Yang, G. i Shen, G.H. (2005). Biological characteristics of *Pennisetum clandestinum* and its utilization. Pratacultural Science. 22 (1): 36 - 40.
- Doorenbos, J. i Pruitt, W.O. (1977). Guidelines for predicting crop water requirements. Irrigation and Drainage paper nº 24. 144 pp. FAO. Roma. Review edition 1997.
- Doran, J. W., Sarrantonio, M. i Liebig, M. A. (1996). Soil health and sustainability. Advances in Agronomy. 56: 1 - 54.
- Doss B.D., Bennett, O.L., Ashley, D.A. i Weaver, H.A. (1962). Soil moisture regime effect on yield and evapotranspiration from warm season perennial forage species. Agronomy Journal. 54: 239 - 242.
- Downtown, W.J.S. i Treguna, E.B. (1968). Carbon dioxide compensation - its relation to photosynthetic carboxilation reactions, systematics of the Gramineae, and leaf anatomy. Can. J. Bot. 46: 207 - 215.
- Du, H.M., Wang, Z.L. i Huang, B.R. (2008). Differential responses of tall fescue and zoysiagrass to heat and drought stress. Proceedings of the 2nd International Conference on Turfgrass Science and Management for Sports Fields. 783: 207 - 213.
- Duble, R. L. (2001). Turfgrasses: Their Management and Use in the Southern Zone. 2nd ed. Texas A&M University Press, EUA. pp. 336.
- Dudeck, A.E. i Peacock, C.H. (1980). Effects of several overseeded ryegrass on turf quality, traffic tolerance, and ball roll. P. 75-81. En: Sheard, R.W. (ed.). Proc. Fourth Intl. Turf Res Conf. Ontario Ar. Coll., Guelph, Ont.
- Dudeck, A.E. i Peacock, C.H. (1985). Effects of salinity on seashore paspalum turfgrasses. Agron. J. 77: 47 - 50.
- Dudley, S.A. i File, A.L. (2007). Kin recognition in an annual plant. Biology Letters. 3 (4): 435-438.
- Duncan, R.R. i Carrow, R.N. (1999). Turfgrass molecular genetic improvement for abiotic / edaphic stress resistance. Advances in Agronomy. 67: 233 - 305.
- Dunn, J.H., Minner, D.D., Fresenburg, B.F. i Bughrara, S.S. (1994). Bermudagrass and cool season turfgrass mixtures: Response to simulated traffic. Agron. J. 86:10 - 16.
- Dunnett, N., (2004). The dynamic nature of plant communities; pattern and process in designed plant communities. En: Dunnett, N., Hitchmough, J.D. (Eds.), The Dynamic Landscape, Design, Ecology and Management of Naturalistic Urban Planting. Spon Press, London, pp. 97 - 114.
- Duran-Ros, M., Puig-Barques, J., Arbat, G., Barragan, J. i de Cartagena, F. R. (2009). Effect of filter, emitter and location on clogging when using effluents. Agricultural Water Management. 96(1): 67 - 79.
- Eamus, D. (1987). Influence of preconditioning upon the changes in leaf conductance and leaf water potential of soybean, induced by chilling, water stress and abscisic acid. Aust. J. Plant Physiol. 14: 331 - 339.
- Eardly, B.D., Hannaway, D.B. i Bottomley, P.J. (1985). Nitrogen nutrition and yield of seedling alfalfa as affected by ammonium nitrate fertilization. Agron. J. 77: 57 - 62.
- Edbon, J.S., Petrovic, A.M. i White, R.H. (1999). Interaction of Nitrogen, Phosphorus, and Potassium on Evapotranspiration Rate and Growth of Kentucky Bluegrass. Crop Science. 39: 209 - 218.

- Edwards, G. i Walker, D. (Eds.) (1983). C₃, C₄: mechanisms, and cellular and environmental regulation, of photosynthesis. Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Ehleringer, J. i Bjorkman, O. (1977). Quantum Yields for CO₂ Uptake in C-3 and C-4 Plants - Dependence on Temperature, CO₂, and O₂ Concentration. *Plant Physiology*. 59(1): 86 - 90.
- Eissenstat, D. (2000). Root structure and function in an ecological context. (Forum). *New Phytol.* 148: 353 - 354.
- Eissenstat, D.M. (1997). Trade-offs in root form and function. En: Jackson, L.E. (Ed.) *Ecology in Agriculture*. Academic Press, San Diego. pp. 173 - 199.
- Eissenstat, D.M., Achor, D.S. (1999). Anatomical characteristics of roots of citrus rootstocks that vary in specific root length. *New Phytologist*. 141: 309 - 321.
- Eissenstat, D.M. (1991). On the relationship between specific root length and the rate of root proliferation - a field study using citrus rootstocks. *New Phytologist*. 118 (1): 63 - 68.
- Eldredge, E.P., Schock, C.C. i Stieber, T. (1993) Calibration of granular matrix sensors for irrigation management. *Agron. J.* 85: 1228 - 1232.
- Elliott, M.L. i Jardin, E.A.D. (1999). Effect of organic nitrogen fertilizers on microbial populations associated with bermudagrass putting greens. *Biology and Fertility of Soils*. 28 (4): 431 - 435.
- Ensign, R.D. i Weiser, G.C. (1975). Root and rhizome development of some kentucky bluegrass and red fescue cultivars. *Agronomy Journal*. 67: 583 - 585.
- Erikson, M., (1993). Field layer productivity of Western Estonian alvar plant communities. B.Sc. Thesis, Institute of Botany and Ecology, University of Tartu. Estonian.
- Ervin, E.H. i Kroski, A.J. (1998). Drought avoidance aspects and crop coefficients of Kentucky bluegrass and tall fescue turfs in the semiarid west. *Crop Science*. 38: 788 - 795.
- Erwing, R.P. i Horton R. (1999). Quantitative color image analysis of agronomic images. *Agron. J.* 91: 148 - 153.
- Estrella, J.M., Pieckenstein, F.L., Ugalde R.A. i Iglesias. A.A. (1997). Studies on the symbiotic potential of a *Rhizobium loti* strain native from Chascomús on *Lotus pedunculatus* and *Lotus corniculatus* var. *hirsutus* plants. *Lotus newsletter*. 28.
- Fàbregas, F.X., Requena, J.F., Hernández, A., Masvidal, L., Salicrú, J., Tarragó, J. i Yébenes, M.J. (1993). Implantación del material vegetal. Siembras y céspedes. Normas Tecnológicas de Jardinería y Paisajismo, NTJ 08S. Col·legi Oficial d'Enginyers Tècnics Agrícoles i Pèrits Agrícoles de Catalunya. Barcelona.
- Faby, J.A., Brissuad, F. i Bontoux, J. (1999). Wastewater reuse in France: water quality standards and wastewater treatment technologies. *Water Science and Technology*. 40 (4-5): 37 - 42.
- Facelli, J.M. i Pickett, S.T.A. (1991). Plant litter: light interception and effects on an old-field plant community. *Ecology* 72: 1024 - 1031.
- Fagerness, M.J., Yelverton, F.H., Livingston, III, D.P. i Rufty, Jr. T.W. (2002). Temperature and trinexapac - ethyl effects on bermudagrass growth, dormancy, and freezing tolerance. *Crop Science*. 42: 853 - 858.
- Farnham D.E. i George J.R. (1994). Dinitrogen fixation and nitrogen transfer in birdsfoot trefoil-orchardgrass communities. *Agron. J.* 86: 890 - 894.
- Faye, S.C., Faye, S., Wohnlich, S. i Gaye, C.B. (2004). An assessment of the risk associated with urban development in the Thiaroye area (Senegal). *Environmental Geology*. 45 (3): 312 - 322.
- Feldhake, C.M., Danielson, R.E. i Butler, J.D. (1983). Turfgrass evapotranspiration. I. Factors influencing rate in urban environments. *Agronomy Journal*. 75: 824 - 830.
- Feldhake, C.M., Danielson, R.E. i Butler, J.D. (1984). Turfgrass evapotranspiration. II. Responses to deficit irrigation. *Agronomy Journal*. 76: 85 - 89.
- Fenner, M. i Thompson, K. (2005). *The Ecology of Seeds*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Fenstermaker - Shaulis, K.L., Leskys, A. i Devitt, D.A. (1997). Utilization of remotely sensed data to map and evaluate turfgrass stress associated with drought. *Journal of Turfgrass Management* 2: 65 - 82.
- Fereres, E. (1981). (Ed.) *Drip Irrigation management*. Univ. of California Berkeley, Calif. Agric. Nat. Resour. 39pp.
- Fernández, O.N. (2003). Establishment of *Cynodon dactylon* from stolon and rhizome fragments. *European weed research society weed research*. 43: 130 - 138.
- Fernández, O.N., Vignolio, O.R. i Requesens E.C. (2002). Competition between corn (*Zea mays*) and bermudagrass (*Cynodon dactylon*) in relation to the crop plant arrangement. *Agronomie*. 22: 293 - 305.
- Filella, I., Amaro, T., Araus, J.L. i Peñuelas, J. (1996). Relationship between photosynthetic radiation-use efficiency of barley canopies and the photochemical reflectance index (PRI) *Physiologia Plantarum*. 96: 211 - 216.
- Filella, I., Porcar-Castell, A., Munne-Bosch, S., Back, J., Garbulsky, M. F. i Peñuelas, J. (2009). PRI assessment of long-term changes in carotenoids / chlorophyll ratio and short-term changes in de-epoxidation state of the xanthophyll cycle. *International Journal of Remote Sensing*. 30 (17): 4443 - 4455.
- Filella, I., Serrano, L., Serra, J. i Peñuelas, J. (1995). Evaluating wheat nitrogen status with canopy reflectance indices and discriminate analysis. *Crop Science*. 35: 1400 - 1405.
- Filippi, O. (2008). Un jardí sense reg. I Congrés SPV. Aigua i espais verds mediterranis. Saló de la Planta, Jardí i complements (17 - 19 de setembre a Girona).
- Fitter, A.H. i Stickland, T.R. (1991). Architectural analysis of plant root systems. 2. Influence of nutrient supply on architecture in contrasting in plant species. *New Phytologist*. 119: 383 - 389.
- Flexas, J., Bota, J., Loreto, F., Cornic, G. i Sharkey, T.D. (2004). Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C₃ plants. *Plant Biology*. 6: 269 - 279.
- Flowers, T.J. i Colmer, T.D. (2008). Salinity tolerance in halophytes. *New Phytologist*. 179 (4): 945 - 963.
- Forbes, I. i Ferguson, M.H. (1947). Observations on the *Zoysia* grasses. *Greenkeepers' Reporter*. 15:7 - 9.
- Fowler, N.L. (1986). Microsite requirements for germination and establishment of three grass species. *Am. Mid. Nat.* 115: 131 - 145.
- Foyer, H., Bloom, J., Queval, G. i Noctor, G. (2009). Photorespiratory metabolism: genes, mutants, energetics, and redox signaling. *Annual Review of Plant Biology*. 60: 455.
- Francis, D.D. i Piekielek, W.P. (1999). Assessing crop nitrogen needs with chlorophyll meters. *Internacional*

- Plant nutrition Institute. Site specific management guidelines. SSMG-12. Potash and Phosphate Inst., Norcross, GA.
- Franco, J. A., Bañón, S., Fernández, J. A. i Leskovar, D. I. (2001). Effect of nursery regimes and establishment irrigation on root development of *Lotus creticus* seedlings following transplanting. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*. 76: 174 – 179.
- Franco, J.A., Martínez-Sánchez, J.J., Fernández, J.A. i Bañón, S. (2006). Selection and nursery production of ornamental plants for landscaping and xerogardening in semi-arid environments. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 8(1):3 – 17.
- Fransen, B., Blijenberg, J. i De Kroon, H. (1999). Root morphological plasticity of perennial grass species and the exploitation of spatial and temporal heterogeneous nutrient patches. *Plant and Soil*. 211: 179 – 189.
- Frappell, B.D. (1979). Competition in vegetable crop communities. *Journal of the Australian Institute of Agricultural Science*. 45: 211-217.
- Freckleton, R.P. i Watkinson, A.R. (2001) Asymmetric competition between plant species. *Functional Ecology*. 15: 615 – 623.
- Fricke, W. i Peters, W.S. (2002). The biophysics of leaf growth in salt-stressed barley. A study at the cell level. *Plant Physiol*. 129: 374 – 388.
- Friedler, E. (2001). Water reuse, an integral part of water resources management: Israel as a case study. *Water Policy*. 3(1): 29 – 39.
- Fu, J.M., Fry, J. i Huang, B. (2004). Minimum water requirements of four turfgrasses in the transition zone. *HortScience*. 39 (7): 1740 – 1744.
- Fry, J.D. i Butler, J.D. (1989). Responses of tall fescue and hard fescue to deficit irrigation. *Crop Science* 29: 1535 – 1541.
- Fu, J.M., Fry, J. i Huang, B.R. (2007). Growth and carbon metabolism of tall fescue and zoysiagrass as affected by deficit irrigation. *Hortscience*. 42 (2): 378 – 381.
- Gallardo, M., Jackson, L.E. i Thompson, R.B. (1996). Shoot and root physiological responses to localized zones of soil moisture in cultivated and wild lettuce (*Lactuca* spp.). *Plant. Cell. Environ*. 19: 1169 – 1178.
- Galli, M., Laurencena, M.I., Carponi, M.S., Butus, M., Reinoso, P.D. i Scorciapino, C. (2007). Sports grass: behaviour of AZ-1 cultivar of *Pennisetum clandestinum* Hochst ex Chiov (kikuyo) Parana, Entre Rios, Argentina. *Revista De La Facultad de Ciencias Agrarias*. 39 (2): 81 – 90.
- Gamon, J.A., Field, C.B., Freedman, A.L. i Thayer, S. (2001). Assessing photosynthetic down regulation in sunflower stands with an optically – based model. *Photosynthesis Research*. 67: 113 – 125.
- Gamon, J.A., Field, C.B., Goulden, M.L., Griffin, K.L., Hartley, A.E., Joel, G., Peñuelas, J. i Valentini, R. (1995). Relationships between NDVI, canopy structure, and photosynthesis in 3 californian vegetation types. *Ecological Applications*. 5: 28 – 41.
- Gamon, J.A., Filella, I. i Peñuelas, J. (1993) The dynamic 531 nm reflectance signal: A survey of twenty angiosperm species. En: Yamamoto, H.Y. i Smith, C.M. (eds.) *Photosynthetic Responses to the Environment*. Rockville: American Society of Plant Physiologists, pp. 172 – 177.
- Gamon, J.A., Peñuelas, J. i Field, C.B. (1992). A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. *Remote Sensing of Environment*. 41: 35 – 44.
- Gamon, J.A., Serrano, L. i Surfus, J. (1997). The photochemical reflectance index: an optical indicator of photosynthetic radiation-use efficiency across species, functional types and nutrient levels. *Oecologia*. 112: 492 – 501.
- Gardner, W.H. (1986). Water content. En: Klute, A. (ed) *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods*, 2nd ed. Agronomy Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, pp 635 – 662.
- Garling, D.C. i Boehm, M.J. (2001). Temporal effects of compost and fertilizer applications on nitrogen fertility of golf course turfgrass. *Agronomy Journal*. 93 (3): 548 – 555.
- Garlitz, R. (1992). The spread of *Puccinellia distans* (reflexed saltmarsh grass) in Michigan. *The Michigan Botanist*. 31: 69 – 74.
- Garrot, D.J.Jr. i Marcino, C.F. (1994). Consumptive water use of three intensively Managed bermudagrasses growing under arid conditions. *Crop Science*. 34: 215 – 221.
- Gates, R.N., Hill, G.M. i Bouton, J.H. (1999). Wintering beef cattle on mixtures of 'Georgia 5' tall fescue and warm season perennial grasses on coastal plain soils. *Journal of production agriculture*. 12: 581 – 587.
- Gaussoin, R.E., Branham, B.E. i Flore, J.A. (1997). Carbon dioxide exchange rate and chlorophyll content of turfgrasses treated with flurprimidol or mefluidide. *Journal of plant Growth Regulation*. 16: 73 – 78.
- Gebhart, C.J., S.M. Barn, i S. McOrist. (1993). Ileal symbiotic intracellularis, and obligate intracellular bacterium of porcine intestines showing a relationship to *Desulfovibrio* species. *Int. J. Syst. Bacteriol*. 43: 533 – 538.
- Gedroc, J.J., McConaughay, K.D.M. i Coleman, J.S. (1996). Plasticity in root/shoot partitioning: optimal, ontogenic or both? *Functional Ecology*. 10: 44 – 50.
- Gerhart, V. J., Kane, R. i Glenn, E. (2006). Recycling industrial saline wastewater for landscape irrigation in a desert urban area. *Journal of arid environments*. 67 (3): 473 – 486.
- Gerritse, R.G. (2002). Movement of nutrients from Onsite wastewater systems in soils. Department of Health water rivers commission, DEP, and DPI: Perth, WA. Pp 1 – 34.
- Ghannoum, O., Evans, J. R., Chow, W. S., Andrews, T.J., Conroy, J.P. i von Caemmerer, S. (2005). Faster rubisco is the key to superior nitrogen-use efficiency in NADP-malic enzyme relative to NAD-malic enzyme C-4 grasses. *Plant Physiology*. 137 (2): 638 – 650.
- Ghannoum, O. (2009). C₄ photosynthesis and water stress. *Annals of Botany*. 103 (4): 635 – 644.
- Gibeault, V.A. (2002). Turf protects the environment, benefits health. UCRTRAC Newsletter, Dec 2002. Univ. of California, Riverside, CA.
- Gibson, D.G., Connolly, J., Hartnett, D.C. i Weidenhamer, D.J. (2001). Designs for greenhouse studies of interactions between plants. *Journal of Ecology*. 87: 1 – 16.
- Gibson, D.J. (1988) The maintenance of plant and soil heterogeneity in dune grassland. *Journal of Ecology*. 76: 497 – 508.
- Gitelson, A.A. i Merzlyak, M.N. (1994). Spectral reflectance changes associated with autumn senescence of *Aesculus hippocastanum* L. and *Acer platanoides* L. leaves. Spectral features and relation to chlorophyll estimation. *Journal of Plant Physiology*. 143: 286 – 292.
- Gitelson, A.A., Merzlyak, M.N. i Lichenthaller, H.K. (1996). Detection of red edge position and chlorophyll content by reflectance data seashore *Paspalum* under traffic stress. *J. Amer. Soc. Hort. Sci*. 128: 343 – 348.

