

CAPÍTOL V. SIMULACIÓ DE REVEGETACIONS AMB ROMANÍ EN CONDICIONS SEMICONTROLADES.

5.1. Introducció.

En la introducció general es justifica la creixent necessitat de revegetar zones degradades, amb l'objectiu de restaurar l'ecosistema original o bé rehabilitar-lo per a nous usos. Aquesta necessitat s'ha convertit actualment en una obligació d'acord amb noves disposicions normatives, i la revegetació forma part de programes de mesures correctores de l'impacte ambiental causat per determinades intervencions en el medi. També es fa referència als principals problemes que les revegetacions poden tenir a la conca mediterrània.

En aquest capítol s'hi agrupen 3 experiments que van ser realitzats en hivernacle o en cambra de condicions controlades, però en els quals s'ha intentat una aproximació a diverses situacions reals que es poden produir en les revegetacions de la zona mediterrània.

Les condicions de l'hivernacle permeten, en aquest tipus d'experiments, explorar el potencial de factors simples que puguin tenir impacte en condicions de camp, mantenint altres variables constants i minimitzant la variabilitat ambiental de l'exterior, com per exemple controlant la quantitat de pluja rebuda per les plantes. Encara que els resultats dels experiments en hivernacle rarament poden extrapolar-se, ens han de permetre generar prediccions o hipòtesis que després puguin ser testades en condicions de camp (Freckleton i Watkinson, 2000; Novoplansky i Goldberg, 2001).

En l'experiment 4 es va estudiar la resposta de les plantes de romaní micoritzades i no micoritzades a un estrès hídric ràpid i intens, així com la seva posterior recuperació. El tractament d'estrès es va fer deixant de regar les plantes fins que el substrat va assolir un potencial matricial de -0.06 MPa, condicions que es van assolir al cap de 6 dies. Es va considerar que aquest tipus d'estrès podia ser similar al que es produeix quan es trasplanta la planta del viver al sòl. L'interès de l'aproximació a la situació del trasplantament, rau en el fet que pot ser especialment conflictiva i determinar l'èxit de la revegetació.

Com s'ha vist en el capítol IV, la inoculació de romaní amb fongs micorízics és un tractament que pot millorar el comportament de les plantes durant la fase de producció en viver, però que després té continuïtat en el camp. Per tant, en aquest capítol s'intenta valorar els possibles beneficis que pugui tenir la

utilització de plantes micoritzades durant la fase de trasplantament (experiment 4 i 5), així com el seu comportament a mig termini en una revegetació simulada (experiment 5).

Els experiments 4 i 5 van ser de llarga durada (superiors a 1 any), i en els dos es van simular condicions externes que són limitants en zones a revegetar de la conca mediterrània, com són la pluviometria, un sòl pertorbat de baixa fertilitat i la profunditat de sòl disponible.

L'aproximació al sòl pertorbat, va consistir en la utilització com a substrat de material procedent d'un moviment de terres (experiment 5) i el sòl d'un camp abandonat (experiment 6), tots dos amb baixa fertilitat i capacitat de retenció d'aigua. Es van emprar com a "contenidors", banquetes de ciment de grans dimensions que van permetre imitar les condicions d'un sòl i, al mateix temps, minimitzar la variabilitat (per exemple evitant l'entrada lateral d'aigua) i facilitar la mesura de diferents paràmetres de les arrels.

Tant en l'experiment 5 com en el 6, les quantitats totals anuals d'aigua aportada es van distribuir al llarg de l'any d'acord amb les freqüències de pluja mensual mitjana de l'estació agrometeorològica de Cabrials.

En l'experiment 5, es va fer el seguiment del creixement, producció i de les relacions hídriques de plantes de romaní micoritzades i no micoritzades en dos règims pluviomètrics (300 i 500 mm·any⁻¹). Es va estudiar també l'efecte de la introducció de plantes micoritzades sobre la biofertilitat del sòl i la seva interacció amb el règim pluviomètric.

En l'experiment 6, s'estudia la interacció del romaní amb altres arbusts autòctons, introduint el factor profunditat de sòl com a generador de diferents situacions de disponibilitat de recursos. A més dels paràmetres de producció i creixement, es van estudiar les relacions hídriques de les espècies en competència, sota la hipòtesi que els mecanismes i estratègies desenvolupats en resposta a l'estrès hídric, poden influir en la seva capacitat per competir, i que els resultats poden ser d'interès per a la utilització simultània de diferents espècies en les revegetacions.

5.2. Experiment 4. Resposta l'assecamment ràpid del substrat i posterior recuperació.

5.2.1. Objectius de l'experiment.

En el trasplantament les plantes cultivades en contenidor poden patir un estrès hídric de curta durada i forta intensitat, ja que s'arriba a potencials matricials del substrat molt negatius en poc temps. Aquest esgotament de l'aigua és degut a la pròpia transpiració de la planta, i a la competència per la humitat que s'estableix entre el substrat i el sòl per diferències texturals. En aquest experiment es va estudiar l'efecte de l'estrès produït per un esgotament ràpid de l'aigua del pa de substrat, similar a l'estrès que es produeix quan es trasplanta la planta del viver al sòl.

Així mateix, es va comparar la resposta de les plantes micoritzades (M) i no micoritzades (NM) per tal de detectar si la inoculació amb el fong micorízic evita o no els efectes d'aquest tipus de sequera.

5.2.2. Metodologia i plantejament experimental

Es van utilitzar 40 plantes de romaní de 6 mesos d'edat, cultivades en contenidors tipus Robin de 790 cm³ de capacitat i substrat de torba perleta (1:1 en volum). L'assaig es va dur a terme en una cambra de condicions controlades (Koxka 1M/365/IA) amb una temperatura de 20°C, una humitat ambiental del 70% i una intensitat lumínica per sobre les plantes de 250 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ aportada per fluorescents i bombetes incandescents. El fotoperíode va ser de 16 hores de llum i 8 hores de fosc. Les plantes es van entrar a la cambra de condicions controlades dues setmanes abans de l'inici de l'assaig perquè s'acimatessin a les condicions de baixa llum.

El tractament d'estrès o sequera (S) va consistir en deixar de regar el dia 0 (inici de l'assaig), fins que el substrat va assolir un potencial matricial de -0.06 MPa, condicions que es van assolir el dia 6, quan les fulles de les branques apicals mostraven símptomes de marciment. En aquest moment, les plantes del cicle d'estrès es van tornar a regar cada dia fins el final de l'assaig, el dia 24. El tractament d'estrès va pretendre simular les condicions d'estrès hídric que tenen lloc després del trasplantament, que és de curta durada i forta intensitat. Les plantes control (C) es van regar diàriament amb solució nutritiva d'identica composició a la que es detalla a l'apartat de material i mètodes 3.2.2.5.

El potencial del substrat es va mesurar amb tensiòmetres Soilmoisture Probe (Soilmoisture, Santa Barbara, USA), de rang de mesura comprés entre 0 i - 0,1 MPa. Aquest tipus de tensiòmetres són especials per a contenidors petits i se'n van instal·lar 2 per tractament, situats al mig del contenidor.

El tractament de micorizació (M), va consistir en la utilització de plantes de romaní inoculades amb *Glomus intraradices* 6 mesos abans de l'inici de l'assaig, que es van comparar amb plantes de la mateixa mida i edat no inoculades (NM).

Les plantes utilitzades van ser cultivades en hivernacle sense restricció de nutrients ni aigua, de manera que a l'inici de l'assaig (dia 0), no hi havia diferències aparents en la producció entre les plantes M i NM utilitzades. La Taula 5.2.1, mostra característiques biomètriques de les plantes M i NM a l'inici de l'assaig. L'assaig, que va durar un total de 24 dies, es va realitzar el mes de novembre-desembre de 1993.

Taula 5.2.1. Mitjanes (n=2) de biomassa a l'inici de l'assaig (dia 0), al final del cicle de sequera (dia 6) i al final de l'assaig (dia 24) en plantes de romaní regades micoritzades (MC) i no micoritzades (NMC), i plantes sotmeses a un cicle d'estrès i rehidratació micoritzades (MS) i no micoritzades (NMS).

	Inici de l'assaig (dia 0)				Final del cicle sequera (dia 6)				Final de l'assaig (dia 24)			
	Pes sec (g)				Pes sec (g)				Pes sec (g)			
	Part aèria	Arrel	Total	Root/shoot	Part aèria	Arrel	Total	Root/shoot	Part aèria	Arrel	Total	Root/shoot
MC	30,90	5,25	41,35	0,17	30,99	14,64	45,63	0,47	37,36	8,75	50,06	0,23
NMC	27,57	5,45	36,94	0,19	28,22	6,86	35,08	0,26	37,10	8,32	49,72	0,26
MS					30,44	6,47	36,90	0,21	32,40	11,01	43,41	0,21
NMS					28,66	10,91	39,57	0,39	35,29	8,75	47,30	0,24

Els dies 0 (inici de l'assaig), 3, 6, 9 i 24, es van mesurar els següents paràmetres sobre 6 rèpliques escollides a l'atzar (n=6), tenint en compte que les mesures del dia 6 es van fer abans de tornar a regar les plantes del cicle d'estrès, és a dir, en el moment de màxim estrès hídric:

- Conductància estomàtica i potencials hídric i osmòtic de la fulla, seguint la metodologia descrita als apartats 3.2.4.1, 3.2.4.2 i 3.2.4.3, respectivament.
- Resistència hidràulica, potencial hídric i osmòtic del sistema radicular, seguint la metodologia descrita als apartats 3.2.4.6, 3.2.4.2, i 3.2.4.3, respectivament. Per a fer aquestes mesures va ser necessari separar la part aèria de les arrels, utilitzant dues plantes per cada combinació de tractaments.

Els dies 3, 6 i 9, es va mesurar el percentatge de colonització total, el percentatge de colonització metabòlicament activa i la relació colonització

activa/colonització total (n=4) per a les plantes M, seguint la metodologia descrita als apartats 3.2.6 i 3.2.8.

A l'inici de l'assaig (dia 0), al final del cicle sequera (dia 6) i al final de l'assaig (dia 24), es van determinar paràmetres de producció (pes sec de la part aèria i de les arrels, n=2), seguint la metodologia descrita a l'apartat 3.2.3.

El disseny de l'assaig és bifactorial, amb dos nivells del factor estrès, sequera (S) i control (C), i dos nivells per al factor fong, micorització (M) i no micorització (NM). Per tant, els quatre grups experimentals resultants de la combinació dels dos factors són: micoritzades-control (MC), no micoritzades-control (NMC), micoritzades-sequera (MS) i no micoritzades-sequera (NMS). Cadascun del grups experimentals comptava amb 10 plantes o repeticions, total 40 plantes.