- Gleason, H.A. (1926). The individualistic concept of the plant association. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*. 53: 7 – 26.
- Glenn, E.P., McKeon, C., Nagler, P. L., Jordan, F. i Artiola, J. (2009). Deficit irrigation of a landscape halophyte for reuse of saline waste water in a desert city. Deficit irrigation of a landscape halophyte for reuse of saline waste water in a desert city. 89 (3-4): 57 – 64.
- Global Environmental Facility (GEF). (2001). Albania Integrated Water and Ecosystems Management Project. Concept Note.
- Goldberg, D.E. i Fleetwood, L. (1987). Competitive effect and response in four annual plants. *Journal of Ecology*. 75: 1131 – 1143.
- Goldberg, D.E. i Werner, P.A. (1983). Equivalence of competitors in plant communities: a null hypothesis and a field experimental approach. *American Journal of Botany*. 70 (7): 1098 – 1104.
- Goldhamer, D.A. (1989). Drought irrigation strategies for deciduous orchards. Cooperative extension. University of California. Div. Agric. and Natural Resources. Publication n° 21453, 15 pp.
- Gooding, M.J. i Gamble, L.J. (1990). Color evaluation of *Poa pratensis* cultivars. *J. Sports Turf Res. Inst.* 66: 134 – 140.
- Gough, L., Osenberg, C.W., Gross, K.L. i Collins, S.L. (2000). Fertilization effects on species density and primary productivity in several herbaceous plant communities. *Oikos*. 89: 428 – 439.
- Grace J.M. III, Rummer, B., Stokes, B.J. i Wilhoit, J. (1998). Evaluation of erosion control techniques on forest roads. *Transactions of the ASAE*. 41: 383 – 391.
- Graham, J.H., Syvertsen, J.P. (1985). Host determinants of mycorrhizal dependency of citrus rootstock seedlings. *New Phytologist* 101: 667 – 676.
- Graham, P. (1992). Stress tolerance in *Rhizobium* and *Bradyrhizobium* and nodulation under adverse soil conditions. *Canadian Journal of Microbiology*. 38: 475 – 484.
- Grant, W.F., Marten, G.C. (1985). Birdsfoot trefoil. En: Heath, M.E., Barnes, R.F. i Metcalfe, D.S. (Eds.) *Forages: the science of grassland agriculture*. pp.98 – 108. Iowa State University Press.: Ames.
- Grattan S. R., Royo, A. i Aragüés, R. (1994) Chloride accumulation and partitioning in Barley as affected by differential root and foliar salt absorption under saline sprinkler irrigation. *Irrigation Science*. 14 (3): 147 – 155.
- Grattan, S.R. i Grieve, C.M. (1992). Mineral element acquisition and growth response of plants grown in saline environments, *Agric. Ecosyst. Environ.* 38: 275 – 300.
- Grau, F.V. (1952). Report on two improved turf grasses. *USGA J. Turf Manage.* 5 (3): 31 – 32.
- Grau, F.V. i Radko, A.M. (1951). Meyer (Z-52) zoysia. *USGA J. Turf Manage.* 4 (6): 30 – 31.
- Green, R.L., Klein, G.J., Merino, F. i Gibeault, V. (2004). Influence of fall-applied treatments on spring transition of an overseeded bermudagrass green. *HortScience*. 39 (2): 424 – 248.
- Grieve, C.M., Poss, J.A., Grattan, S.R., Suarez, D.L., Benes, S.E. i Robinson, P.H. (2004). Evaluation of salt-tolerant forages for sequential water reuse systems, II: plant – ion relations. *Agric. Water Manage.* 70: 121 – 135.
- Grieve, C.M., i Maas, E.V. (1988). Differential effects of sodium/ calcium ratio on sorghum genotypes. *Crop Sci.* 28: 659 – 665.
- Grime J.P., Hodgson, J.G. i Hunt, R. (1988). *Comparative plant ecology: a functional approach to common British species*. Unwyn Hyman, London. 742 pp.
- Grime, J.P. (1979). *Plant strategies and vegetation processes*. John Wiley and Sons, Chichester, UK. Wiley and Sons, Chichester, UK.
- Grime, J.P. (1973). Competitive exclusion in herbaceous vegetation. *Nature*. 242: 344 – 347.
- Grime, J.P. i Hunt, R. (1975). Relative growth-rate: its range and adaptive significance in a local flora. *J. Ecol.* 86: 393 – 422.
- Gross, K. L., Willig, M. R., Gough, L., Inouye, R. i Cox, S. B. (2000). Patterns of species density and productivity at different spatial scales in herbaceous plant communities. *Oikos*. 89 (3): 417 – 427.
- Guo, J. i Trotter, C.M. (2004). Estimating photosynthetic light-use efficiency using the photochemical reflectance index: variations among species. *Functional Plant Biology*. 31: 255 – 265.
- Gutiérrez, M., Gracen, V.E. i Edwards, G.E. (1974). Biochemical and cytological relationships in C₄ plants. *Planta*. 119: 279-300.
- Håkansson, S. (1982). Multiplication, growth and persistence of perennial weeds. p. 123 – 135. En: Holzner, W.I. Numata, N. i Junk W. (Eds.) *Biology and Ecology weeds* (Publisher), The Hague, The Netherlands.
- Hall, F.G., Huemmrich, K.F. i Goward, S.N. (1990). Use of narrow-band spectra to estimate the fraction of absorbed photosynthetically active radiation. *Remote Sensing of Environment*. 34: 273 – 288.
- Hamdy, A., Abou Zeid, M. i Lacirignola, C. (1995). Water resource management in the Mediterranean Basin. *Water Resources Development*. 11(4): 515 – 26.
- Hameed, M. i Ashraf, M. (2008). Physiological and biochemical adaptations of *Cynodon dactylon* (L.) Pers. from the Salt Range (Pakistan) to salinity stress. *Flora*. 203 (8): 683 – 694.
- Hamrick, J.L. i Lee, J.M. (1987). Effect of soil surface topography and litter cover on the germination, survival, and growth of musk thistle (*Carduus nutans*). *Am. J. Bot.* 74: 451 – 457.
- Handreck K.A. i Black N.D. (1991). *Growing media for ornamental plants and turf*. New South Wales University Press, Kensington, NSW, Australia.
- Harivandi, A., Butler, J.D. i Wu., L. (1992). Salinity and turfgrass culture. p. 208–230. En: Waddington, D.V. et al. (ed.) *Turfgrass. Agron. Monogr.* 32. ASA, Madison, WI.
- Harivandi, M.A., (1998). Irrigation Efficiency for turfgrass managers. *Growing Points*. 2 (2): 1 – 3.
- Harivandi, M.A., Butler, J.D. i Soltanpour, P.N. (1983). Effects of soluble salts on ion accumulation in *Puccinellia* spp. *Journal of Plant Nutrition*. 6: 255 – 266.
- Harper, J.L. (1977). *Population Biology of Plants*. Academic Press, New York, N.Y.
- Haruvy, N. (1998). Wastewater reuse — regional and economic considerations. *Resources, Conservation and Recycling*. 23: 57 – 66.
- Hatch, M.D. (1992). The making of the C₄ pathway. En: Murata, M. (Ed.) *Research in photosynthesis*. Vol. III. pp. 747 – 756. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands.
- Hatch, M.D., Kagawa, T. i Craig, S. (1975). Subdivision of C₄ pathway species based on differing C₄ acid decarboxylating systems and ultrastructural features. *Australian Journal Of Plant Physiology*. 2: 111-128.

- Hatch, M.D. (1987). C₄ photosynthesis: a unique blend of modified biochemistry, anatomy and ultrastructure. *Biochim Biophys Acta*. 895: 81 – 106.
- Hatfield, J.L., Gitelson, A.A., Schepers, J.S. i Walthall, C. L. (2008). Application of spectral remote sensing for agronomic decisions. *Agronomy Journal*. 100 (3): S117 – S131.
- Hattersley, P.W. (1992). C₄ photosynthetic pathway variation in grasses (Poaceae): its significance for arid and semi-arid lands. En: Chapman, G. P. [ed.], *Desertified grasslands: their biology and management*, 181–212. Academic Press, London, U.K.
- Havaux, M. (1992) Stress tolerance of photosystem II *in vivo*. Antagonistic effects of water, heat, and photoinhibition stresses. *Plant Physiology*. 100: 424 – 432.
- Haygarth, P.M., Chapman, P.J. i Jarvis, S.C., Smith R.V. (1998a). Phosphorus budgets for two contrasting grassland farming systems in the UK. *Soil Use and Management*. 14: 160 – 167.
- Haygarth P.M., Hepworth L. i Jarvis S.C. (1998b). Forms of phosphorus transfer in hydrological pathways from soil under grazed grassland. *European Journal of Soil Science*. 49: 65 – 72.
- Hays, K.L., Barber, J.F., Kenna, M. P. i McCollum, T.G. (1991). Drought avoidance mechanisms of selected bermudagrass genotypes. *Hortscience*. 26 (2): 180 – 182.
- Heichel, G.H. i Vance, C.P. (1979). Nitrate-N and *Rhizobium* strain roles in alfalfa seedling nodulation and growth. *Crop Science*. 19: 512 – 518.
- Heidarpour, M., Mostafazadeh-Fard, B., Koupai, J.A. i Malekian, R. (2007). The effects of treated wastewater on soil chemical properties using subsurface and surface irrigation methods. *Agricultural Water Management*. 90(1-2): 87 – 94.
- Herrero-Borgoñón, J.J., Cristobal, J.C. i Crespo, M.B. (1995). *Pennisetum clandestinum* Hochst. Ex. Chiov. (Poaceae), an african grass in Europe. *Israel Journal of Plant Sciences*. 43 (2): 159 – 162.
- Heywood, V.H. (ed.) (1978). *Flowering plants of the world*. Oxford University Press, London.
- Hilaire, R. S., Arnold, M. A., Wilkerson, D. C., Devitt, D. A., Hurd, B. H., Lesikar, B. J., Lohr, V. I., Martin, C. A., McDonald, G. V., Morris, R. L., Pittenger, D. R., Shaw, D. A., Zoldoske, D. F. (2008). Efficient water use in residential urban landscapes. *HortScience*. 43 (7): 2081 – 2092.
- Hill, M.J. (1990). Herbaceous temperate perennial legumes: in praise of diversity. *Aust. Plant Introd. Rev.* 21 (2): 15 – 24.
- Hill, M.J. i Hoveland, C.S. (1993). Defoliation and moisture stress influence competition between endophyte free tall fescue and white clover, birdfoot trefoil and caucasian clover. *Australian Journal of Agricultural Research*. 44: 1135 – 1145
- Hiscox, J.D. i Israelstam, G.F. (1979). A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Canadian Journal of Botany* 57: 1322 – 1334.
- Hitchmough, J. (2004). Philosophical and practical changes to the design and management of plantings in urban greenspace i the 21th century. *Acta Horticulturæ*. 643: 97 – 103.
- Hitchmough, J.D. (1999). The ecology of exotic herbaceous perennials grown in managed native grassy vegetation in urban landscapes. *Landscape Urb. Plan*. 45: 107 – 121.
- Hitchmough, J.D. (2004). Naturalistic herbaceous vegetation for urban landscapes. En: Dunnett, N. i Hitchmough, J.D. (Eds.), *The Dynamic Landscape, Design, Ecology and Management of Naturalistic Urban Planting*. Spon. Press, London, pp. 130 – 183.
- Hitchmough, J.D. i De La Fleur, M. (2006). Establishing North American prairie vegetation in urban parks in northern England: Effect of management and soil type on long-term community development. *Landscape Urb. Plan*. 78: 386 – 397.
- Hoagland, D.R. i Arnon, D.I. (1950). The water - culture method for growing plants without soil. *California Agricultural Experiment Station Circular*. 347: 1 – 32.
- Hodgson J. i White J.G.H. (1999). *New Zealand Pasture and Crop Science*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Hoen K. (1968). Summer dormancy in *Phalaris tuberosa* L. *Australian Journal of Agricultural Research*. 19: 227 – 239.
- Hojjati, S.M., Templeton, W.C. Jr. i Taylor. T.H. (1978). Nitrogen fertilization in establishing forage legumes. *Agron. J.* 70: 429 – 433.
- Holm, L.G., Plucknett, D.L., Pancho, J.V. i Herberger, J.P. (1977). *The World's Worst Weeds: distribution and biology*. University Press of Hawaii, Honolulu. Pp. 609.
- Horst, G.L., Engelke, M.C. i Meyers, W. (1984). Assessment of visual evaluation techniques. *Agronomy Journal*. 76: 619 – 622.
- Hoveland, C.S. (1989). Legume persistence under grazing in stressful environments in the United States. En: Marten, G.C., Matches, A.G., Barnes, F., Brougham, R.W., Clements, R.J. i Sheath, G.W. (Eds.) *Persistence of forage legumes* pp 375 – 383. Am. Soc. Agron.: Madison, Wisc.
- Hovstad, K.A. i Ohlson, M. (2008). Physical and chemical effects of litter on plant establishment in semi-natural grasslands. *Plant Ecology*. 196: 251 – 260.
- Howell T.A., Evett S.R., Schneider A.D., Todd R.W. i Tolk J.A. (1998). Evapotranspiration of irrigated fescue grass in a semi-arid environment. *An ASAE Meeting Presentation*. ASAE 98-2117 pp23.
- Huang, B. i Gao, W. (2000). Growth and carbohydrate metabolism of creeping bentgrass cultivar in response to increasing temperature. *Crop Science*. 40: 1115 – 1120.
- Huang, B. i Nobel, P.S. (1992). Hydraulic conductivity and anatomy for lateral roots of *Agave deserti* during root growth and drought-induced abscission. *J. Exp. Bot.* 43: 1441 – 1449.
- Huang, B., Duncan, R.R. i Carrow, R.N. (1997a). Drought-resistance mechanisms of seven warm-season turfgrasses under surface soil drying: I. Shoot response. *Crop Science*. 37: 1858 – 1863.
- Huang, B., Duncan, R.R. i Carrow, R.N. (1997b). Drought-resistance mechanisms of seven warm-season turfgrasses under surface soil drying: II. Root aspects. *Crop Science*. 37: 1863 – 1869.
- Huang, B. i Eissenstat, D.M. (2000). Linking hydraulic conductivity to anatomy in plants that vary in specific root length. *Journal of American Society of Horticultural Science*. 125: 260 – 264.
- Huang, B., Liu, X. i Fry, J.D. (1998a). Shoot physiological responses of two bentgrass cultivars to high temperature and poor soil aeration. *Crop Science*. 38: 1219 – 1244.
- Huang, B., Liu, X. i Fry, J.D. (1998b). Effects of high temperature and poor soil aeration on root growth and viability of creeping bentgrass. *Crop Science*. 38: 1618 – 1622.