Es va estudiar també l'evolució de la colonització de les plantes micoritzades amb un model bifactorial, considerant els factors estrès (dos nivells: sequera S i control C) i temps (dies 3, 6 i 9). El factor temps es va considerar fix i no aleatori, ja que no es pretén la generalització de resultats, sinó que aquests es consideren només representatius de assaig.

Per a cada dia de mesura, es va realitzar l'anàlisi de la variància per determinar l'efecte de cada factor mitjançant el procediment GLM del SAS (versió 6.0 SAS Institute, Inc., 1994), i el test de Tukey per a comparar les mitjanes dels factors principals. En el cas d'interaccions significatives, es van comparar les mitjanes estimades per mínims quadrats de cada combinació de tractaments utilitzant les instruccions LSMEANS i PDIF del procediment GLM del SAS, i el test de Tukey de comparació múltiple. Les dades de producció (pes sec de la part aèria i pes sec de les arrels), es van transformar mitjançant " $\ln x$ " i les dades de colonització amb " $\arcsin(x)^{1/2}$ ", on x és la colonització en tant per u.

5.2.3. Resultats i discussió.

5.2.3.1. Relacions hídriques.

La tensió en el substrat es va mantenir en les plantes regades o control (MC i NMC) entre els -0,002 MPa i -0,005 MPa. Durant el cicle de sequera, la tensió del substrat va arribar a -0,059 MPa, tant en les micoritzades (MS) com en les no micoritzades (NMS). Aquesta tensió de -0,059 MPa implica que només quedava en el substrat un 15% d'aigua de tota la seva capacitat, i és aigua no disponible per les arrels ja que està retinguda a molta tensió. Es va arribar a aquesta tensió en el moment de màxim estrès, als sis dies sense regar, això vol dir que l'estrès va ser molt intens i es va produir de forma molt ràpida.

Taula 5.2.2. Mitjanes i valors de p de l'anàlisi de variància de la conductància estomàtica (Gs), transpiració (E), potencial hídric de la fulla (Ψ_f) i de les arrels (Ψ_a), potencial osmòtic de la fulla (Ψ_{nf}) i de les arrels (Ψ_{na}) i resistència hidràulica (Rh) de les arrels per a cada dia de mostreig i combinació de tractaments: micorizades-control (MC), no micorizades-control (NMC), micorizades-sequera (MS) i no micorizades-sequera (NMS). Les mitjanes (n=6) seguides de diferent lletra difereixen significativament amb $p \leq 0,05$.

		Dies				
		0	3	6	9	24
Conductància estomàtica (mmol.m⁻².s⁻¹)	MC	77,20	209,15	176,92	166,37	143,89
	NMC	80,20	226,87	171,15	149,23	165,65
	MS		31,76	13,48	20,67	51,74
	NMS		21,18	12,89	18,45	53,1
	Fong	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Reg		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	FongXReg		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Transpiració (mmol.m⁻².s⁻¹)	MC	0,70	2,74	3,14	2,57	2,87
	NMC	0,76	2,74	2,61	2,14	3,00
	MS		0,47	0,27	0,37	1,55
	NMS		0,28	0,25	0,31	1,14
	Fong	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Reg		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	FongXReg		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Potencial hídric de la fulla (MPa)	MC	-0,37	-0,39 a	-0,42 a	-0,38	-0,47 a
	NMC	-0,35	-0,39 a	-0,37 a	-0,42	-0,44 a
	MS		-1,39 b	-2,40 b	-1,63	-0,78 b
	NMS		-1,65 c	-3,04 c	-1,67	-0,56 a
	Fong	n.s.	0,007	<0,001	n.s.	<0,001
	Reg		<0,001	<0,001	<0,001	0,001
	FongXReg		0,010	0,010	n.s.	0,009
Potencial hídric de l'arrel (MPa)	MC	-0,08	-0,07	-0,05	-0,04	-0,03 a
	NMC	-0,08	-0,07	-0,05	-0,04	-0,03 a
	MS		-1,44	-1,62	-0,64	-0,15 b
	NMS		-1,52	-1,75	-0,53	-0,05 a
	Fong	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	<0,001
	Reg		<0,001	<0,001	<0,001	0,014
	FongXReg		n.s.	n.s.	n.s.	0,004
Potencial osmòtic de la fulla (MPa)	MC	-1,27	-1,62	-1,43 a	-1,60 a	-1,30 a
	NMC	-1,49	-1,55	-1,47 a	-1,43 b	-1,47 c
	MS		-2,07	-4,54 b	-1,98 c	-1,41 b
	NMS		-2,03	-4,95 c	-1,93 c	-1,41 b
	Fong	<0,001	n.s.	<0,001	<0,001	<0,001
	Reg		<0,001	<0,001	<0,001	n.s.
	FongXReg		n.s.	<0,001	0,007	<0,001
Potencial osmòtic de l'arrel (MPa)	MC		-1,72 b	-1,73	-1,18 b	-0,75 c
	NMC		-1,32 a	-1,78	-0,95 a	-1,17 d
	MS		-2,19 c	-5,00	-0,90 a	-0,50 b
	NMS		-2,19 c	-5,00	-1,16 b	-0,42 a
	Fong		0,030	n.s.	n.s.	<0,001
	Reg		<0,001	<0,001	n.s.	<0,001
	FongXReg		0,024	n.s.	<0,001	<0,001
Resistència hidràulica de l'arrel (MPa.s.cm⁻².10⁻⁴)	MC	8,54	24,47	14,65	22,13	20,90 b
	NMC	24,07	24,07	29,45	31,93	20,24 b
	MS		13,78	30,00	44,80	46,71 a
	NMS		16,87	54,15	61,32	18,10 b
	Fong	0,002	n.s.	<0,001	<0,001	<0,001
	Reg		n.s.	<0,001	<0,001	<0,001
	FongXReg		n.s.	n.s.	n.s.	<0,001

- **Relacions hídriques de les plantes Control (regades) M i NM.**

No hi va haver diferències significatives de potencial hídric de les fulles (Ψ_f), conductància estomàtica (Gs), transpiració (E) ni potencial hídric de les arrels (Ψ_a), entre plantes regades micoritzades (MC) i no micoritzades (NMC), al llarg de tot l'assaig (Taula 5.2.2 i Figura 5.2.1.A i B). Els resultats indiquen que les plantes regades (C) presentaven bona hidratació de les fulles i de les arrels, estomes oberts i nivells de transpiració normals per aquesta espècie, i que aquests paràmetres no es van veure afectats per la simbiosi amb *Glomus intraradices* en condicions òptimes de reg i nutrició.

Aquests resultats coincideixen amb els de nombrosos autors, ja que generalment la simbiosi amb un fong VA no comporta diferències de Ψ_f en plantes no estressades (Augé, 2001). Hi ha pocs estudis sobre hidratació de les arrels de plantes micoritzades amb fongs VA, ja que les mesures són difícils d'obtenir, però la manca de diferències en el Ψ_a entre plantes MC i NMC, són coincidents amb els de Allen (1982).

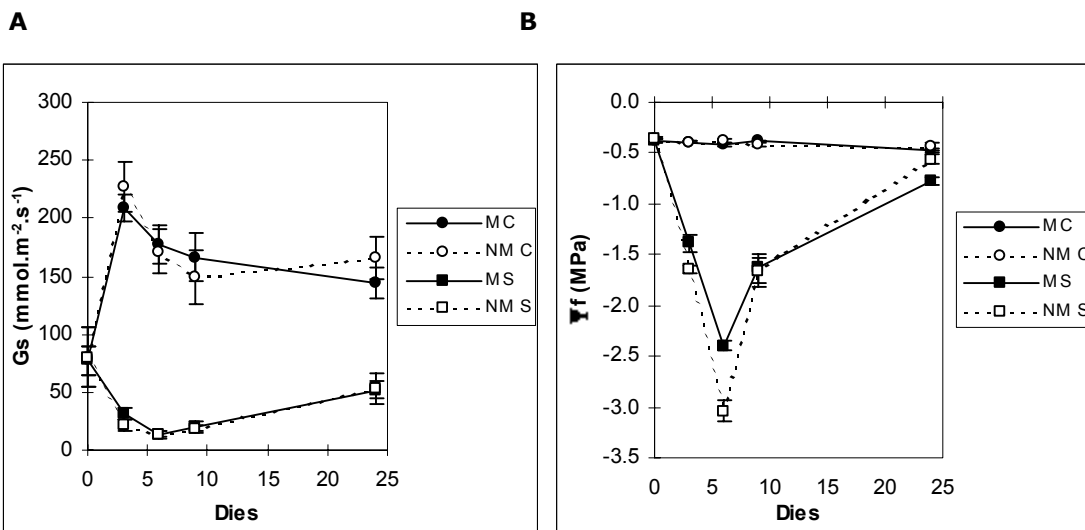


Figura 5.2.1. (A) Conductància estomàtica (Gs) i (B) Potencial hídric de fulla de plantes de romaní regades micoritzades (MC) i no micoritzades (NMC), i plantes micoritzades (MS) i no micoritzades (NMS) sotmeses a un cicle d'estrès i rehidratació. Els punts són la mitjana de sis valors \pm error estàndard.

Es van observar diferències significatives de potencial osmòtic de les fulles (Ψ_{nf}) entre plantes MC i NMC a l'inici (dia 0), el dia 9 i al final de l'assaig (dia 24), essent menor per a MC el dia 9 i major els dies 0 i 24. El potencial osmòtic de les arrels (Ψ_{na}) de les plantes MC i NMC va evolucionar de forma paral·lela al Ψ_{nf} (Taula 5.2.2).

Quan l'aigua no és limitant, generalment no s'han observat diferències de potencial osmòtic de les fulles entre plantes VAM i NM (Augé, 2001). Però degut a la major taxa fotosintètica freqüentment observada en plantes VAM no

estressades, aquestes poden desenvolupar majors reserves de soluts en el simplast que les NM i, en conseqüència, menor Ψ_{mf} , inclús en el cas que no hi hagi diferències de potencial hídric de les fulles (Goicoechea *et al.*, 1997). Aquest comportament explicaria les diferències de Ψ_{mf} observades del dia 9, però no les diferències dels dies 0 i 24.

La micorizació no va alterar la resistència hidràulica de les arrels (R_h) de les plantes control (regades) els dies 3, 9 i 24, però aquest paràmetre ha estat significativament menor a l'inici de l'assaig (dia 0) i el dia 6 (Taula 5.2.2 i Figura 5.2.2). Com ja s'ha vist en l'Experiment 2, la resistència hidràulica de les arrels micoritzades generalment no s'altera quan la simbiosi no comporta plantes més desenvolupades, és dir quan es comparen plantes de la mateixa mida (Koide, 1993). El dia 6 les plantes MC van presentar un desenvolupament radicular significativament major que les NMC (Taula 5.2.1). Per tant, els resultats del dia 6 estan d'acord amb els de diversos autors que han trobat conductivitats hidràuliques (L_p) superiors en arrels VAM que en NM quan les plantes comparades eren de diferent mida i concentració de fòsfor (Hardie i Leyton, 1981; Nelsen i Safir, 1982 a; Graham i Syversten, 1984; Cui i Nobel, 1992; citats a Augé, 2001).