- Huang, B.R. i Xu, Q.Z. (2000). Root growth and nutrient element status of creeping bentgrass cultivars differing heat tolerance as influenced by supraoptimal shoot and root temperatures. *Journal of Plant Nutrition* 23: 979 – 990.
- Hull, R.J. (1987). Kentucky bluegrass photosynthate partitioning following scheduled mowing. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 112: 829 – 832.
- Hummel, I., Vile, D., Violle, C., Devaux, J., Ricci, B., Blanchard, A., Garnier, E. i Roumet, C. (2007). Relating root structure and anatomy to whole-plant functioning in 14 herbaceous Mediterranean species. *New Phytologist*. 173: 313 – 321.
- Hunter, R.S. i Harold, R.W. (1987). The measurement of appearance. 2nd. Ed. John Wiley and Sons New York.
- Hurt, S.N. i Nelson, C.J. (1985). Cotyledon and leaf development associated with seedling vigor of six legumes. *7G Seed Abstracts*. 1987: 010 – 01626.
- Hutto, K. C., King, R.L., Byrd, J. D. i Shaw, D.R. (2006). Implementation of hyperspectral radiometry in irrigation management of creeping bentgrass putting greens. *Crop Science* 46: 1564 – 1569.
- Iles, J.K. (2003). The science and practice of stress reduction in managed landscapes. *Acta Horticulturae*. 618: 117 – 124.
- Inderhit i Nilsen, E.T. (2003) Bioassays and field studies for allelopathy in terrestrial plants: Progress and problems. *Critical reviews in plant sciences*. 22 (3): 221 – 238.
- Inderjit i Callaway, R.M. (2003). Experimental designs for the study of allelopathy. *Plant and Soil*. 256: 1 – 11.
- Inderjit i Keating K.I. (1999). Allelopathy: Principles, procedures, processes, and promises for biological control. *Advances in Agronomy*. 67: 141–231.
- Irisarri, J.G.N., Oosterheld, M., Veron, S. R. i Paruelo, J. M. (2009). Grass species differentiation through canopy hyperspectral reflectance. *International Journal of Remote Sensing*. 30 (22): 5959 – 5975.
- Irmak, S. i Haman, D.Z. (2001). Performance of the Watermark granular matrix sensor in sandy soils. *Appl. En. Agric.* 17: 787– 795.
- Isaac, R.A. i Johnson, W.C. (1976). Determination of total nitrogen in plant tissue using a block digester. *Journal of AOAC International*. 59: 98 – 100.
- Isla, R., Royo, A. i Aragües, R. (1997). Field screening of barley cultivars to soil salinity using a sprinkler and a drip irrigation. *Plant and Soil*. 197 (1): 105 – 117.
- Izquierdo, J., Recasens, J., Fernández - Quintanilla, C. i Gill, G. (2003). Effects of crop and weed densities on the interactions between barley and *Lolium rigidum* in several Mediterranean locations. *Agronomie*. 23: 529 – 536.
- Jackson, R.B. i Cadwell, M.M. (1991). Kinetic responses of *Pseudoroegneria* roots to localizes soil enrichment. *Plant and soil*. 138: 231 – 238.
- Jagschitz, J.A., i Ebdon, J.S. (1985). Influence of mowing, fertilizer and herbicide on crabgrass infestation in red fescue turf. p. 699–704. En: Lemaire, F. (ed.) *Proc. 5th Int. Turfgrass Res. Conf.*, Avignon, France. 1–5 July 1985. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris.
- Jarvis, B.D.W., Pankhurst, C.E. i Patel, J.J. (1982). *Rhizobium loti*, a new specie of root nodule bacteria. *International Journal of Systematic Bacteriology*. 32: 378 – 380.
- Jensen, M.E., Wright, J.L. i Pratt, B.J. (1971). Estimating soil moisture depletion from climate, crop and soil data. *Trans. ASAE*. 14: 954 – 959.
- Jiang, H. i Fry, J. (1998). Drought responses of perennial ryegrass treat with plant growth regulators. *HortScience*. 33 (2): 270 – 273.
- Jiang, H., Fry, J. i Tisserat, N. (1998). Assessing irrigation management for its effects on disease and weed levels in perennial ryegrass. *Crop Science*. 38: 440 – 445.
- Jiang, Y. i Carrow, R.N. (2005). Assessment of narrow-band canopy spectral reflectance and turfgrass performance under drought stress. *HortScience*. 40 (1): 242 – 245.
- Jiang, Y. i Carrow, R.N. (2007). Broadband spectral reflectance models of turfgrass species and cultivars to drought stress. *Crop Science*. 47: 1611 – 1618.
- Jiang, Y. i Huang, B. (2000). Effects of drought or heat stress alone and in combination on Kentucky bluegrass. *Crop Science*. 40: 1358 – 1362.
- Jiang, Y. i Huang, B. (2001). Physiological Responses to heat stress alone on in combination with drought: A comparison between tall fescue and perennial ryegrass. *HortScience*. 36 (4): 682 – 686.
- Jiang, Y. W., Liu, H. F. i Cline, V. (2009). Correlations of Leaf Relative Water Content, Canopy Temperature, and Spectral Reflectance in Perennial Ryegrass Under Water Deficit Conditions. *Hortscience*. 44 (2): 459 – 462.
- Jiang, Y., Carrow, R.N. i Duncan, R.R. (2003). Effects of morning and afternoon shade in combination with traffic stress on seashore paspalum. *HortScience*. 38 (6): 1218 – 1222.
- Jiang, Z.C. i Hull, R.J. (1998a). Effects of sucrose and oxygen on nitrate reductase activity and growth of Kentucky bluegrass. 95th Annual International Conference of the American Society for Horticultural Science. Charlotte, North Carolina, July 12-15. Meeting Poster. *Hortscience*. 33(3): 479.
- Jiang, Z.C. i Hull, R.J. (1998b). Interrelationships of nitrate uptake, nitrate reductase, and nitrogen use efficiency in selected Kentucky bluegrass cultivars. *Crop Science*. 38(6): 1623 – 1632.
- Jnad, I., Lesikar, B., Kenimer, A. i Sabbagh, G. (2001). Subsurface drip dispersal of residential effluent: I. Soil chemical characteristics. *Transactions of the ASAE*. 44 (5): 1149 – 1157.
- Johnson, P. G. (2003). Mixtures of buffalograss and fine fescue or streambank wheatgrass as a low-maintenance turf. *HortScience*. 38 (6): 1214 – 1217.
- Johnson, C. i Brown, W.V. (1973) Grass leaf ultrastructural variations. *Am. J. Bot.* 60: 727 – 735.
- Johnson, B.J. (1973). Herbicides, sprigging rates, and nitrogen treatments for establishment of Tifway Bermudagrass. *Agronomy Journal*. 65: 969 – 972
- Johnson, G. V. (1974). Simple procedure for quantitative analysis of turfgrass color. *Agron. J.* 66: 457 – 459.
- Jolliffe, P.A. (1997). Are mixed populations of plant species more productive than pure stands? *Oikos*. 80: 595 – 602.
- Jones D.A. i Turkington, R. (1986). Biological flora of the British Isles No. 163. *Lotus corniculatus* L. *J. Ecol.* 74: 1185 –1212.
- Jones, M.M., Turner, N.C. i Osmond, C.B. (1981). Mechanisms of drought resistance p. 15-38. En: Paley, L.G. i Aspinall, D. (eds.) *Physiology and biochemistry of drought resistance plants*. Academic Press, Sydney, Australia.
- Jordan, J.E., White, R.H., Vietor, D.M., Hale, T.C., Thomas, J.C. i Engelke, M.C. (2003). Effect of irrigation frequency on turf quality, shoot density,

- and root length density of five bentgrass cultivars. *Crop Science*. 43: 282 – 287.
- Juan, V.F., Monterroso, L., Sacido, M.B. i Cauhépé, M.A. (2000). Postburning legume seeding in the Flooding Pampa, Argentina. *J. Range Manage.* 53: 300 – 304.
- Kade, M., Pagani, E.A. i Mendoza, R.E. (2003). A morphological study of population of *Lotus glaber* Mill. (Fabaceae). *Agronomie*. 23: 203 – 207.
- Kalita, D., Choudhury, H. i Dey, S.C. (1999). Assessment of allelopathic potencial of some common upland rice weed species on morpho-physiological properties of rice (*Oryza sativa* L.) *Crop Res. Hisar*. 17: 41 – 45.
- Kaminski, J. E. i Dernoeden, P. H. (2007). Seasonal *Poa annua* L. seedling emergence patterns in Maryland. *Crop Science*. 47 (2): 775 – 781.
- Karcher, D.E. i Richardson, M.D. (2003). Quantifying turfgrass color using digital image analysis. *Crop Science*. 43: 943 – 951.
- Katerji, N., Mastrorilli, M. i Rana, G. (2008). Water use efficiency of crops cultivated in the Mediterranean region: Review and analysis. *European Journal of Agronomy*. 28(4): 493 – 507.
- Keddy, P. A. (1989). *Competition*. Chapman and Hall. London, UK.
- Kemp, D.R. (1980). The growth rate of successive leaves of wheat plants in relation to sugar and protein concentrations in the extension zone. *Journal of experimental Botany*. 31: 1399 – 1411.
- Kershaw, K.A. (1973). *Quantitative and dynamic plant ecology*. 2nd Ed. Am. Elsevier Publishing Co., New York.
- Keskin, M., Han, Y.J., Dodd, R.B. i Khalilian, A. (2008). Reflectance-based sensor to predict visual quality ratings of turfgrass plots. *Applied Engineering in Agricultura*. 24 (6): 855 – 860.
- Khanh, T.D., Xuan, T.D. i Chung, I.M. (2007). Rice allelopathy and the possibility for weed management. *Annals of Applied Biology*. 151(3): 325 – 339.
- King, K. W., Balogh, J. C., Hughes, K. L. i Harmel, R. D. (2007). Nutrient load generated by storm event runoff from a golf course watershed. *Journal of Environmental Quality*. 36(4): 1021 – 1030.
- Kjelgren, R., Rupp, L. i Kilgren, D. (2000). Water conservation in urban landscapes. *HortScience*. 35: 1037 – 1040.
- Knap, A.K. i Carter, G.A. (1998). Variability in leaf optical properties among 26 species from broad range of habitats. *American Journal of Botany*. 85: 940 – 946.
- Kneebone, W.R. i Pepper, I.L. (1982). Consumption water use by subirrigated turfgrasses under desert conditions. *Agronomy Journal*. 74: 419 – 423.
- Kneebone, W.R. i Major, G.L. (1969). Differential survival of coolseason turfgrass species overseeded on different selections of bermudagrass. *Crop Science*. 9: 153 – 155.
- Koller D. (1969). The physiology of dormancy and survival of plants in desert environments. *Symposia of the Society of Experimental Biology* 23: 449 – 469.
- Köppen, W. (1923). *Die Klimate der Erde*. Borntrager, Berlin.
- Kosola, K.R. i Eissenstat, D.M. (1994). The fate of surface roots of citrus seedlings in dry soil. *J. Exp. Bot.* 45: 1639 – 1645.
- Krans, J.V. i Beard, J.B. (1985). Effects of clipping on growth and physiology of 'Merion' Kentucky bluegrass. *Crop Science*. 25: 17 – 20.
- Krans, J.V., Beard, J.B. i Wolkinson, J.F. (1979). Classification of C₃ and C₄ turfgrass species based on CO₂ compensation concentration and leaf anatomy. *Hortscience* 14: 183 – 185.
- Krogman, K.K. (1967). Evapotranspiration by irrigated grass as related to fertilizer. *Can. J. Plant Sci.* 47: 281 – 287.
- Kruger, F.J., Mitchell, D.T. i Jarvis, J.U.M. (1983). *Mediterranean type ecosystems. The role of nutrients*. Springer Verlag, Berlin.
- Lambers, H. (1985). Respiration in impact plants and tissues. *Encyc. Plant Physiol.* 18: 418 – 473.
- Lambers, H.F., Chapin III, S. i Pons, T.L. (2008). *Plant physiological ecology*. 2nd ed. New York: Springer, cop.
- Landschoot, P.J. i Marcino, C.F. (1997). Assessment of the Minolta CR-310 Chroma Meter for predicting nitrogen status of *Agrostis stolonifera* L. *Intl. Turfgrass Soc. Res. J.* 8: 711 – 718.
- Landschoot, P.J. i Marcino, C.F. (2000). A comparison of visual vs. instrumental measurement of color differences in bentgrass turf. *HortScience*. 35 (5): 914 – 916.
- Landry, G. i Choi, J.S. (1995). Effect of zoysiagrass seeding rate on shoot/root development in early establishment. p148. En: *Agronomy Abstracts*. ASA. Madison, WI.
- Lang, G.A., Early, J.D., Martin, G.C. i Darnell, R.L. (1987). Endo-, para-, and ecodormancy: physiological terminology and classification for dormancy research. *HortScience* 22: 371 – 377.
- Lange, O.L., Nobel, P.S., Osmond, C.B. i Ziegler, H. (1982). *Physiological plant ecology II. Water relations and carbon assimilation*. Encyclopedia of plant physiology. New series. Vol.12A. Springer Verlag. Berlin.
- Larcher, W. (1980). *Physiological Plant Ecology*. Springer-Verlag. Berlin.
- Larsen, S.U. i Andreassen, C. (2004). Light and heavy turfgrass seeds differ in germination percentage and mean germination thermal time. *Crop Science*. 44 (5): 1710 – 1720.
- Larson, G. F. (1985). Electrical sensor for measuring moisture in landscape and agricultural soils. U.S. Patent 4 531 087. Date issued: 23rd July.
- Laterra, P., Ricci, L., Vignolio, O. i Fernández, O.N. (1994). Efectos del fuego y pastoreo sobre la regeneración por semillas de *Paspalum quadrifarium* en la Pampa Deprimida. *Ecol. Aust.* 4: 101 – 109.
- Laterra, P., Vignolio, O., Linares, P., Giaquinta, A. i Maceira, N. (2003). Cumulative effects of fire on the structure and function of a tussock Pampa grassland. *J. Veg. Sci.* 14: 43 – 54.
- Lawlor, D.W. i Cornic, G. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell & Environment* 25: 275 – 294.
- Laycock, R.W. i Canaway, P.M. (1980). An optical point quadrat frame for the estimation of cover in closely-mown turf. *J. Sports Turf Res. Inst.* 56: 91 – 92.
- Lazarova, V., Levine, B., Sack, J., Cirelli, G., Jeffrey, P., Muntau, H., Salgot, M. i Brissaud, F. (2001). Role of water reuse for enhancing integrated water management in Europe and Mediterranean countries. *Water Science and Technology*. 43 (10): 25 – 33.
- Lazarova, V., Rougé, P., Sturny, V. i Arcangeli, J.P. (2006). Evaluation of economic viability and benefits of urban water reuse and its contribution to

- sustainable development. Water Practice & Technology. 1 (2). Pp 11.
- Ledgard, S.F. (2001). Nitrogen cycling in low input legume based agriculture, with emphasis on legume/grass pastures. Plant and Soil. 228: 43 – 59.
- Lee, G.J., Carrow, R.N., Duncan, R.R., Eiteman, M.A. i Rieger, M.W. (2008). Synthesis of organic osmolytes and salt tolerance mechanisms in *Paspalum vaginatum*. Environmental and Experimental Botany. 63 (1-3): 19 – 27.
- Lee, G.J., Carrow, R.N. i Duncan, R.R. (2004a). Photosynthetic responses to salinity stress of halophytic seashore *Paspalum* ecotypes. Plant Science. 166 (6): 1417 – 1425.
- Lee, G.J., Duncan, R.R. i Carrow, R.N. (2004 b). Salinity tolerance of seashore *Paspalum* ecotypes: shoot growth responses criteria. HortScience. 39 (5): 1138 – 1142.
- Lehman, V.G. i Engelke, M.C. (1991). Heritability Estimates of creeping bentgrass root systems grown in flexible tubes. Crop Science. 31: 1680 – 1684.
- Lehman, V.G., Engelke, M.C. i White, R.H. (1993). Leaf water potential and relative water content variation in creeping bentgrass clones. Crop Science 33: 1350 – 1353.
- Lehman, V.G., Engelke, M.C., Marcum, K.B., Colbaugh, P.F., Reinert, J.A., Ruemmele, B.A. i White, R.H. (1998). Registration of 'Mariner' creeping bentgrass. Crop Science. 38: 537 – 537.
- Leib, B.G., Jabro, J.D. i Matthews, G.R. (2003). Field evaluation and performance comparison of soil moisture sensors. Soil Science. 168 (6): 396 – 408.
- Lepš, J. (2005). Diversity and ecosystem function. En: van der Maarel, E. (Ed.), Vegetation ecology. pp. 199 – 237. Blackwell. Oxford.
- Levine, A.D. i Asano, T. (2004). Recovering sustainable water from wastewater. Environmental Science & Technology. 38 (11): 201A – 208A
- Levitt, J. (1980). Responses of plants to environmental stresses. Vol II: water, radiation, salt and other stresses. Physiological Ecology series. Academic Press. New York.
- Lichtenthaler, H.K. (1998). The stress concept in plants: An introduction. Stress of Life - from Molecules to Man. 851: 187 – 198.
- Lickfeldt, D.W., T.B. Voigt, B.E. Branham, and T.W. Fermanian. (2001). Evaluation of allelopathy in cool season turfgrass species. Int. Turfgrass Soc. Res. J. 9: 1013 – 1018.
- Liu, J.R., Xie, X.R., Du, J.X., Sun, J.X. i Bai, X.M. (2008). Effects of simultaneous drought and heat stress on Kentucky bluegrass. Scientia Horticulturae. 115 (2): 190 – 195.
- Liu, X. i Huang, B. (2001). Seasonal changes and cultivar difference in turf quality, photosynthesis, and respiration on creeping bentgrass. HortScience. 36 (6): 1131 – 1135.
- Liu, X. i Huang, B. (2005). Root physiological factors involved in cool-season grass response to high soil temperature. Environmental and Experimental Botany. 53 (3): 233 – 245.
- Liu, M.Z. i Osborne, C.P. (2008). Leaf cold acclimation and freezing injury in C₃ and C₄ grasses of the Mongolian Plateau. Journal of Experimental Botany. 59 (15): 4161 – 4170.
- Liu, N., Lin, Z.F., Van Devender, A., Lin, G.Z., Peng, C.L., Pan, X.P., Chen, S.W. i Gu, Q. (2009). Spectral reflectance indices and pigment functions during leaf ontogenesis in six subtropical landscape plants. Plant Growth Regulation. 58 (1): 73 – 84.
- Llamas, R. (2003). Lessons learnt from the impact of the neglected role of groundwater in Spain's water policy: 63 – 81. En: Alsharhan, A.S. i Wood, W.W. (Eds.) Water resources perspectives: evaluation, management and policy. Elsevier Science B.V. Amsterdam Netherlands.
- Lloyd, C. (2004). Meadows. Cassell Illustrated, London.
- Loch, D.S., Barrett-Lennard, E. i Truong, P. (2003). Role of salt tolerant plants for production, prevention of salinity and amenity values. Proc. of 9th National Conf. of Productive Use of Saline Lands. 29 Sept.- Oct. 1, Rockhampton, QLD, Australia.
- Lockett, A.M., Devitt, D.A. i Morris, R.L. (2008). Impact of Reuse Water on Golf Course Soil and Turfgrass Parameters Monitored Over a 4.5-Year Period. Hortscience. 43 (7): 2210 – 2218.
- Logan, T.J. (1992) Reclamation of chemically degraded soils. En: Advances in soil science. Soil restoration. (Eds.) Lal, R. i Steward, B.A. vol. 17, pp: 13-35. Springer – Verlag. London.
- Long, S.P. (1999). Environmental responses. En: Sage, R.F. i Monson, R.K. (Eds). C₄ plant biology. pp. 215 – 249. Academic Press. New York.
- López, D., Carazo, N., Farré, J. i Valero, J. (1997). Estudio de germinación de especies del género *Limonium* y *Lotus*. Actas de horticultura vol 17 – II Congreso Iberoamericano y III Congreso Ibérico de Ciencias Hortícolas 11-15 Marzo 1997, Vilamoura, Portugal.
- Lorenzen, B. i Jensen, A. (1989). Changes in Leaf Spectral Properties Induced in Barley by Cereal Powdery Mildew. Remote Sensing of Environment. 27 (2): 201 – 209.
- Lowery, B., Hickey, W.J., Ashad, M.A. i Lal, R. (1996). Soil water parameters and soil quality. Pp 143-157. En: Doran, J.W. i Jones, A.J. (eds.), Methods for Assessing Soil Quality. Soil Sci. Soc. Amer. Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI.
- Lu, D.Y., Pental, D. i Cocking, E.C. (1982). Plant regeneration from seedling cotyledon protoplasts. Z. Pflanzenphysiol. 107: 59 – 63.
- Lu, S.Y., Peng, X.X., Guo, Z.F., Zhang, G.Y., Wang, Z.C., Wang, C.Y., Pang, C.S., Fan, Z., Wang, J.H. (2007). In vitro selection of salinity tolerant variants from triploid bermudagrass (*Cynodon transvaalensis* x *C. dactylon*) and their physiological responses to salt and drought stress. Plant Cell Reports. 26(8): 1413 – 1420.
- Lubello, C., Gori, R., Nicese, F.P. i Ferrini, F. (2004). Municipal-treated wastewater reuse for plant nurseries irrigation. Water research. 38: 2939 – 2947.
- Ludlow, M.M. (1989). Strategies of response to water stress. En: Kreeb, K.H., Richter i Hinckley, T.M. (Eds.). Structural and Functional Responses to Environmental stresses. pp 269 – 281. SPB Academic Publishing bv, The Hague.
- Lukina, E.V., Stome, M.L. i Rann, W.R. (1999). Estimating vegetation coverage in wheat using digital images. Journal of plant Nutrition. 22: 341 – 350.
- Luu, K.T., Matches, A.G. i Peters, E.J. (1982). Allelopathic effects of tall fescue on birdsfoot trefoil as influenced by N fertilization and seasonal changes. Agron. J. 74: 805 – 808.
- Maathuis, F.J.M. i Amtmann, A. (1999). K⁺ nutrition and Na⁺ toxicity: The basis of cellular K⁺/Na⁺ ratios. Annals of Botany. 84 (2): 123 – 133.