- ***Relacions hídriques durant el cicle de sequera (0-6 dies).***

El cicle de sequera va comportar una disminució significativa de tots els paràmetres de relacions hídriques mesurats (dies 3 i 6).

La micorizació amb *Glomus intraradices* va possibilitar una declinació més lenta del Ψ_f durant el cicle d'estrès hídric (dies 3 i 6), assolint valors significativament més grans que en NMS, resultats coincidents amb els de Huang *et al.* (1985), Davies *et al.* (1992), Dixon *et al.* (1994), Subramanian *et al.* (1995 i 1997), Duan *et al.*, (1996) i El-Tohami *et al.* (1999), entre d'altres. Els valors de G_s i E van ser lleugerament superiors en MS els dies 3 i 6, si bé no van diferir significativament de les NMS, indicant tancament estomàtic i nivells transpiratoris molt baixos.

El dia 6, coincidint amb el moment de màxim estrès, el potencial osmòtic de les fulles de les plantes NMS va ser significativament més baix que en les plantes MS. Degut a la curta durada del cicle de sequera (7 dies), les variacions del Ψ_{mf} indiquen que es va produir concentració de soluts per deshidratació de les cèl·lules tant en plantes MS com en NMS, i aquesta va ser més intensa en les plantes no micoritzades. Diferències de Ψ_{mf} entre plantes M i NM han estat observades durant cicles d'estrès (Augé *et al.*, 1986; Goicoechea *et al.*, 1997),

encara que generalment la micorizació amb fongs VA no afecta el Ψ_{nf} de les plantes sotmeses a estrès hídric (Augé, 2001).

Tant el potencial hídric de les arrels com l'osmòtic va seguir la mateixa tendència que en les fulles, fent-se més negatius en el decurs del cicle de sequera, sense que s'observessin diferències entre les plantes MS i NMS. La resistència hidràulica de l'arrel va augmentar més ràpidament en plantes les NM, i el dia 6 les diferències entre plantes M i NM van ser significatives (Taula 5.2.2 i Figura 5.2.3). En condicions d'estrès hídric s'ha observat que la micorizació amb fongs VA no comporta variacions en el potencial osmòtic ni el contingut hídric de les arrels a turgència (saturació), però augmenten la fracció d'aigua del simplast (Augé i Stodola, 1990), o bé el contingut d'aigua total de les arrels respecte de les plantes NM (Ruiz-Lozano i Azcón, 1995).

Els resultats de la fase de sequera indiquen que la simbiosi va afavorir el balanç hídric de les plantes de romaní de mida similar, ja que la declinació del potencial hídric va ser més lenta en MS que en NMS, arribant al dia de màxim estrès (dia 6) amb un potencial hídric foliar més positiu, i mantenint la turgència foliar amb un potencial de pressió més elevat (Ψ_p). Els resultats d'aquesta fase de l'estudi presenta punts de coincidència amb aquells que sostenen la hipòtesi que, en condicions d'estrès hídric, la simbiosi micorízica comporta millores en les relacions hídriques que no estan relacionades amb el creixement o nutrició en fòsfor, ja que es comparen plantes de la mateixa mida i estatus nutricional. En aquest context, s'ha observat que en condicions d'estrès hídric les plantes M presenten una G_s més gran, tant si el potencial de l'aigua al sòl es baixa via osmòtica, és a dir, incrementant-ne el potencial osmòtic (Augé *et al.*, 1992), o suprimint l'aport d'aigua (Augé *et al.*, 1987; Augé, 1989; Ruiz-Lozano *et al.*, 1995). També s'ha determinat que les plantes M experimenten una disminució del potencial osmòtic (Augé *et al.*, 1986) i de l'elasticitat de la fulla (Augé *et al.*, 1987) i augmenten l'absorció d'aigua. Aquest increment de l'absorció de l'aigua pot ser degut al major desenvolupament de les hifes extraradicals (Davies *et al.*, 1992); o bé a que les hifes incrementen l'extracció d'aigua del sòl (Faber *et al.*, 1991; Hardie, 1985; Ruiz-Lozano i Azcón, 1995; Augé *et al.*, 2001). Hi ha treballs que sostenen que la millora en les relacions hídriques de les plantes micorizadas també pot ser deguda a altres efectes indirectes en l'absorció de nutrients per les hifes com per exemple el nitrogen (Frey and Schüepo, 1993; Tobar *et al.*, 1994) o mitjançant canvis en els nivells hormonal de la planta (Ebel *et al.*, 1994; Goicoechea *et al.*, 1995, 1996; Duan *et al.*, 1996).

- **Relacions hídriques durant la recuperació (6-24 dies).**

Al final del cicle curt de sequera (dia 6) es van regar les plantes MS i NMS a saturació i els dies següents es va observar la recuperació dels paràmetres hídrics de la planta.

La micorizació no va possibilitar la recuperació del potencial hídric foliar, ja que al final de l'assaig (dia 24) les plantes MS van presentar un valor de Ψ_f significativament més petit que les NMS. En canvi les plantes NMS, que en el moment de màxim estrès (dia 6) tenien un Ψ_f inferior al de les plantes micoritzades, van recuperar el Ψ_f més ràpidament que les micoritzades, assolint el dia 24 valors que no diferien dels de les plantes control (Figura 5.2.1.B). La recuperació de la conductància estomàtica i la transpiració va ser més lenta que la del Ψ_f , tant en les plantes MS com en les NMS, sense assolir els mateixos valors de les plantes control al final de l'assaig i sense observar diferències entre elles (Figura 5.2.1.A). El dia 9 el potencial osmòtic de les fulles va ser encara inferior al de les plantes control, però el dia 24 la recuperació va ser completa, presentant valors igual o superiors als de les plantes control i sense diferències entre els tractaments MS i NMS. Aquest comportament confirma que durant la fase de sequera no hi va haver ajust osmòtic, i la recuperació del potencial es va produir per la dilució dels soluts en la rehidratació.

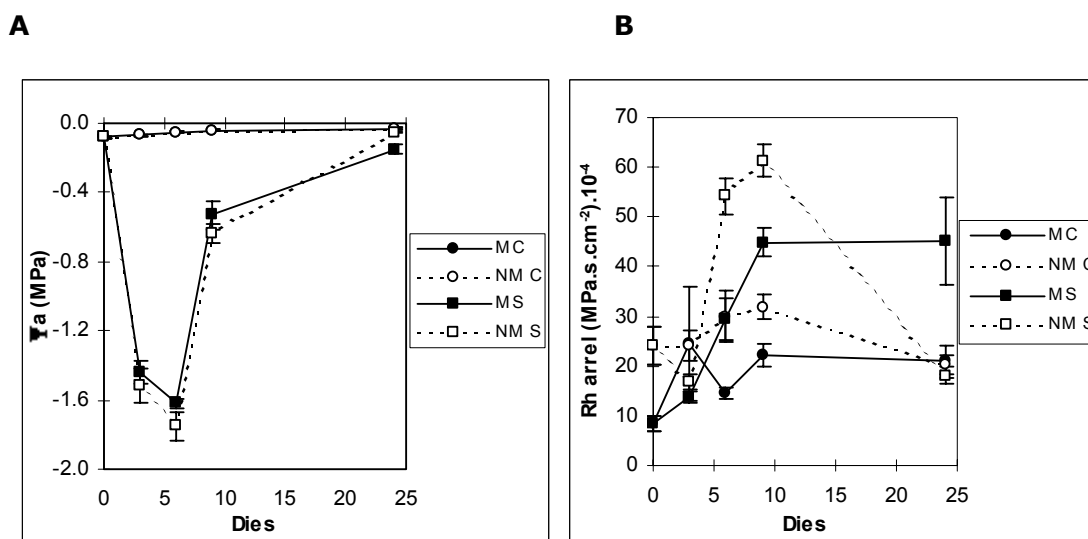


Figura 5.2.2. (A) Potencial hídric de l'arrel (Ψ_a) i (B) resistència hidràulica de l'arrel (R_h) en plantes de romaní regades micoritzades (MC) i no micoritzades (NMC), i plantes micoritzades (MS) i no micoritzades (NMS) sotmeses a un cicle d'estrès i rehidratació. Els punts són la mitjana de sis valors \pm error estàndard.

La recuperació del Ψ_a va seguir una evolució semblant al Ψ_f (Figura 5.2.2.A): en les plantes NMS es va recuperar amb més rapidesa el Ψ_a que en les plantes MS.

Aquesta recuperació va ser completa el dia 24, assolint les plantes NMS valors que no van diferir dels de les plantes control i van ser significativament més grans dels de les plantes MS.

El dia 9 el Ψ_{na} de les plantes MS i NMS ja va presentar valors igual o més grans als de les plantes control, i al final de l'assaig van ser significativament més grans que els dels tractaments MC i NMC (Taula 5.2.2). Això indica que durant el període d'estrès probablement es van produir danys en les arrels amb trencament de les parets cel·lulars, seguit d'una pèrdua de soluts cap el substrat i dilució dels soluts restants en la rehidratació.

Al final de l'assaig, les plantes MS van presentar una resistència al pas de l'aigua (R_h) significativament més gran que les plantes NMS (Taula 5.2.2 i Figura 5.2.2.B), mentre la R_h de les plantes NMS no va diferir del de les plantes control.

En general, s'ha descrit que la micorizació promou una millor recuperació dels paràmetres hídrics de les plantes després d'haver estat exposades a un cicle d'estrès hídric (Gemma *et al.*, 1997; citat a Augé, 2001). En la fase de recuperació d'aquest experiment, el potencial hídric de la fulla i l'arrel i la resistència hidràulica de l'arrel es va recuperar més lentament en les plantes MS, suggerint que es van produir canvis en l'arrel micoritzada degut a l'estrès. En aquest sentit, els resultats obtinguts en la fase de recuperació estan d'acord amb els de Levy *et al.* (1983b), que van observar una conductivitat hidràulica (L_p , inversa de la resistència hidràulica) més baixa en les arrels de *Citrus jambhiri* inoculades amb *Glomus intraradices* prèviament sotmeses a estrès hídric, respecte les plantes NM. També són similars als resultats de Graham *et al.* (1987), que van observar una disminució significativa en la L_p de les arrels del planter de 2 espècies de *Citrus* inoculades amb *Glomus intraradices*, durant la recuperació d'un cicle curt d'estrès hídric de forta intensitat. Aquesta disminució de la L_p en les plantes M no es va reflectir però, en una reducció del Ψ_f o de la E , tal com es podia esperar (Syvertsen i Graham, 1985). En aquest experiment, la major R_h de les plantes M al final de la fase de recuperació, sí que va anar acompanyada d'una menor hidratació d'arrels i fulles, que van presentar un potencial hídric de les fulles i arrels significativament més petit que el de les plantes NM.