- Maas, E.V., (1990). Crop salt tolerance. En: Agricultural salinity assessment and management. K. Tanji, ed. Amer. Soc. Of Civil Engineers. New York, NY.
- MacAdam, J.W. i Nelson, C.J. (2002). Secondary cell wall deposition causes radial growth of fibre cells in the maturation zone of elongating tall fescue leaf blades. *Annals of Botany*. 89 (1): 89 - 91.
- Macke, A.J. i Ungar, I.A. (1971). The effects of salinity on germination and early growth of *Puccinellia nuttalliana*. *Canadian Journal of Botany* 49: 515 - 520.
- Madison, J.H. i Hagan, R.M. (1962). Extraction of soil moisture by 'Merion' bluegrass *Poa pratensis* L. 'Merion' turf, as affected by irrigation frequency, mowing height and other cultural operations. *Agronomy Journal*. 54: 157 - 160.
- Madison, J.J., (1962). Turfgrass ecology. Effects of mowing, irrigation and nitrogen treatments of *Agrostis palustris* Huds., var. 'Seaside' and *Agrostis tenuis* Sibth., var. 'Highland' on population, yield, rooting and cover. *Agronomy Journal*. 54: 407 - 412.
- Mallarino A.P., Wedin W.F., Goyenola R.S., Perdomo C.H. i West C.P. (1990). Legume species and proportion effects on symbiotic dinitrogen fixation in legume-grass mixtures. *Agronomy Journal*. 82: 785 - 789.
- Mallik, A.U. i Prescott, C.E. (2001). Growth inhibitory effects of salal on Western Hemlock and Western Red Cedar. *Agronomy Journal*. 93: 85 - 92.
- Mancino, C.F. i Pepper, I.L. (1992). Irrigation of Turfgrass with Secondary Sewage Effluent - Soil Quality. *Agronomy Journal*. 84(4): 650 - 654.
- Mangiafico, S.S. i Guillard, K. (2005). Turfgrass reflectance measurements, chlorophyll, and soil Nitrate Desorbed from Anion Exchange Membranes. *Crop Science*. 45: 259 - 265.
- Mangiafico, S.S. i Guillard, K. (2007). Cool-season turfgrass color and growth calibrated to leaf nitrogen. *Crop Science* 47: 1217 - 1224.
- Mannetje, L. 't i Jones, R.M. (1992). Plant Resources of South-East Asia No. 4. Forages. Pudoc Scientific Publishers, Wageningen, the Netherlands. Prosea Foundation.
- Mannetje, L.'t (2000). Measuring Biomass of Grassland Vegetation. Pp. 151-177. En: Mannetje, L.'t i Jones, R.M. (eds.). Field and Laboratory Methods for Grassland and Animal Production Research. University Press. Cambridge (UK).
- MAPA (1986). Métodos oficiales de Análisis de suelos. Dirección General de Agricultura, Ministerio de Agricultura Pesca y alimentación. Madrid. 95 - 175.
- Marcum, K.B. (2006). Use of saline and non-potable water in the turfgrass industry: Constraints and developments. *Agricultural Water Management*. 80 (1-3): 132 - 146.
- Marcum, K.B. i Murdoch, C.L. (1990). Salinity tolerance mechanisms of six C₄ turfgrasses. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119: 779 - 789.
- Marcum, K.B., Engelke, M.C., Morton, J. i White, R.H. (1995). Rooting characteristics and associated drought resistance of zoysiagrasses. *Agronomy Journal*. 87: 534 - 538.
- Marcum, K.B. (2001). Growth and physiological adaptations of grasses to salinity stress. En: Pessarakli, M. i Dekker, M. (Eds.) Handbook of plant and crop physiology. Second Edition, New York, pp. 623 - 636.
- Marcum, K.B., Anderson, S.J. i Engelke, M.C. (1998). Salt gland and ion secretion: A salinity tolerance mechanism among five zoysiagrass species. *Crop Science*. 38: 806 - 810.
- Margat, J. i Vallée, D. (2000). Mediterranean vision on water, population and the environment for the 21st Century. Blue Plan, Global Water partnership / MEDTAC. 66pp.
- Markhart, A. H. and Smit, B. (1990). Measurement of Root Hydraulic Conductance. *Hortscience*. 25 (3): 282 - 287.
- Marquès, X., Puig, E., Puiggròs, J.M., Saus, J., Sebastià, M.T., Taberner A. i Pere, J. (1983). Manual de males herbes dels conreus de Catalunya. Institució d'Estudis Agraris. Filial de L'Institut d'Estudis Catalans. Amb el Suport del Departament d'Agricultura Ramaderia i Pesca. Ed. Obra Agrícola. Obra social de la Caixa de Pensions. Cornellà de Llobregat.
- Marsh, A.W., Strohman, R.A., Spaulding, S., Younger, V. i Gibeault, V. (1980). Determining the water requirements of various turfgrass species. *Irrig. Assoc. Ann. Tech. Conf. Proc.* 1: 34 - 45.
- Martínez - Alier, J. i Roca, J. (2000). Economía ecológica y política ambiental. Fondo de Cultura Económica C. Textos de economía, Ciudad de México (México).
- Martinez-Ballesta, M. del C., Bastias, E., Zhu, ChuanFeng, Schaffner, A. R., González-Moro, B., González-Murua, C. i Carvajal, M. (2008). Boric acid and salinity effects on maize roots. Response of aquaporins ZmPIP1 and ZmPIP2, and plasma membrane H⁺-ATPase, in relation to water and nutrient uptake. *Physiologia Plantarum*. 132 (4): 479 - 490.
- Martiniello, P. (2005). Variability of turf quality and phytocoenoses in areas of play in football grounds in Mediterranean environments. *Agri. Med.* 135: 209 - 220.
- Martiniello, P. i D'Andrea, E. (2006). Cool - season turf grass species adaptability in Mediterranean environments and quality traits of varieties. *European Journal of Agronomy*. 25 (3): 234 - 242.
- Masin, R., Zuin, M. C., Otto, S. i Zanin, G. (2006). Seed longevity and dormancy of four summer annual grass weeds in turf. *Weed Research*. 46 (5): 362 - 370.
- Masjuan, E., March, H., Domene, E. i Saurí, D. (2008). Conflicts and struggles over urban water cycles: The case of Barcelona 1880 - 2004. *Tijdschrift Voor Economische En Sociale Geografie*. 99 (4): 426 - 439.
- Massalles, R.M., Carreras, J., Farràs, A., Ninot, J.M., Camarasa, J.M. et al. (1988). Història Natural dels Països Catalans. Plantes superiors. Vol. 6. Enciclopèdia Catalana. Barcelona.
- Matesanz, S., Valladares, F., Tena, D., Costa-Tenorio, M. i Bote, D. (2006). Early dynamics of plant communities on revegetated motorway slopes from southern Spain: Is hydroseeding always needed? *Restoration Ecology*. 14 (2): 297 - 307.
- Maxwell, K. i Johnson, G.N. (2000). Chlorophyll fluorescence - a practical guide. *Journal of Experimental Botany* 51 (345): 659 - 668.
- May, L. H. i Mithlthorpe, F.L. (1962). Drought resistance of crop plants. *Field Crop Abstracts*. 15: 171 - 179.
- McCann, S. E. i Huang, B. (2008). Evaluation of drought tolerance and avoidance traits for six creeping bentgrass cultivars. *Hortscience*. 43 (2): 519 - 524.
- McCarty, L.B. i Dudeck, A.E. (1993). Salinity effects on bentgrass germination. *HortScience*. 28 (1): 15 - 17.
- McConnaughay, K.D.M. i Coleman, J.S. (1999). Biomass allocation in plants: ontogeny or optimality? A test along three resource gradients. *Ecology*. 80: 2581 - 2593.
- McDonald, S.J., Dernoeden, P.H. i Bigelow, C.A. (2006). Dollar Spot and Gray Leaf Spot Severity as influenced by Irrigation, Chlorothalonil, Paclobutrazol, and a wetting agent. 46: 2675 - 2684.

- McGuire, R.G. (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience*. 27: 1254 - 1255.
- McPhee, C.S. i Aarssen, L.W. (2001). The separation of above- and below- ground competition in plants. A review and critique of methodology. *Plant Ecology*. 152: 119 - 136.
- Mears, P.E. (1970). Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) as a pasture grass, *Trop. Grassl.* 4: 139 - 152.
- Meehl, G.A. *et al.* (2007) Global climate projections. En: Solomon, S. *et al.* (eds.) *Climate change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp. 747 - 845, Cambridge University Press.
- Meissner, R., Nel, P.C. i Beyers, E.A. (1989). Allelopathic effect of *Cynodon dactylon* infested soil on early growth of certain species. *Appl. Plant Sci.* 3: 125 - 126.
- Mendoza, R., Escudero, V. i García, I. (2005). Plant growth, nutrient acquisition and micorrizal symbioses of a waterlogging tolerant legume (*Lotus glaber* Mill.) in a saline-sodic soil. *Plant and Soil*. 275: 305 - 315.
- Mérida, D., Cañameras, N. i Biel, C. (2006). Efectes de l'ús d'aigua residual regenerada en el sòl d'una parcel·la de gespa. Treball Final De Carrera. Especialitat en Explotacions Agropecuàries. Escola Superior d'Agricultura de Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Merzlyak, M.N., Gitelson, A.A., Chivkunova, O.B., Rakitin, V.Y. (1999). Non - destructive optical detection of pigment changes during leaf senescence and fruit ripening. *Physiologia Plantarum*. 106: 135 - 141.
- Meyer, M.H. i Pedersen, B. (1999). Low maintenance alternative turf trials. *Journal of Turfgrass Management*. 3 (2): 49 - 57.
- Meyer, W.A. i Funk, C.R. (1989). Progress and benefits to humanity from breeding cool-season grasses for turf. En: Sleper, *et al.* (Eds.). *Contributions from Breeding Forage and Turf Grasses CSSA Spec. Publ.* 15. CSSA, Madison, WI, pp. 31 - 48.
- Miele, S., Volterrani, M. i Grossi, N. (2000). Warm season turfgrasses: results of a five-year study in Tuscany. *Agricoltura Mediterranea*. 130 (3-4): 196 - 202.
- Mills, J.M. i Engelke, M.C. (1997) Calibration of visual and electronic color ratings of turf performance trials, p. 132. En: *Agron. Abstr.* Anaheim, Calif.
- Mills, R.A. i Asano, T. (1996). A retrospective assessment of water reclamation projects. *Water Science and Technology*. 33 (10-11): 59 - 70.
- Milton, E.J., Schaepman, M.E., Anderson, K., Kneubuhler, M. i Fox, N. (2009). Progress in field spectroscopy. *Remote Sensing of Environment*. 113. S92-S109
- Minner, D.D., Valverde, F.J. i Pirtle, R.M. (2008). Seeding rates that maximize turf cover when sown during traffic. *Proceedings of the 2nd International Conference on Turfgrass Science and Management for Sports Fields*. Jun 24-29, 2007. Beijing, China. 783: 57 - 65.
- Miñón, D.P., Sevilla, G.H., Montes, L. i Fernández, O. (1990). *Lotus tenuis*: Leguminosa forragera para la Pampa Deprimida. Unidad Integrada Balcarce. FCA-EEA Boletín Técnico N 98 pp16.
- Mintenko, A.S., Smith, S.R. i Cattani, D.J. (2002). Turfgrass evaluation of native grasses for the northern Great Plains region. *Crop Science*. 42 (6): 2018 - 2024.
- Miyamoto, S. i Chacon, A. (2006). Soil salinity of urban turf areas irrigated with saline water - II. Soil factors. *Landscape and Urban Planning*. 77 (1-2): 28 - 38.
- Molish, H. (1937). "Der Einfluss einer Pflanze auf die andere-Allelopathie", Gustav. Fischer, Verlag, Jena.
- Molloy, J.M. i Moran, C.J. (1991). Compiling a field manual from overhead photographs for estimating crop residue cover. *Soil Use Management*. 7(4): 177 - 183.
- Monje, R.J. (2006). Manejo de céspedes con bajo consumo de agua. *Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía (2ª Ed.)* Sevilla. 107 p.
- Montes, L. (1988). *Lotus tenuis*. Revisión bibliográfica. *Rev. Arg. Prod. Animal*. 8: 367 - 376.
- Morales, M. A., Alarcón, J.J., Torrecillas, A. i Sánchez-Blanco, M.J. (2000). Growth and water relations of *Lotus creticus* creticus plants affected by salinity. *Biologia Plantarum*. 43: 413 - 417.
- Morales, M.A., Olmos, E., Torrecillas, A., Sánchez-Blanco, M.J. i Alarcón, J.J. (2001). Differences in water relations, leaf ion accumulation and excretion rates between cultivated and wild species of *Limonium* sp. grown in conditions of saline stress. *Flora*. 196: 345 - 352.
- Morari, F. i Giardini, L. (2001). Estimation evapotranspiration in the Padova Botanical Garden. *Irrig. Sci.* 20: 127 - 137.
- Moravcova, L., i Frantik, T. (2002). Germination ecology of *Puccinellia distans* and *P. limosa*. *Biologia, Bratislava*. 57: 441 - 448.
- Morgan, J.M. (1984). Osmoregulation and water stress in higher plants. *Ann. Rev. Plant physiol.* 35: 299 - 319.
- Morris, K.N. i Shearman, R.C. (2000). The National Turfgrass Evaluation Program: assessing new and improved turfgrasses. *Diversity*. 16 (1/2) : 19 - 22.
- Morton, J.F. (1973). Salt-tolerant siltgrass (*Paspalum vaginatum* Sw.). *Proc. Fla. State. Hort. Soc.* 86: 482 - 490.
- Mujeriego, R. (1990). Riego con agua residual municipal regenerada. Manual práctico. Ed. De la Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona.
- Mujica, M.M. i Rumi, C.P. (1993). Effect of chemical and mechanical scarification of *Lotus tenuis* seeds on germination. *Lotus Newsletter*. 24: 32 - 34.
- Mujica, M.M. i Rumi, C.P., (1998). El crecimiento inicial de *Lotus glaber* afectado por la remoción y el sombrero de los cotiledones. *Rev. Fac. Agron. La Plata*. 103: 127 - 133.
- Mujica, M.M. i Rumi C.P. (1999). Effects of salinity on the germination of *Lotus glaber* Mill. (= *Lotus tenuis* Waldst. et Kit. ex Wild.). The 2nd International symposium. St. Louis, Missouri USA in conjunction with the XIV International Botanical Congress.
- Muller, I., Schmid, B i Weiner, J. (2000). The effect of nutrient availability on biomass allocation in 27 species of herbaceous plants. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*. 3: 115 - 127.
- Munevar, F., Wollum II, A.G. (1981). Growth of *Rhizobium japonicum* strains in temperature above 27°C. *Applied and Environmental Microbiology*. 42: 272 - 276.
- Munné, A. i Prat, N. (2006) El paper de la Directiva Marc de l'Aigua en la millora dels ecosistemes fluvials p. 275-287. En: Freixes, A. (Ed.). *Segones Jornades tècniques de gestió d'estacions depuradores d'aigües residuals. Sistemes de sanejament i medi ambient. Reutilització planificada de l'aigua. Volum de les ponències*. Barcino Solucions Gràfiques. Barcelona.
- Munns, D.N. i Keyser, H.H. (1981). Responses of *Rhizobium* strains to acid and aluminium stress. *Soil Biology and Biochemistry*. 13: 115 - 118.