Levy *et al.* (1983 b), suggerien que les plantes M exhaurien l'aigua disponible més ràpidament que les NM i això es traduïa en condicions d'estrès més severes. En els assajos realitzats amb contenidor, com en aquest experiment, hi ha una limitació per al creixement de les arrels i les condicions d'estrès s'assoleixen de

forma molt ràpida a causa de la seva baixa capacitat i per les característiques del substrat (Van den Driesche, 1991a), que determinen el ràpid exhauriment de l'aigua fàcilment assimilable per la planta.

També s'han suggerit mecanismes fisiològics per explicar aquest comportament, ja que les micorizes poden alterar la producció d'hormones, especialment en els teixits de les arrels que ocupen. Les micorizes poden incrementar el contingut en àcid abscísic de les arrels sota condicions d'estrès hídric, i aquest increment pot comportar una disminució de la seva conductivitat hidràulica (Marhart *et al.*, 1979; Fiscus, 1981; citats a Graham *et al.*, 1987).

Més recentment Fidelibus *et al.* (2001), van observar un menor potencial hídric de les fulles i menor conductància estomàtica en *Citrus volkameriana* micoritzat amb *Glomus intraradices* durant la recuperació d'un cicle d'estrès hídric de -0,08 Mpa en el sòl, que en les plantes NM.

5.2.3.2. Colonització i activitat del fong

El percentatge de colonització total de les arrels de les plantes micoritzades control (MC) i micoritzades estrès (MS) no van variar de manera significativa al llarg de l'assaig (Taula 5.2.3).

Taula 5.2.3. Mitjanes del percentatge de colonització total, percentatge de colonització metabòlicament activa, i relació colonització metabòlicament activa/colonització total de *Glomus intraradices* en plantes micoritzades control (MC) i micoritzades sotmeses a un cicle de sequera d'una setmana (MS), els dies 3, 6 i 9. Dins de cada tractament (MS i MC), les mitjanes seguides de la mateixa lletra no difereixen significativament amb $p \leq 0,05$, en base a les dades transformades mitjançant "arcsinus (x)^{1/2}", on x és la colonització en tant per u.

Colonització total (%)		Colonització metabòlicament activa (%)		Colonització Activa/Total (%)		
Reg	n.s.	<0,001		0,003		
Dia	n.s.	0,010		n.s.		
R X D	n.s.	<0,001		0,011		
Dies	MS	MC	MS	MC	MS	MC
3	52,0	44,3	40,0 a	25,0 b	61,0 ab	58,5 ab
6	48,5	35,0	17,5 b	24,0 b	36,0 b	69,0 ab
9	34,5	29,0	5,0 a	26,5 b	14,5 b	89,5 a

Els resultats coincideixen amb els de Nelsen i Safir (1982b), que no van trobar diferències en el percentatge de colonització total d'arrels de ceba per *Glomus etunitacus* sotmeses a un cicle de sequera respecte les plantes control. Johnson i Hummel (1985) treballant amb tarongers i *Glomus intraradices*, tampoc van trobar diferències. Altres autors han observat resultats similars en la colonització total de diverses plantes hoste amb fongs VA exposades a cicles curts d'estrès

hídric (Bethelenfalvay *et al.*, 1988; Davies *et al.*, 1992; Bryla i Duniway, 1997; Morte *et al.*, 2000).

En canvi, l'activitat metabòlica del fong va disminuir significativament en les plantes sotmeses al cicle de sequera. El percentatge de colonització metabòlicament activa de les plantes MC es va mantenir durant tot l'assaig, mentre que en les MS va disminuir un 87,5% respecte del valor inicial. La relació colonització activa/colonització total va evolucionar en sentits oposats, augmentant en les plantes MC i disminuint significativament en les MS respecte els valors inicials (Taula 5.2.3).

Aquesta reducció en l'activitat metabòlica del fong en les plantes MS, ve provocada per la disminució del potencial hídric i osmòtic de les arrels pel fort assecament del substrat, que fa que les cèl·lules de les arrels es deshidratin. D'acord amb l'evolució del Ψ_{na} durant la rehidratació, hi ha símptomes de trencament de les parets cel·lulars de les arrels que inclús poden haver provocat la mort d'una part de les mateixes, i conseqüència l'activitat del fong micorízic també s'haurà vist afectada.

Els òrgans del fong formats en períodes de suficient aport d'aigua, poden sofrir danys si es veuen sotmesos a un període d'estrès hídric, que pot comportar esporulació, mort o danys en les hifes per dessecació i exhauriment de les reserves de carbohidrats (Braunberger *et al.*, 1996).

5.2.4. Conclusions.

- 1) En condicions no limitants d'aigua ni de nutrients, la micorizació va comportar una millora puntual en la conductivitat hidràulica de les arrels, i diferències en el potencial osmòtic de les fulles i de les arrels.
- 2) Durant la fase de sequera, la simbiosi amb *Glomus intraradices* va comportar un balanç hídric més favorable per la planta hoste, ja que la declinació del potencial hídric i osmòtic de les fulles i de la conductivitat hidràulica de les arrels ha estat més lenta que en les plantes NM.
- 3) No obstant, en un cicle de sequera curt en contenidor però molt intens, la micorizació amb *Glomus intraradices* va tenir un efecte negatiu degut a la no recuperació de la conductivitat hidràulica de l'arrel, que va comportar un balanç hídric final més desfavorable per a la planta hoste que en les plantes NM. Aquest balanç hídric més desfavorable per a les plantes micoritzades, es va manifestar en un potencial hídric de les fulles i de les arrels més baix al final de l'assaig. Sembla que hi ha un valor llindar de potencial en el substrat

a partir del qual l'arrel micorizada pot quedar irreversiblement malmesa i que no es recuperi, almenys en el temps que va durar l'assaig.