- Munns, R. (2005). Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytol.* 167: 645 – 663.
- Munns, R. i Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology.* 59: 651 – 681.
- Munns, R., Schachtman, D.P. i Condon, A.G. (1995). The significance of a two-phase growth response to salinity in wheat and barley. *Aust. J. Plant Physiol.* 22: 561–69.
- Murphy, J.A., Hendricks, P.E., Rieke, P.E., Smucker, A.J.M. i Branham, B.E. (1994). Turfgrass root system evaluated using the minirhizotron and video recording methods. *Agron. J.* 86: 247 – 250.
- Murphy, G.P. i Dudley, S.A. (2009). Kin recognition: competition and cooperation in *impatiens* (Balsaminaceae). *American Journal of Botany.* 96 (11): 1990–1996.
- Murphy, W.M., Silman, J.P. i Barreto, A.M.D. (1995). A comparison of quadrat, capacitance meter, HFRO sward stick, and rising plate for estimating herbage mass in a smooth-stalked, meadow-grass dominant white clover sward. *J. Brit. Grass Soc.* 50: 452 – 455.
- Muzzi, E., Roffi, F., Sirotti, M. i Bagnaresi, U. (1997). Revegetation techniques on clay soil slopes in northern Italy. *Land Degradation and Development.* 8: 127 – 137.
- Nable, R.O., Cartwright, B., Lance, R.C. (1990). Genotypic differences in boron accumulation in barley: relative susceptibilities to boron deficiency and toxicity. En: El Bassam, N., Dambroth, M., Loughman, B., eds. *Genetic Aspects of Plant Mineral Nutrition.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. pp. 243 – 251.
- Nable, R.O., Banuelos, G.S. i Paull, J.G. (1997). Boron toxicity. *Plant and Soil.* 193 (1-2): 181 – 198.
- Nelson, J.O. (1987). Water Conserving Landscapes Show Impressive Savings. *Journal American Water Works Association:* 35 – 42.
- Netondo, G.W., Onyango, J.C. i Beck, E. (2004). Sorghum and salinity: I. Response of growth, water relations, and ion accumulation to NaCl salinity. *Crop Science.* 44 (3): 797 – 805.
- Newman, E. I. (1973). Competition and diversity in herbaceous vegetation. *Nature.* 244: 310 – 311.
- Ngugi, M., Doley, D., Hunt, M., Dart, P. i Ryan, P. (2003). Leaf water relations of *Eucalyptus cloeziana* and *Eucalyptus argophloia* in response to water deficit. *Tree Physiol.* 23: 335 – 343.
- Nikolić, R., Mitić, N., Miletić, R. i Nešković, M. (2006). Effects of cytokinins on in vitro seed germination and early seedling morphogenesis in *Lotus corniculatus* L. *Journal of Plant Growth Regulation.* 25 (3): 187 – 194.
- Nikolić, R., Mitić, N., Zivković, S., Grubisić, D. i Nešković, M. (2007). Cytokinins and urea derivatives stimulate seed germination in *Lotus corniculatus* L. *Archives of Biological Sciences.* 59 (2): 125 – 128.
- Niu, X. Bressan, R.A., Hasegawa, P.M. i Pardo, J.M. (1995). Center for Plant Environmental Stress Physiology, Purdue University Ion Homeostasis in NaCl Stress Environments. *Plant Physiol.* 109: 735 – 742.
- Norrie, J., Grahnan, M.E.D. i Gosselin, A. (1994). Potential Evapotranspiration as a means of predicting irrigation timing in greenhouse tomatoes grown in peat bags. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 119 (2): 163 – 168.
- Norris, I.B. (1985). Relationships between growth and measured weather factors among contrasting varieties of *Lolium*, *Dactylis* and *Festuca* species. *Grass Forage Sci.* 40: 151 – 160.
- Novoplansky, A. (2002). Developmental plasticity in plants: implications of non-cognitive behavior. *Evolutionary Ecology.* 16: 177 – 188.
- Nutter, F.W., Gleason Jr. M.L., Jenco, J.H. i Christians, N.C. (1993). Assessing the accuracy, inter-rater repeatability, and inter-rater reliability of disease assessment systems. *Phytopathology.* 83: 806 – 812.
- O'Toole, J.C. (1982). Adaptation of rice to drought-prone environments. Pp. 195 – 213. En: *Drought resistance in crops with emphasis on rice* IRRI, Los Banos, Philippines.
- Oddo, J. M., Cañameras, N. i Biel, C. (2007). Efectes de l'ús d'aigua residual regenerada en el sòl d'una parcel·la de gespa. Treball Final de Carrera. Especialitat en Hortofruticultura i Jardineria. Escola Superior d'Agricultura de Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Olmstead, M.A., Greene, S. i Tarara, J. (2004). Nondestructive measurement of vegetative cover using digital image analysis. *HortScience.* 39 (1): 55 – 59.
- Olofsson, M., Jensen, I.B. i Courtois, B. (2002). Improving crop competitive ability using allelopathy – an example from rice. *Plant Breeding.* 121: 1 – 9.
- Oron, G. (1996). Management modeling of integrative wastewater treatment and reuse systems. *Water Science and Technology.* 33 (10–11): 95 – 105.
- Oron, G., Armon, R., Mandelbaum, R., Manor, Y., Campos, C., Gillerman, L., Salgot, M., Gerba, C., Klein, I. i Enriquez, C. (2001). Secondary wastewater disposal for crop irrigation with minimal risks. *Water Science and Technology.* 43 (10): 139 – 146.
- Oron, G., Campos, C., Gillerman, L. i Salgot, M. (1999). Wastewater treatment, renovation and reuse for agricultural irrigation in small communities. *Agricultural Water Management.* 38 (3): 223 – 234.
- Oron, G., DeMalach, Y., Hoffman, Z. i Cibotaru, R. (1991). Subsurface microirrigation with effluent. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE.* 117 (1): 25 – 36.
- Oron, G., Goemans, M., Manor, Y. i Feyen, J. (1995). Poliovirus distribution in the soil-plant system under reuse of secondary wastewater. *Water Research.* 29: 1069 – 1078.
- Ortega, E. i Laterra, P. (2003). Fire-induced colonization of a Flooding Pampa grassland by thistles: Remnant litter and interference effects. *Applied Vegetation Science.* 6: 35 – 44.
- Oyarzabal, M., Paruelo, J.M., Del Pino, F., Oosterheld, M. i Laurenroth, W.K. (2008). Trait differences between grass species along a climatic gradient in South and North America. *Journal of Vegetation Science.* 19: 183 – 192.
- Pankhurst, C.E., Hopcroft, D.H. i Jones, W.J. (1987). Comparative morphology and flavolan content of *Rhizobium loti* induced effective and ineffective root nodules on *Lotus* species, *Leucaena leucocephala*, *Carmichaelia flagelliformis*, *Ornithopus sativus* and *Clanthus puniceus*. *Canadian Journal of Botany.* 65: 2676 – 2685.
- Parera, J. i Casanovas, M. (2008). Un jardí sense reg és possible. I Congrés SPV. Aigua i espais verds mediterranis. (Girona).
- Park, D. M., Cisar, J. L., Williams, K. E., McDermitt, D. K., Miller, W. P. i Fidanza, M. A. (2007). Using spectral reflectance to document water stress in bermudagrass grown on water repellent sandy soils. *Hydrological Processes.* 21 (17): 2385 – 2389.
- Pärtel, M., Zobel, M., Zobel, K. i van der Maarel, E. (1996). The species pool and its relation to species

- richness: evidence from Estonian plant communities. *Oikos*. 75: 111 – 117.
- Passioura, J.B. i Munns, R. (2000). Rapid environmental changes that affect leaf water status induce transient surges or pauses in leaf expansion rate. *Aust. J. Plant Physiol.* 27: 941 – 948.
- Patton, A.J., Hardebeck, G.A., Williams, D.W. i Reicher, Z.J. (2004). Establishment of Bermudagrass and Zoysiagrass by seed. *Crop Science*. 44: 2160 – 2167.
- Paulsen, G.M. (1994). High temperature responses of crop plants. Pp. 365-389. En: Boote, K.J., Bennett, J.M., Sinclair, T.R. i Paulsen G.M. (Eds.). *Physiology and determination of crop yield*. ASA, CSSA, and SSA, Madison, Wis.
- Pearcy, R.W., Ehleringer, J., Mooney, H.A. i Rundel, P.W. (1989). *Plant Physiological Ecology: Field Methods and Instrumentation*. London New York. Chapman and Hall.
- Peco, B. i Espigares, T. (1994). Floristic fluctuations in annual pastures: the role of competition at the regeneration stage. *J. Veg. Sci.* 5: 457 – 462.
- Peltzer, D.A., Wilson, S.D. i Gerry, A.K. (1998). Competition intensity along a productivity gradient in a low-diversity grassland. *American Naturalist*. 151: 465 – 476.
- Peñuelas J., Filella I. i Baret F. (1995a). Semiempirical indices to assess carotenoids/chlorophyll a ratio from leaf spectral reflectance. *Photosynthetica*. 31: 221 – 230.
- Peñuelas J., Filella I. i Gamon J.A. (1995b). Assessment of photosynthetic radiation-use efficiency with spectral reflectance. *New Phytologist*. 131: 291 – 296.
- Peñuelas J., Isla R., Filella I. i Araus J.L. (1997a). Visible and near-infrared reflectance assessment of salinity effects on barley. *Crop Science* 37: 198 – 202.
- Peñuelas, J., Gamon, J.A., Griffin, K.L. i Field, C.B. (1993). assessing community type, plant biomass, pigment composition, and photosynthetic efficiency of aquatic vegetation from spectral reflectance. *Remote Sensing of Environment*. 46(2): 110 – 118.
- Peoples M.B. i Baldock J.A. (2001). Nitrogen dynamics of pastures: nitrogen fixation inputs, the impact of legumes on soil nitrogen fertility, and the contribution of fixed nitrogen to Australian farming systems. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 41: 327 – 346.
- Pereira, L.S., Oweis, T. i Zairi, A. (2002). Irrigation management under water scarcity. *Agricultural Water Management*. 57 (3): 175 – 206.
- Pérez, S. i Barceló, D. (2008). First evidence for occurrence of hydroxylated human metabolites of diclofenac and aceclofenac in wastewater using QqLIT-MS and QqTOF-MS. *Analytical Chemistry*. 80 (21): 8135 – 8145.
- Pessarakli, M i Kopeck, D. M. (2008). Competitive growth responses of three cool-season grasses to salinity and drought stresses. *Proceedings of the 2nd International conference on turfgrass science and management for sports fields*. (Jun 24-29, 2007. Beijing, China). 783: 169 – 174.
- Peters, E. (1968). Toxicity of tall fescue to rape and birdsfoot trefoil seeds and seedlings. *Crop Science*. 8: 650 – 653.
- Peters, E.J., i A.H.B. Mohammed Zam. (1981). Allelopathic effects of tall fescue genotypes. *Agron. J.* 73: 56 – 58.
- Petit, J.R., Jouzel, J., Raynaud, D., Barkov, N.I. i Barnola, J.M. (1999). Climate and atmospheric history of the past 420 000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature*. 399: 429 – 436.
- Pettygrove, G.S. i Asano, T. (1988). *Irrigation with reclaimed municipal wastewater. A guidance manual*. Chelsea, MI: Lewis Publishers. *Physiology*. 15: 185 – 224.
- Peyremorte, P. i Isbérie, C. (1988). Water control. *Irrigation management. Arboriculture Fruitière*. 35 (407): 35 – 44.
- Piper, J.K. (1998). Growth and seed yield of three perennial grains within monocultures and mixed stands. *Agr. Ecologist. Env.* 68: 1 – 11.
- Pitblado, R.E. (1994). The Southwestern Ontario turfgrass cultivar evaluation trials. *Guelph Turfgrass Institute Annual research report*: 11 – 28.
- Pitman, W.D. (1999). Response of Georgia 5 tall fescue - common bermudagrass mixture to season of nitrogen fertilization on Coastal Plain. *Journal of Plant Nutrition*. 22: 1509 – 1517.
- Porta, J. (1986). *Técnicas y experimentos en edafología*. 2ª Ed. Bcelona. Col·legi Oficial d'Enginyers Agrònoms de Catalunya. Barcelona.
- Porta, J. (Coord.) (1985). *Introducció al coneixement del sòl. Sòls dels Països Catalans. Història Natural dels Països Catalans*. Fundació Enciclopèdia Catalana. Assoc. Enginyers Agrònoms de Catalunya. 168 pp. Barcelona.
- Porta, J., López-Acevedo, M. i Roquero, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. 3ª Ed. Ediciones Mundi Prens. 939 pp. Madrid.
- Portz, H.L., Murray, J.J. i Yeam, D.Y. (1981). Zoysiagrass (*Zoysia japonica* Steud.) establishment by seed. *Int. Turfgrass Soc. Res. J.* 4: 113 – 122.
- Poss, J.A. Russell, W.B. i Grieve, C.M. (2006). Estimating yields of salt- and water-stressed forages with remote sensing in the visible and near infrared. *J. Environ. Qual.* 35: 1060 – 1071.
- Price J.C. i Bausch W.C. (1995). Leaf-area index estimation from visible and near-infrared reflectance data. *Remote Sensing of Environment*. 52: 55 – 65.
- Pruitt, W.O., Fereres, E. i Snuder, R.L. (1986). Reference Evapotranspiration (ET_o) for California. Univ. of Calif., Division of Agri. and Natural Resources. *Bulletin* 1922. 14 pp.
- Pugnaire, F.I., Haase, P., Incoll, L.D. i Clark, S.C. (1996). Response of the tussock grass *Stipa tenacissima* to watering in a semi-arid environment. *Functional Ecology*. 10 (2): 265-274
- Purcell, L.C. (2000). Soybean canopy coverage and light interception measurement using digital imagery. *Crop Sci.* 40: 834-837.
- Putnam, A.R. i Weston. L.A. (1986). Adverse impacts of allelopathy in agricultural systems. p. 43-56. En: Putnam, A.R. i Tang, C.S. (eds.) *The science of allelopathy*. Ed. John Wiley & Sons. New York.
- Putz, F.E. i Canham, C.D. (1992). Mechanisms of arrested succession in shrublands: root and shoot competition between shrubs and tree seedlings. *Forest Ecology and Management*. 49: 267 – 275.
- Pyke, S. (2008). Contribució al coneixement de la flora al·lóctona catalana. *Collectanea Botanica*. Vol. 27.
- Qian, Y.L. i Engelke, M.C. (1999). Performance of five turfgrasses under linear gradient irrigation. *HortScience*. 34 (5): 893 – 896.
- Qian, Y.L., Engelke, M.C. i Foster, M.J.V. (2000). Salinity effects on Zoysiagrass cultivars and experimental lines. *Crop Science*. 40: 488 – 492.

- Qian, Y.L., Fry, J.D. i Upham, W.S. (1997). Rooting and drought avoidance of warm-season turfgrasses and tall fescue in Kansas. *Crop Science*. 37: 905 - 910.
- Qian, Y.L., Fry, J.D., Wiest, S.C. i Upham, W.S. (1996). Estimating turfgrass evapotranspiration using atmometers and the Penman-Monteith model. *Crop Science*. 36: 699 - 704.
- Qian, Y.L., Wilhelm, S.J. i Marcum, K.B. (2001). Comparative responses of two Kentucky bluegrass cultivars to salinity stress. *Crop Science*. 41 (6): 1895-1900.
- Qian, Y.L. i Fu, J.M. (2005). Response of creeping bentgrass to salinity and mowing management: carbohydrate availability and ion accumulation. *HortScience*. 40 (7): 2170 - 2174.
- Qian, Y.L. i Mecham, B. (2005). Long-term effects on recycled wastewater irrigation on soil chemical properties on golf course fairways. *Agronomy Journal*.
- Qualls, R. J., Scott, J. M. i DeOreo, W. B. (2001). Soil moisture sensors for urban landscape irrigation: Effectiveness and reliability. *Journal of the American Water Resources Association*. 37 (3): 547 - 559.
- Radhakrishnan, M., Waisel, Y. i Sternberg, M. (2006). Kikuyu grass: A valuable salt-tolerant fodder grass. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 37 (9-10): 1269 - 1279.
- Radhouane, L. (2008). Hydrous characteristics of pearl millet (*Pennisetum glaucum* L. R. Br.) under drought. *Comptes Rendus Biologies*. 331 (3): 206 - 214.
- Rajaniemi, T.K. (2001). Explaining the productivity - diversity relationship in plants: changing effects of competition on the community. PhD dissertation, University of Michigan, Ann Arbor.
- Ramos, C. i Kaufmann, M. (1979). Hydraulic Resistance of Rough Lemon Roots. *Physiologia Plantarum*. 45 (3): 311 - 314.
- Rasran, L., Vogt, K. i Jensen, K. (2007). Effects of litter removal and mowing on germination and establishment of two fen-grassland species along a productivity gradient. *Folia Geobotanica*. 42 (3): 271 - 288.
- Raven, J.A., Andrews, M. i Quigg, A. (2005). The evolution of oligotrophy: implications for the breeding of crop plants for low input agricultural systems. *Annals of Applied Biology*. 146: 261 - 280.
- RD 1620/2007 Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.
- Reich, P.B., Walters, M.B. i Ellsworth, D.S. (1997). From tropics to tundra: global convergence in plant functioning. *Proc Natl. Acad. Sci. USA*. 94: 13730 - 13734.
- Renault, S., Croser, C., Franklin, J.A. i Zwiazek J.J. (2001). Effects of NaCl and Na₂SO₄ on red-osier dogwood (*Cornus stolonifera* Michx) seedlings. *Plant and soil*. 233 (2): 261 - 268.
- Reynolds H.L. (1999). Plant interactions: Competition. En: Valladares, F. i Puignaire, F.I. (eds.) *Handbook of Functional Plant Ecology*. Marcel Dekker. New York.
- Reynolds, H. i D'Antonino, C. (1996). The ecological significance of plasticity in root weight ratio in response to nitrogen. *Opinion. Plant and soil*. 185: 75 - 97.
- Ribet, J. i Drevon, J.J. (1996). The phosphorus requirement of N₂ fixing and urea-fed *Acacia mangium*. *New Phytol*. 132: 383 - 390.
- Rice, E.L. (1984). *Allelopathy*. 2nd ed. Academic Press, London.
- Rice, E.L. (1995). Biological control of weed and plant diseases. *Advances in applied allelopathy*. Univ. of Oklahoma Press, Norman.
- Richardson, A.D., Duigan, S.P. i Berlyn, G.P. (2002). An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content. *New Phytologist*. 153: 185 - 194.
- Richardson, M.D. (2004). Morphology, turf quality, and heat tolerance of intermediate ryegrass. *HortScience*. 39 (1): 170 - 173.
- Richardson, M.D., Hignight, K.W., Walker, R.H., Rodgers, C.A., Rush, D., McCalla, J.H. i Karcher, D.E. (2007). Meadow fescue and tetraploid perennial ryegrass - Two new species for overseeding dormant bermudagrass turf. *Crop Science*. 47 (1): 83 - 90.
- Richardson, M.D., Karcher, D.E., Hignight, K. i Rush, D. (2008). Drought tolerance and rooting capacity of kentucky bluegrass cultivars. *Crop Science*. 48 (6): 2429 - 2436.
- Richardson, M.D. i Boyd, J.M. (2001). Establishing *Zoysia japonica* from springs: effects of topdressing and nitrogen fertility. *HortScience*. 36 (2): 377 - 379.
- Richardson, M.D., Kracher, D.E. i Purcell, L.C. (2001). Quantifying turfgrass cover using digital image analysis. *Crop Science*. 41: 1884 - 1888.
- Rios, A. (1999). Dinámica y control de *Cynodon dactylon* en sistemas pastoriles. *Revista de la Facultad de Agronomía*. 19: 11 - 20.
- Rogers, M.E., Noble, C.L. i Pederick, R.J. (1997). Identifying suitable temperate forage legume species for saline areas. *Aust. J. Exp. Agr.* 37: 639 - 645.
- Rogers, R.A., Dunn, J.H. i Nelson, C.J. (1975). Cold hardening and carbohydrate composition of Meyer zoysia. *Agron. J.* 67: 836 - 838.
- Rogers, R.A., Dunn, J.H. i Nelson, C.J. (1977). Photosynthesis and cold hardening in zoysia and bermudagrass. *Crop Science*. 17: 727 - 732.
- Rogowski, A.S. i Jacoby Jr., E.L. (1977). Assessment of water loss patterns with microlysimeters. *Agronomy Journal*. 69: 419 - 429.
- Rollin, E.M. i Milton, E.J. (1998). Processing of high spectral resolution reflectance data for the retrieval of canopy water content information. *Remote sensing of environment*. 65 (1): 86 - 92.
- Roquero, C. i Porta, J. (1992). *Agenda de campo para estudio del suelo*. U.P.M. Madrid.
- Ros, S. (2007). Planificación y gestión integral de parques y jardines. Calidad, sostenibilidad y prevención de riesgos laborales. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- Rosenzweig, M.L. i Abramsky, Z. (1993). How are diversity and productivity related? En: Ricklefs, R.E. i Schluter, D. (eds.), pp. 52-65. *Species diversity in ecological communities*. University of Chicago Press, Chicago.
- Rosner, S., Baier, P. i Kikuta, S. B. (2001). Osmotic potential of Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] secondary phloem in relation to anatomy. *Trees-Structure and Function*. 15 (8): 472 - 482.
- Roumet, C., Lafont, F., Sari, M., Warembourg, F. i Garnier, E. (2008). Root traits and taxonomic affiliation of nine herbaceous species grown in glasshouse conditions. *Plant and Soil*. 312: 69 - 83.
- Row, D. i Abdel-Majid, I.M. (1995). *Handbook of wastewater reclamation and reuse*. New York: CRC Lewis Publishers.
- RuralCat Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural (2006). *Eina de recomanacions de reg específica per Espais verds*. Escola de Capacitació

- agrària de Tàrraga. <www.ruralcat.net/web/guest/gecnews.module.ruralcat/-/journal_content/56_INS TANCE_8hUE/10136/47932>. Última consulta: 20/05/2010.
- Russel, J.S. i Webb, H.R. (1976). Climatic range of grasses and legumes used in pastures, J. Aust. Inst. Agric. Sci. 42: 156 - 163.
- Russi, L., Martiniello, P., Tomasoni, C., Annicchiarico, P., Piano, E. i Veronesi, F. (2001). Establishment of cool season grasses in different Italian environments, Int. Turfgrass Soc. Res. J. 9: 917 - 921.
- Ryan, M.G., Hubbard, R.M., Pongracic, S., Raison, R.J. i McMurtrie, R.E. (1996). Foliage, fine-root, woody-tissue and stand respiration in *Pinus radiata* in relation to nitrogen status. Tree Physiol 16: 333 - 343.
- Sachs, R.M. (1991). Stress-adapted landscapes save water, escape injury in drought. California agriculture. 45 (6): 19-21.
- Sachs, R.M. i Shaw, D.A. (1992). Minimum irrigation requires acclimatized (hardened) plants. J. Arboriculture. 21 (1): 126 - 131.
- Sachs, R.M. i Shaw, D.A. (1993). Avoidance of drought injury and minimum irrigation in Mediterranean climate: the requirement for acclimatized (hardened) plants. J. Arbor. 18 (2): 126 - 131.
- Sackville Hamilton, N.R. (2001). Measurement of competition effects in pastures. En: Tow, P.G. i Lazenby, A. (eds.). Competition and Succession in Pastures. Pp. 15-42. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Sage, R.F., Wedin, D.A. i Li, M. (1999). The biogeography of C_4 photosynthesis: patterns and controlling factors. En: Sage, R.F. i Monson, R.K. (Eds.) ' C_4 plant biology'. pp. 313 - 373. Academic Press: New York.
- Sala, L. i Serra, M. (2004). Towards sustainability in water recycling. Water science and technology. 50(2): 1-7.
- Salaiz, T. A., Shearman, R. C., Riordan, T. P. i Kinbacher, E.J. (1991). Creeping Bentgrass cultivar water use and rooting responses. Crop Science. 31: 1331 - 1334.
- Salaiz, T.A., Horst, G.L. i Sherman, R.C. (1995). Mowing height and vertical mowing frequency effects on putting green quality. Crop Science. 35: 1422 - 1425.
- Salehi, H. i Khosh-Khui, M. (2004). Turfgrass monoculture, cool-cool, and cool-warm season seed mixture establishment and growth responses. HortScience. 39 (7): 1732 - 1735
- Salgot M i Pascual A. (1996). Existing guidelines and regulations in Spain on wastewater reclamation and reuse. Water Science and Technology. 34 (11): 261 - 267.
- Salgot, M., Verges, C. i Angelakis, A.N. (2003). Risk assessment in wastewater recycling and reuse. Water Recycling in the Mediterranean Region. 3 (4): 301 - 309.
- Salisbury, F.B. i Ross, C.W. (1969). Plant Physiology. Wadsworth Pub. Co. Inc. Belmont.
- Salo, L. F., Artiola, J. F. i Goodrich-Mahoney, J.W. (1996). Plant species for revegetation of a saline flue gas desulfurization sludge pond. Journal of Environmental Quality 25: 802 - 808.
- San Emetrio, L., Arroyo, A. i Canals, R.M. (2004). Allelopathic potential of *Lolium rigidum* Gaud. on the early growth of three associated pasture species. Grass and Forage Science. 59 (2): 107 - 112.
- Sánchez, A.M. i Peco, B. (2004). Interference between perennial grassland and *Lavandula stoechas* subsp. *pedunculata* seedlings: a case of spatial segregation cause by competition. Acta Oecologica 26: 39 - 44.
- Sánchez-Moreiras, A.M., Weiss, O.A. i Reigosa-Roger, M.J. (2003). Allelopathic evidence in the Poaceae. The Botanical Review. 69(3): 300 - 319.
- Satorre, E.H., Rizzo, F.A. i Arias, S.P. (1996). The effect of temperature on sprouting and early establishment of *Cynodon dactylon*. Weed research. 36: 431 - 440.
- Saurí, D. (2005). Els usos de l'aigua a Catalunya. En: Reales, L. et al. Gestió integrada de l'Aigua. Medi Ambient. Tecnologia i Cultura, 36: 22-29.
- Savé, R. (2009). What is stress and how to deal with it in ornamental plants? Acta Horticulturae. 813: 241 - 254.
- Savé, R., Peñuelas, J., Filella, I. i Olivella, C. (1995). Water relations, hormonal level, and spectral reflectance of gerbera - jamesonii bolus subjected to chilling stress. Journal of the American Society for Horticultural Science. 120 (3): 515 - 519.
- Schachtman, D.P. i Kelman, W.M. (1991). Potential of Lotus germplasm for the development of salt, aluminium and manganese tolerant pasture plants. Aust. J. Agric. Res. 42: 139 - 149.
- Schachtman, D.P. i Liu, W.H. (1999). Molecular pieces to the puzzle of the interaction between potassium and sodium uptake in plants. Trends Plant Sci. 4: 281 - 287.
- Schenk, H.J. (2006). Root competition: beyond resource depletion. Journal of Ecology. 94: 725 - 739.
- Schlemmer, M.R., Francis, D.D., Shanahan, J.F. i Schepers, J.S. (2005). Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. Agronomy Journal. 97: 106 - 112.
- Schmidt, R.E. i Shoulders, J.F. (1977). Seasonal performance of selected temperate turfgrasses overseeded on bermudagrass turf for winter sports. p. 75-86. En: Beard, J.B. (ed.). Proc. Third Intl. Turf. Res Conf. Munich, West Germany. Amer. Soc. Agron., Madison, Wisc.
- Schmitt, J. i Wulff, R.D. (1993). Light spectral quality, phytochrome and plant competition. Trends in Ecology and plant evolution. 8: 47 - 50.
- Schoener, T.W. (1983). Field experiments on interspecific competition. American Naturalist. 122: 240 - 285.
- Schomberg, H.H., i Weaver, R.W. (1990). Early growth and N_2 fixation activity of arrowleaf clover in response to starter N. Agron. J. 82: 946 - 951.
- Schulze, E.D., Beck, E. i Müller-Hohenstein, K. (2005). Plant ecology. Springer Distribution Center.
- Seaney, R.R. i Henson, P.R. (1970). Birdsfoot trefoil. Advances in agronomy. 22: 119 - 157.
- Seguin, P., Sheaffer, C.C., Ehlke, N.J., Russelle, M.P. i Graham, P.H. (2001). Nitrogen Fertilization and Rhizobial Inoculation Effects on Kura Clover Growth. Agronomy Journal 93: 1262 - 1268.
- Segurola, I. (2006). Movimiento, cambio y renovación: ejes del proyecto de paisaje. 12è congrés de l'APEVC. El temps, la quarta dimensió. Associació de Professionals dels Espais Verds de Catalunya. Vila-Seca.
- Semple, W.S., Cole, I.A. i Koen, T.B. (2003). Performance of some perennial grasses on severely salinised sites on the inland slopes of New South Wales. Australian Journal of Experimental Agriculture. 43(4): 357 - 371.

- Serrano, L. (2008). Effects of leaf structure on reflectance estimates of chlorophyll content. *International Journal of Remote Sensing*. 29 (17-18): 5265 - 5274.
- Serrano, L., Filella, I. i Penelas, J. (2000). Remote sensing of biomass and yield of winter wheat under different nitrogen supplies. *Crop Sci.* 40: 723 - 731.
- Sevilla, G.H., Fernández, O.N., Miñón, D.P. i Montes, L. (1996). Emergence and seedling survival of *Lotus tenuis* in *Festuca arundinacea* pastures. *Journal of Range Management*. 49: 509-511
- Shanthi, R., Hussain, K. J. i Sanjayan, K. P. (2007). Effect of aqueous root and shoot extracts of weeds on germination and seedling growth of cotton. *Allelopathy Journal*. 19 (2): 525 - 533
- Shearman, R.C., Carrow, R.N., Wit, L.A., Duncan, R.R., Trenholm L.E. i Warley, J.E. (2001). Turfgrass traffic simulators: a description of two self-propelled device simulating wear and compaction stress injury, *Int. Turfgrass Soc. Res. J.* 9: 347 - 352.
- Sheffer, K.M., Dunn, J.H. i Minner, D.D. (1987). Summer drought responses and rooting depth of three cool-season turfgrasses. *HortScience*. 22: 296-297
- Sheffield, J. i Wood, E.F. (2008). Projected changes in drought occurrence under future global warming from multi-model, multi-scenario, IPCC AR4 simulations. *Climate Dynamics*. 31 (1): 79 - 105.
- Shi, X.X., Shi, X.L., Liu, Z.X. i He, J. (2007). Effects of irrigation on allocation of above-ground and under-ground biomass in turfgrasses. *Pratacultural Science*. 24 (2): 85 - 91.
- Shipley, B. i Meziane, D. (2002). The balanced growth hypothesis and the allometry of leaf and rood biomass allocation. *Functional ecology*. 16: 326 - 331.
- Shochat, E. *et al.* (2006). Future directions in urban ecology. *Trends Ecol. Evol.* 21: 661 - 662.
- Shock, C. C., Feibert, E. B. G. i Saunders, L. D. (1998a). Onion Yield and Quality Affected by Soil Water Potential as Irrigation Threshold. *Hort. Sci.* 33: 188 - 191.
- Shock, C.C., Feibert, E.B.G. i Saunders, L.D. (1998b) Potato yield and quality response to deficit irrigation. *HortScience* 33: 655 - 659.
- Shock, C.C., J.M. Barnum, i M. Seddigh. (1998). Calibration of Watermark soil moisture sensors for irrigation management. *Proceedings of the International Irrigation Show*, San Diego, CA. Irrigation Association. pp. 139 - 146.
- Shuman, L.M. (2002) Phosphorus and nitrate nitrogen in runoff following fertilizer application to turfgrass. *Journal of Environmental Quality*. 31(5): 1710 - 1715.
- Siebek, K. i Ball, M.C. (2009). Non - destructive measurement of chlorophyll b:a ratios and identification of photosynthetic pathways in grasses by reflectance spectroscopy. *Functional Plant Biology*. 36: 857 - 866.
- Sills, M.J. i Carrow, R.N. (1983). Turfgrass growth, N use, and water use under soil compaction and N fertilization. *Agronomy Journal*. 75 (3): 488 - 492.
- Simon, J.C. i Lemaire, G. (1987). Tillering and leaf area index in grasses in the vegetative phase. *Grass and Forage Sci.* 42: 373 - 380.
- Sims, D.A. i Gamon, J.A. (2002). Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. *Remote Sensing of Environment*. 81 (2-3): 337 - 354.
- Sims, D.A., Luo, H.Y., Hastings, S., Oechel, W.C., Rahman, A.F. I Gamon, J.A. (2006). Parallel adjustments in vegetation greenness and ecosystem CO₂ exchange in response to drought in a Southern California chaparral ecosystem. *Remote Sensing of Environment*. 103 (3): 289 - 303.
- Singh, B., Boivin, J., Kirkpatrick, G. i Hum, B. (1995). Automatic Irrigation Scheduling System (AISSUIM): Principles and Applications. *J. Irrig. and Drainage Engineering* 121 (1): 43 - 56.
- Singh, K.N. i Chatrath, R. (2001) Salinity tolerance. Pp 101-110. En: Reynolds, M.P.Ortiz-Monasterio, J.I. i McNab, A. *Applicaton of physiology in wheat breeding*. Mexico DF. CYMMYT. Chapter 8. pp: 101 - 110.
- Skerman, P.J. i Riveros, F. (1990). *FAO Plant Production and Protection. Series*, FAO and UN, Rome.
- Skirde, W. (1989). Performance of new cultivars of tall fescue (*Festuca arundinacea*) in pure sowings and mixtures. pp. 166. En: *Horticultural abstracts*. CAB Intl., Wallingford, Oxford, U.K.
- Skogley, C.R. i Sawyer, C.D. (1992). Field research, pp. 589 - 610. En: Waddington, D.V., Carrow, R.N. i Shearman, R.C. (eds.). *Turfgrass*. Amer. Soc. Agron., Madison, Wis.
- Smith, A.E. i Martin, L.D. (1994). Allelopathic characteristics of tree cool-grass species in the forage system. *Agronomy Journal*. 86: 243 - 246.
- Smith, M.A.L., Meyer, J.E., Knight, S.L. i Chen, G.S. (1993). Gauging turfgrass salinity responses in whole-plant microculture and solution culture. *Crop Science*. 33: 566 - 572.
- Smith, M.W., Wolf, M.E., Cheary, B.S. i Carroll, B.L. (2001). Allelopathy of bermudagrass, tall fescue, redroot pigweed, and cutleaf evening primrose on pecan. *HortScience*. 36: 1047 - 1048.
- Smith, W. i Bond, W.J. (1999). Losses of nitrogen from an effluent - irrigated plantation. *Australian Journal soil research*. 37(2): 371 - 390.
- Smucker, A.J.M., Nunez-Barrios, A. i Ritchie, J.T. (1991). Root dynamics in drying soil environments. *Below Ground Ecol.* 1: 1 - 5.
- Soldat, D.J. i Petrovic, A.M. (2008). The Fate and Transport of Phosphorus in Turfgrass Ecosystems. *Crop Science*. 48 (6): 2051 - 2065.
- Sönmez, N.K., Emekli, Y., Sari, M. i Bastug, R. (2008). Relationship between spectral reflectance and water stress conditions of Bermuda grass (*Cynodon dactylon* L.). *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 51 (3): 223 - 233.
- Soussana, J.F. i Machado, O. (2000). Modelling the dynamics of temperate grasses and legumes in cut mixtures En: Gilles Lemaire, J. Hodgson, A. Moraes, C. Nabinger, P. C. De F. Carvalho (1999) *Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology*. International Symposium on Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology held in Curitiba. Brazil. CABI Publishing.
- Southwell, A. (1999). Productive management of saline soil. Pp 73 - 77. En: Garden, D., Davies, H.L., Michalk, D. i Dove, H. (Eds.) *Proceedings of the 14th annual conference of the Grasslands Society of NSW*.
- Spaans, E.J.A. i Baker, J.M. (1992). Calibration of Watermark soil moisture sensors for soil matric potential and temperature. *Plant and Soil* 143: 213 - 217.
- Spollen, W.G., LeNoble, M.E., Samuels, T.D., Bernstein, N., Sharp, R.E. (2000). Absciscic acid accumulation maintains maize primary root elongation at low water potentials by restricting ethylene production. *Plant Physiol* 122: 967 - 976.

- Springer, T.L. (1996). Allelopathic effects on germination and seedling growth of clovers by endophyte-free and infected tall fescue. *Crop Science*. 36: 1639 – 1642.
- Srinivasan, A., Takeda, H. i Senboku, T. (1996). Heat tolerance in food legumes as evaluated by cell membrane thermostability and chlorophyll fluorescence techniques. *Euphytica*. 88 (1): 35 – 45.
- Stachowicz, J.J. (2001). Mutualism, facilitation, and the structure of ecological communities. *BioScience*. 51: 235 – 246.
- Stasovski, E. i Peterson, C.A. (1991). The effects of drought and subsequent rehydration on the structure and vitality of *Zea mays* seedling roots. *Canadian Journal of Botany*. 69: 1170 – 1178.
- Steel, R.G.D., Torrie, J.H. i Clarke, B.B. (1997). Principles and procedures of statistics: A biochemical approach. 3rd ed. McGraw-Hill, New York.
- Stiegler, J.C., Bell, G.E., Maness, N.O. i Smith, M.W. (2005). Spectral detection of pigment concentrations in creeping bentgrass golf greens. *International Turfgrass Society Research Journal*. 10: 818 – 825.
- Steinke, K. i Stier, J.C. (2003). Nitrogen selection and growth regulator applications for improving shaded turf performance. *Crop Science*. 43: 1399 – 1406.
- Stieber, T.D. i Shock, C.C. (1995). Placement of soil moisture sensors in sprinkler irrigated potatoes. *Am. Potato J.* 72: 533 – 543.
- Stier, J.C. i Hollman, A.B. (2003). Cultivation and topdressing requirements for thatch management in A and G bentgrasses and creeping bluegrass. *HortScience*. 38 (6): 1227 – 1231.
- Stirk, W.A., Gold, J.D., Nova'k, O., Strnad, M. i van Staden, J. (2005). Changes in endogenous cytokinins during germination and seedling establishment of *Tagetes minuta* L. *Plant Growth Regul.* 47: 1 – 7.
- Stoffella, S., Posse, G. i Collantes, M. (1998). Variabilidad fenotípica y genotípica de poblaciones de *Lotus tenuis* que habitan suelos con distinto pH. *Ecología Austral*. 8: 57 – 63.
- Stoll, P., Egli, P. i Schmid, B. (1998). Plant foraging and rhizome growth patterns of *Solidago altissima* in response to mowing and fertilizer application. *Journal of Ecology*. 86 (2): 341 – 354.
- Storey, R., Ahmad, N. i Wyn Jones, R.G. (1977). Taxonomic and ecological aspects of the distribution of glycinebetaine and related compounds in plants. *Oecologia*, 27: 319 – 332.
- Stowe, L.G. (1979). Allelopathy and its influence on the distribution of plants in an Illinois old-field. *Journal of Ecology*. 67: 1065 – 1086.
- Strasbutger, E., Noll F., Schenck H. i Schimper A.F.W. (1994). Parte tercera: Evolución y sistemática. Pp 852 – 862. En: Strasbutger, E., Noll F., Schenck H. i Schimper A.F.W. (Eds.), *Tratado de Botánica*. Ed. 8 (En castellà). Omega. Barcelona.
- Streeter, J. i Wong, P.P. (1988). Inhibition of legume nodule formation and N₂ fixation by nitrate. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 7: 1 – 23.
- Stylinsky, C.D., Gamon, J.A. i Oechel, W.C. (2002). Seasonal patterns of reflectance indices, carotenoid pigments and photosynthesis of evergreen chaparral species. *Oecologia*. 131: 366 – 374.
- Su, K.M., Bremer, D.J., Keeley, S.J. i Fry, J.D. (2007). Effects of high temperature and drought on a hybrid bluegrass compared with Kentucky bluegrass and tall fescue. *Crop Science*. 47 (5): 2152 – 2161.
- Su, K.M., Bremer, D.J., Keeley, S.J. i Fry, J.D. (2008). Rooting characteristics and canopy responses to drought of turfgrasses including hybrid bluegrasses. *Agronomy Journal*. 100 (4): 949 – 956.
- Suarez-Rey, E., Choi, C.Y., Waller, P.M. i Kopec, D.M. (2000). Comparison of subsurface drip irrigation and sprinkler irrigation for Bermuda grass turf in Arizona. *Transactions of the ASAE*. 43 (3): 631 – 640.
- Sumner, M.E. i Farina, M.P.W. (1986). Phosphorus interactions with other nutrients and lime in field cropping systems. *Adv. Soil Sci.* 5: 201 – 236.
- Sumpsi, J.M., Garrido, A., Blanco, M., Varela, C. i Iglesias, E. (1998). *Economía y política de gestión del agua en agricultura*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- Sunyer, J., Aivarez-Pedrerol, M., To-Figueras, J., Ribas-Fito, N., Grimalt, J.O. i Herrero, C. (2008). Urinary porphyrin excretion in children is associated with exposure to organochlorine compounds. *Environmental Health Perspectives*. 116 (10): 1407 – 1410.
- Syers, J.K., Johnston, A.E. i Curtin, D. (2008). Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use Reconciling changing concepts of soil phosphorus behaviour with agronomic information. *Fertilizer and plant nutrition bulletin* 18 FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.
- Taber, H.G., Lawson, V., Smith, B., Shogren, D. (2002). Scheduling microirrigation with tensiometers or Watermarks. *Int. Water. Irrig.* 22: 22 – 26.
- Tagliavini, M., Veto, L.J. i Looney, N.E. (1993) Measuring root surface area and mean root diameter of peach seedlings by digital image analysis. *HortScience*. 28 (11): 1129 – 1130.
- Taiz, L. i Zeiger, E. (2006). *Plant Physiology*, Fourth Edition. Benjamin-Cummings Pub. Co. Redwood City, California.
- Tarasoff, C. S., Mallory-Smith, C. A. i Ball, D. A. (2007). Comparative plant responses of *Puccinellia distans* and *Puccinellia nuttalliana* to sodic versus normal soil types. *Journal of Arid Environments*. 70 (3): 403 – 417.
- Taub, D.R. (2000). Climate and the US distribution of C-4 grass subfamilies and decarboxylation variants of C-4 photosynthesis. *American Journal of Botany*. 87 (8): 1211 – 1215.
- Taylor, K. S., Anda, M., Sturman, J., Mathew, K. i Ho, G. (2006). Subsurface dripline tubing - an experimental design for assessing the effectiveness of using dripline to apply treated wastewater for turf irrigation in Western Australia. *Desalination*. 187 (1-3): 375 – 385.
- Terradas, J. (2001). *Ecología de la vegetación*. Omega, Barcelona.
- Thébaud, C., Finzi, A.C., Affre, L., Debussche, M. i Escarré, J. (1996). Assessing why two introduced *Conyza* differ in their ability to invade Mediterranean old fields. *Ecology*. 77: 791 – 804.
- Thenkabail, P.S., Smith, R.B. i De Pauw, E. (2000). Hyperspectralvegetation indicesand their relationships to agriculture and crop characteristics. *Remote Sens. Environment* 71: 158 – 182.
- Thenot, F., Methy, M. i Winkel, T. (2002). The photochemical reflectance index (PRI) a water-stress index. *International Journal of Remote Sensing*. 23: 5135 – 5139.
- Thomas, R. i Guerin, J.P. (2006). *Los céspedes*. Ed. Mundi-Prensa Madrid. 7ª edició.
- Thomas, S.C. i Weiner, J. (1989). Including competitive asymmetry in measures of local interference in plant populations. *Oecologia* 80: 349 – 355.

- Thompson, D.J., and K.W. Clark. 1993. Effects of clipping and nitrogen fertilization on tiller development and flowering in Kentucky bluegrass. *Can. J. of Plant Sci.* 73: 569 – 575.
- Thorogood, D., Bowling, P.J. i Jones, R.M. (1993). Assessment of turf colour change in *Lolium perenne* L. cultivars and lines. *Int. Turfgrass Soc. Res. J.* 7: 729 – 735.
- Tilman, D. (1982). Resource competition and community structure. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.
- Tilman, D. (1988). Plant strategies and the dynamics and structure of plant communities. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.
- Tinsley, M. J., Simmons, M. T. i Windhager S. (2006). The establishment success of native versus non-native herbaceous seed mixes on a revegetated roadside in Central Texas *Ecological Engineering* 26: 231 – 240.
- Topp, G.C., Davis J.L. i Annan A.P. (1980). Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. *Water. Resour. Res.* 16: 574 – 582.
- Topp, G.C., i Ferré, P.A. (2002). Determination of water content. p. 433–437. En: Dane, J.H. i Topp, G.C. (ed.) *Methods of soil analysis. Part 4. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI.*
- Torello, W.A. i Rice, L.A. (1986). Effects of NaCl stress on proline and cation accumulation in sensitive and tolerant turfgrasses. *Plant and Soil.* 93: 241 – 247.
- Torti, S.D., Dearing, M.D. i Kursar, T.A. (1995). Extraction of phenolics compounds from fresh leaves: a comparison methods. *Journal of chem. Ecol.* 21: 117 – 125.
- Trenberth, K.E. *et al.* (2007) Observations: Surface and atmospheric climate change. En: Solomon, S. *et al.*, (eds.) *Climate change 2007: The physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp. 235 – 336, Cambridge University Press.
- Trenholm, L.E., Carrow, R.N. i Duncan, R.R. (1999a). Relationship of multispectral radiometry data to qualitative data in turfgrass research. *Crop Sci.* 39: 763 – 769.
- Trenholm, L.E., Duncan, R.R. i Carrow, R.N. (1999b). Wear tolerance, shoot performance, and spectral reflectance of seashore paspalum and bermudagrass. *Crop Sci.* 39: 1147 – 1152.
- Trenholm, L.E., Schlossberg, M.J., Lee, G., Parks, W. i Geer, S.A. (2000). An evaluation of multi-spectral responses on selected turfgrass species. *Int. J. Remote. Sens.* 21: 709 – 721.
- Tripathi, R.P. (1992). Irrigation timing for wheat based on climate, crop and soil data. *J. Ti-rig, and Drainage Engineering.* 118 (3): 370 – 381.
- Trusty, S. i Trusty S. (1998). Hot town cool bentgrass. *Golf Course Mgt.* 66: 186 – 191.
- Tuberosa, R., Giuliani, S., Parry, M.A.J. i Araus, J. L. (2007). Improving water use efficiency in Mediterranean agriculture: what limits the adoption of new technologies? *Annals of Applied Biology.* 150 (2): 157 – 162.
- Turgeon, A.J. (2006). *Turfgrass management.* 8th ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Turner, N.C. i Jones, M.M. (1980). Turgor maintenance by osmotic adjustment: a review and evaluation. Pp. 87–103. En: Turner, N.C. i Kramer, P.J. (Eds.), *Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress*, Wiley/Interscience, New York.
- Tyler, C.M. i D'Antonio, C.M. (1995). The effects of neighbors on the growth and survival of shrub seedlings following fire. *Oecologia.* 102: 255 – 264.
- United Nations Environmental Program, UNEP (1996). Workshop on policies for sustainable development of Mediterranean Coastal Areas: Santorini Island, 26 – 27. UNEP/MAP, Country Reports. MAP Technical Report Series No. 114a, Athens. 213pp.
- United Nations Environmental Program, UNEP (2001) White Paper: Coastal Zone Management in the Mediterranean. UNEP/MAP/PAP: Split. 88pp.
- United Nations Population Division (1994). World Population Prospects. Sustaining Water: An Update. The United Nations.
- Unruh, J.B., Gaussoin, R.E. i Wiest, S.C. (1996). Basal growth temperatures and growth rate constants of warm-season turfgrass species. *Crop Sci.* 36: 997 – 999.
- Utrillas, M.J. i Alegre, L. (1997). Impact of water stress on leaf anatomy and ultrastructure in *Cynodon dactylon* (L.) Pers. Under Natural conditions. *International Journal of plant Sciences.* 158 (3): 313 – 324.
- Van Assche, J.A., Debucquoy, K.L.A., Rommens, W.A.F. (2003) Seasonal cycles in the germination capacity of buried seeds of some Leguminosae (Fabaceae). *New Phytol.* 158: 315 – 323.
- Vandevender, J.C. i Sencindiver, J.C. (1982). The effects of three forms of nitrogen fertilizer, phosphorus, and hydrated lime on abandoned mine land reclamation. *Proceedings, Symposium on Surface Mining, Hydrology, Sedimentology and Reclamation:* 497 – 502.
- Van der Heijden M.G.A., Bakker, R., Verwaal, J., Scheublin, T.R., Rutten, M., van Logtestijn, R. i Staehelin, C. (2006). Symbiotic bacteria as a determinant of plant community structure and plant productivity in dune grassland. *FEMS Microbiol Ecol.* 56: 178–187.
- Van Huylenbroeck, J.M., Lootens P. i Van Bockstaele, E. (1999). Photosynthetic characteristics of perennial ryegrass and red fescue turf-grass cultivars, *Grass Forage Sci.* 54: 267 – 274.
- Vandermeer, J. (1989). *The ecology of intercropping.* N.Y., EE.UU., University of Cambridge Press, 24 p.
- Vandevender, J. C. i Sencindiver, J.C. (1982). The effects of the forms of nitrogen fertilizer, phosphorus, and hydrated lime on abandoned mine land reclamation pp.497 – 502. En: *Symp. On surface mining hydrology, sedimentology and reclamation*, Lexington, K.Y. 5 – 10 Dec. Univ. Of kentucky, Lexington.
- Vasilakoglou, I., Dhima, K. i Eleftherohorinos, I. (2005). Allelopathic potential of bermudagrass and johnsongrass and their interference with cotton and corn. *Agronomy Journal.* 97: 303–313.
- Védry B, Gousailles M, Affholder M, Lefaux A. i Bontoux J. (2001). From sewage water treatment to wastewater reuse. One century of Paris sewage farms history. *Water Science and Technology.* 43 (10): 101 – 107.
- Vegis, A. (1964). Dormancy in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology* 15: 185 – 224.
- Velu, G. i Rajagopal, A. (1996). Allelopathic impact of purple nutsedge (*Cyperus rotundus*) and bermudagrass (*Cynodon dactylon*) on soybean (*Glycine max*). *Indian Journal of Agricultural Science.* 66: 363 – 365.
- Veronesi, F., Falcinelli, M., Lucaroni B. i Russi, L. (1997). Scelte varietali in loietto inglese (*Lolium perenne* L.), poa pratense (*Poa pratensis* L.) festuca rossa (*Festuca rubra* L.) e festuca arundinacea (*Festuca arundinacea* Schreb.) per il loro utilizzo nella

- conduzione di tappeti erbosi ad uso tecnico, sportivo e ricreativo in centro Italia, *Rivista di Agronomia* 31: 127 – 134.
- Vignolio, O.R. i Fernández, O.N. (1999). Germination and emergence of populations of *Lotus tenuis* (Waldst) under saline conditions and in different soil. *J. Appl. Seed Prod.* 17: 55 – 60.
- Vignolio, O.R. i Fernández, O.N. (2006). Bioecología de *Lotus glaber* Mill. (Fabaceae) en la Pampa Deprimida (provincia de Buenos Aires, Argentina). *Revista Argentina de Producción Animal*. 26: 113 – 130.
- Vignolio, O.R. i Fernández, O.N. i Maceira, N. (2002a). Biomass allocation to vegetative and reproductive organs in *Lotus glaber* and *L. corniculatus* (Fabaceae). *Australian Journal of Botany*. 50 (1): 75 – 82.
- Vignolio, O.R., Biel, C., de Herralde, F., Araújo-Alves, J.P.L. i Savé, R. (2002b). Growth of *Lotus creticus* and *Cynodon dactylon* under two levels of irrigation. *Australian Journal of Agricultural Research*. 53: 1375 – 1381.
- Vignolio, O.R., Biel, C., de Herralde, F., Araújo-Alves, J.P. i Savé, R. (2005). Use of water-stress tolerant *Lotus creticus* and *Cynodon dactylon* in soil revegetation on different slopes in Mediterranean climate. *Annals of Botany Fennicy*. 42: 195 – 205.
- Vilà, M. (1997). Effect of root competition and shading on resprouting dynamics of *Erica multiflora* L. *J. Veg. Sci.* 8: 71 – 80.
- Vilà, M. i Terradas, J. (1995). Effects of nutrient availability and neighbours on shoot growth, resprouting and flowering of *Erica multiflora*. *J. Veg. Sci.* 6: 411 – 416.
- Visconti F., de Paz, J.M. i Rubio J.L. (2010). What information does the electrical conductivity of soil water extracts of 1 to 5 ratio (w/v) provide for soil salinity assessment of agricultural irrigated lands? *Geoderma*. 154: 387 – 397.
- Volaire, F. i Lelievre, F. (2001). Drought survival in *Dactylis glomerata* and *Festuca arundinacea* under similar rooting conditions in tubes. *Plant and Soil*. 229: 225 – 234.
- Volaire, F., Seddaiu, G., Ledda, L. i Lelievre, F. (2009). Water deficit and induction of summer dormancy in perennial Mediterranean grasses. *Annals of Botany*. 103: 1337 – 1346.
- Volaire, F., Thomas, H., Bertagne, N., Bourgeois, E., Gautier, M.F. i Lelievre, F. (1998). Survival and recovery of perennial forage grasses under prolonged Mediterranean drought: water status, solute accumulation, abscisic acid concentration and accumulation of dehydrin transcripts in bases of immature leaves. *New Phytologist*. 140: 451 – 460.
- Volterrani, M., Grossi, N., Gaetani, M., Pardini G. i Miele, S. (1997). Confronto varietale di specie graminacee microterme per tappeti erbosi. Nota I: tempo di emergenza, velocità di crescita, densità, larghezza e contenuto azotato delle lamine fogliari, *Rivista di Agronomia*. 31: 118 – 126.
- Wagner, W.L., Herbst, D.R. i Sohmer, S.H. (1999). Manual of the Flowering Plants of Hawai'i. 2 vols. Bishop Museum Special Publication 83, University of Hawai'i and Bishop Museum Press, Honolulu, HI.
- Waide, R.B., Willig, M.R., Steiner, C.F., Mittelbach, G., Gough, L., Dodson, S.I., Juday, G.P. i Parmenter, R. (1999). The relationship between productivity and species richness. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 30: 257 – 300.
- Walker, C. i Lin, H.S. (2008). Soil property changes after four decades of wastewater irrigation: A landscape perspective. *Catena*. 73 (1): 63 – 74.
- Wang, J.P.P. i Bughrara, S.S. (2008a). Evaluation of drought tolerance for Atlas fescue, perennial ryegrass, and their progeny. *Euphytica*. 164: 113 – 122.
- Wang, J.P.P. i Bughrara, S.S. (2008b). Morpho-physiological responses of several fescue grasses to drought stress. *Hortscience*. 43 (3): 776 – 783.
- Wang, Z., Huang, B., Bonos, S.A. i Meyer, W.A. (2004). Abscisic acid accumulation in relation to drought tolerance in Kentucky bluegrass. *HortScience*. 39 (5): 1133 – 1137.
- Wardle, D.A., Nicholson, K.S., Ahmed, M. i Rahman, A. (1994). Interference effects of the invasive plant *Carduus nutans* L. against the nitrogen-fixation ability of *Trifolium repens* L. *Plant Soil*. 163: 287 – 297.
- Wardle, D.A. i Peltzer, D.A. (2003). Interespecific interactions and biomass allocation among grassland plant species. *Oikos*. 100: 497 – 506.
- Wardle, D.A., Nicholson, K.S. Ahmed, M. i Rahman, A. (1994). Interference effect of phytotoxins on comparative outcome in a model system. *Ecology*. 75: 1959 – 1964.
- Wardle, D.A., Nilsson, M.C., Gallet, C. i Zackrisson, O. (1998). An ecosystem level perspective of allelopathy. *Biol. Rev.* 73: 305 – 319.
- Warmund, M.R., Fuller, R. i Dunn, J. H. (1998). Survival and recovery of 'Meyer' zoysiagrass rhizomes after extracellular freezing. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 123: 821 – 825.
- Watson, L. i Dallwitz, M.J. (1994). The grass genera of the world. Rev. Ed. CAB International, Wallingford, England.
- Wedderburn, M.E. (1983). The effect of source, concentration, and time of application of nitrogen on the growth, nodulation and nitrogen fixation of *Lotus pedunculatus* cultivar Maku and *Trifolium repens* cultivar S84. *Plant Soil* 74: 83 – 92.
- Wehner, D.J. i Watschke, T.L. (1981). Heat tolerance of kentucky bluegrass, perennial ryegrass and annual bluegrass. *Agron. J.* 73: 79 – 84.
- Weidenhamer, J.D., Hartnett, D.C. i Romeo, J.T. (1989). Density - dependent phytotoxicity: distinguishing resource competition and allelopathic interference in plants. *J. Appl. Ecol* 26: 613 – 624.
- Weigelt, A. i Jolliffe, P. (2003). Indices of plant competition. *Journal of ecology*. 91:707 – 720.
- Weiner, J. (1986). How competition for light and nutrients affects size variability in *Ipomoea tricolor* populations. *Ecology*. 67: 1425 – 1427.
- Weiner, J. i Thomas, S.C. (1986). Size variability and competition in plant monocultures. *Oikos*. 47: 211 – 222.
- Welden, C.W. i Slauson, W.L. (1986). The intensity of competition versus its importance: an overlooked distinction and some implications. *The Quarterly Review of Biology*. 61 (1): 23 – 44.
- Weng, J.H., Liao, T.S., Hwang, M.Y., Chung, C.C., Lin, C.P. i Chu, C.H. (2006). Seasonal variation in photosystem II efficiency and photochemical reflectance index of evergreen trees and perennial grasses growing at low and high elevations in subtropical Taiwan. *Tree Physiology*. 26 (8): 1097 – 1104.
- Werner C., Correia, O. i Beyschlag, W. (1999). Two different strategies of mediterranean macchia plants to avoid photoinhibitory damage by excessive radiation levels during summer drought. *Acta Oecol.* 20: 15 – 23.

- Werner P.A. i Platt, W.J. (1976). Ecological relationships of co-occurring goldenrods (*Solidago*: Compositae). *American Naturalist*. 110: 959 - 971.
- Weston, A.L. i Putnam, A.R. (1985). Inhibition of growth, nodulation, and nitrogen fixation of legumes by quackgrass. *Crop Science*. 25: 561 - 565.
- Whisenant, S. (1999). *Repairing damaged ecosystems*. Cambridge University Press. New York.
- White, R.H., Engelke, M.C., Anderson, S.J., Ruemmele, B.A., Marcum, K.B. i Taylor, G.R. (2001). Zoysiagrass Water Relations. *Crop Science*. 41: 133 - 138.
- White, R.H., Engelke, M.C., Morton, S.J. i Ruemmele, B.A. (1992). Competitive turgor maintenance in tall fescue. *Crop Science*. 32: 251 - 256.
- Whitehead, D.C. (2000). *Nutrient Elements in Grassland. Soil-Plant Animal Relationships*, CAB International, Wallingford, UK.
- Whiteman, P.C. (1990). *Tropical Pasture Science*, Oxford University Press: Oxford, UK.
- Whitwell, L. i Santelmann, P.W. (1978). Influence of growth stage and soil conditions on Bermudagrass susceptibility to glyphosate. *Agronomy Journal*. 70: 106 - 109.
- WHO (1989). Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. Technical report series no. 778. World Health Organization, Geneva.
- Wiegand, C.L. i Richardson, A.J. (1990). Use of spectral vegetation indices to infer leaf area, evapotranspiration and yield: I. Rationale. *Agronomy Journal*. 82: 623 - 629.
- Wilen, C.A. i Holt, J.S. (1996a). Physiological mechanisms for the rapid growth of *Pennisetum clandestinum* in Mediterranean climates. *Weed Research*. 36(3): 213 - 225.
- Wilen, C.A. i Holt, J.S. (1996b). Spatial growth of kikuyugrass (*Pennisetum clandestinum*). *Weed Science*. 44(2): 323 - 330.
- Wiley, K. (2004). *On the Wild Side, Experiments in New Naturalism*. Timber Press, Cambridge.
- Wilkinson, R.E. i Duncan R.R. (1994). Seashore paspalum (*Paspalum vaginatum* Swartz) seminal root response to calcium (45 Ca²⁺) absorption modifiers. *J. Plant Nutr.* 17: 1385 - 1392.
- Williamson, G.B. (1990). Allelopathy, Koch's postulates, and the neck riddle. En: Grace, J.B. i Tilman, D. (eds). *Perspectives on plant competition*. San Diego, CA: Academic Press, pp. 143 - 162.
- Wilson, S.D. i Tilman, D. (1991). Components of plant competition along an experimental gradient of nitrogen availability. *Ecology*. 72: 1050 - 1065.
- Wilson, S.D. i Tilman, D. (1993). Plant competition and resource availability in response to disturbance and fertilization. *Ecology*. 74: 599 - 611.
- Wilson, S. D. i Tilman, D. (1995). Competitive responses of eight old-field plant species in four environments. *Ecology*. 76: 1169 - 1180.
- Wolf, B.L., Emerson, L.D. i Sencindiver, J.C. (1990). Forage production on a mineral soil in southern West Virginia pp.121-125. En: Kousen, J.S. *et al.* (ed.) *Proc. 1990 Mining and reclamation conf. and Exhibition*, Charleston, WV. 23-26 Apr. Vol.I. West Virginia Univ., Morgantown, WV.
- Wu, L., Chen, J., Van Mantgem, P. i Harivandi, M.A. (1996). Regenerant wastewater irrigation and ion uptake in five turfgrass species. *Journal of plant nutrition*. 19 (12): 1511 - 1530.
- Wu, L., Chen, J., Van Mantgem, P., Harivandi, M.A. i Harding, J. (1995). Effects of regenerant wastewater irrigation on growth and ion uptake of landscape plants. *J. Environ. Hort.* 13: 92 - 96.
- Wu, C.Y., Niu, Z., Tang, Q. i Huang, W.J. (2009). Predicting vegetation water content in wheat using normalized difference water indices derived from ground measurements. *Journal of Plant Research*. 122 (3): 317 - 326.
- Wurst, S i van Beersum, S. (2009). The impact of soil organism composition and activated carbon on grass-legume competition. *Plant and Soil*. 314: 1 - 9.
- XAC Xarxa Agrometeorològica de Catalunya <xarxes.meteocat.com> Última consulta: 20/05/2010
- Xiong, X., Bell, G.E., Solie, J.B., Smith, M.W. i Martin, B. (2007). Bermudagrass seasonal responses to nitrogen fertilization and irrigation detected using optical sensing. *Crop Science*. 47: 1603 - 1610.
- Xu, Q. i Huang, B. (2000a). Growth and physiological responses of creeping bentgrass to changes in air and soil temperatures. *Crop Science*. 40: 1363 - 1368.
- Xu, Q. i Huang, B. (2000b). Effects of differential air and soil temperature on carbohydrate metabolism in creeping bentgrass. *Crop Science*. 40: 1368 - 1374.
- Xu, Q. i Huang, B. (2001). Lowering soil temperatures improves creeping bentgrass growth under heat stress. *Crop Science*. 41: 1878 - 1883.
- Xu, Q. i Huang, B. (2003). Seasonal changes in turf performance and carbohydrate status of creeping bentgrass. *Crop Science*. 43: 226 - 271.
- Xu, Y. i Huang, B.R. (2007). Heat-induced leaf senescence and hormonal changes for thermal bentgrass and turf-type bentgrass species differing in heat tolerance. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 132 (2): 185 - 192.
- Xu, Q., Huang, B. i Wang, Z. (2003). Differential effects of lower day and night soil temperatures on shoot and root growth of creeping bentgrass. *HortScience* 38(3): 449 - 454.
- Xu, Q. i Huang, B. (2004). Antioxidant metabolism associated with summer leaf senescence and turf quality decline for creeping bentgrass. *Crop Science*. 44: 553 - 560.
- Xu, S., Li, J.L., Zhang, X.Q., Wei, H. i Cui, L.J. (2006). Effects of heat acclimation pretreatment on changes of membrane lipid peroxidation, antioxidant metabolites, and ultrastructure of chloroplasts in two cool-season turfgrass species under heat stress. *Environmental and Experimental Botany*. 56(3): 274 - 285.
- Yamamoto, A., Nakamura, T., Adu-Gyamfi, J.J. i Saigusa, M. (2002). Relationship between chlorophyll content in leaves of sorghum and pigeonpea determined by extraction method and by chlorophyll meter (SPAD-502). *Journal of Plant Nutrition*. 25 (10): 2295 - 2301.
- Yang, C.M., Chen, C.L. i Sung, F.J.M. (1983). Water relation in rice, Leaf diffusive tolerance and osmotic adjustment of field grown rice genotypes, *Proc. Natl. Sci. Coun. B. ROC* 7 (3): 288 - 292.
- Yeo, A.R., Lee, K.S., Izard, P., Boursier, P.J. i Flowers, T.J. (1991). Short-and long-term effects of salinity on leaf growth in rice (*Oryza sativa* L.). *J. Exp. Bot.* 42: 881 - 889.
- Yermiyahu, U., Ben-Gal, A., Keren, R. i Reid, R.J. (2008). Combined effect of salinity and excess boron on plant growth and yield. *Plant and Soil*. 304 (1-2): 73 - 87.
- Youngner, V.B., Wright, W.W. i Zimmerman, E. (1971). Kikuyugrass-its management and control. *Calif. Turfgrass Cult.* 21: 1 - 3.

- Zhang, J., Klueva, N. i Nguyen, H.T. (1996). Plant adaptation and crop improvement for arid and semiarid environments. *Proceedings of the Fifth International Conference on Desert Development. Volume II. International Center for Arid and Semiarid Land Studies. Lubbock, TX, USA.* 12 – 14.
- Zhu, Y., Tian, Y.C., Yao, X., Liu, X.J. i Cao, W.X. (2007). Analysis of common canopy reflectance spectra for indicating leaf nitrogen concentrations in wheat and rice. *Plant Production Science.* 10(4): 400 – 411.
- Zobel, M. (1992). Plant species coexistence - the role of historical, evolutionary and ecological factors. *Oikos.* 65: 314 - 320.
- Zorpas, A.A., Tsartas, P., Aristidis, G. i Theoharous, O. (2008). Mediterranean standard for sustainable tourism (MESST) - general requirements, objectives and the philosophy of MESST. *Sustainable Tourism III. Wit Transactions On Ecology And The Environment:* 85 – 94.