- 4) No es van observar variacions en el percentatge de colonització total de les plantes micoritzades durant el cicle de sequera. En canvi, l'activitat metabòlica del fong va disminuir significativament en les plantes micoritzades com a conseqüència del cicle d'estrès, mentre que en les plantes micoritzades-control es va mantenir constant.

5.3. Experiment 5. Revegetació en un sòl pertorbat amb un aport de reg deficitari interaccionant amb el factor micoriza.

5.3.1. Objectius de l'experiment.

L'objectiu d'aquest experiment va ser estudiar la viabilitat i les possibles millores d'una revegetació amb material vegetal de romaní micorizat en diferents condicions pluviomètriques de l'àrea mediterrània.

En aquest experiment es va avaluar la resposta de la planta al trasplantament a un sòl pobre i amb baixa capacitat de retenir aigua, simulant les condicions reals que podrien donar-se en una revegetació en clima mediterrani. Es va fer un seguiment durant un any de l'evolució del creixement, de la producció i de les relacions hídriques.

5.3.2. Metodologia i plantejament experimental.

El plantejament de l'experiment va ser similar al descrit per Serrano *et al.* (1992) realitzant-se en un hivernacle de vidre per a evitar les entrades d'aigua de pluja i així controlar el seu aport. El cultiu es va realitzar en una banqueta de ciment de 16,8 m de llarg, 1,1 d'ample i 0,4 m de profunditat provista de drenatge. La banqueta es va subdividir amb plaques de fibrociment en 16 subparcel·les de 1,05 m x 1,1 m x 0,4 m. En cada subparcel·la es van trasplantar 10 plantes, amb una densitat resultant de 8,62 plantes.m⁻². Es va utilitzar com a substrat material procedent del moviment de terres de la construcció d'una autopista del Maresme. Originàriament la classificació del sòl segons la Soil Taxonomy era Typic Xerorthent, és a dir un sòl jove sense endopedió. La granulometria mesurada pel mètode de Boyoucos (1936), un cop pertorbat el sòl i abans de situar-lo a la banqueta s'exposa a la Taula II.1 de l'annex II. La classificació textural segons U.S.D.A. era Franc-Arenosa.

A l'inici del cicle es va realitzar una corba d'alliberament d'aigua segons la pressió aplicada amb plaques Richards marca Soilmoisture (Richards, 1941) i que va donar els següents resultats:

pressió (kPa)	-33	-50	-100	-200	-300	-500	-700	-900	-1100	-1300	-1500
%humitat (p/p)	11,99	9,62	8,99	7,67	7,39	6,67	6,44	6,22	6,25	5,86	5,47

En aquesta corba característica es pot veure que la capacitat de retenció d'aigua del sòl era molt baixa. A capacitat de camp, que és la quantitat d'aigua en volum després de saturar el sòl i deixar-lo drenar i que està retinguda a la tensió de -33 kPa, el sòl només retenia un 12% d'aigua.

Es van fer 4 subparcel·les o blocs per tractament. Els tractaments van ser: 500 mm.any⁻¹ d'aigua de pluja + micorizes (M500), 500 mm.any⁻¹ + no micorizes (NM500), 300 mm.any⁻¹ + micorizes (M300), i 300 mm.any⁻¹ + no micorizes (NM300). Les dosis pluviomètriques anuals es van escollir d'acord amb valors extrems que poden donar-se a la costa mediterrània: des dels 500 mm.any⁻¹ del Maresme fins els 300 mm.any⁻¹ que poden ploure a València o Múrcia. Les dosis d'aigua aportades es van calcular a partir de les freqüències de pluja mensual mitjana dels últims 12 anys de l'estació agrometereològica situada en el Centre de Cabrils de l'IRTA (Fig 5.3.1). Les aportacions es van fraccionar en dues aplicacions mensuals idèntiques cada 15 dies. L'aport d'aigua es va realitzar manualment amb mànega i amb un difusor per a simular pluja i controlant el temps.

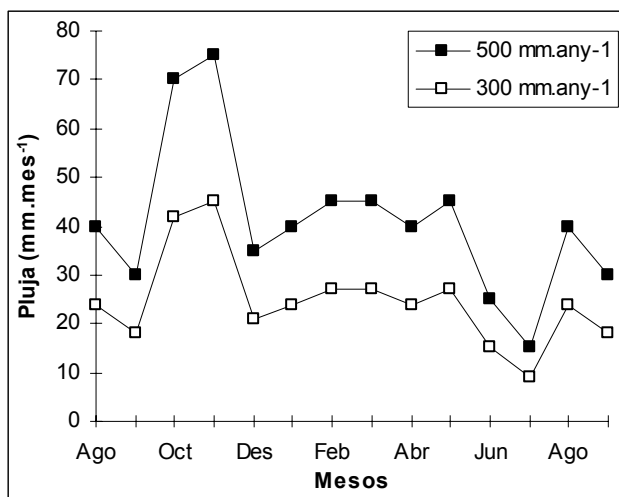


Figura 5.3.1. Quantitat d'aigua mensual aportada simulant pluja en els tractaments pluviomètrics de 500 mm.any⁻¹ i de 300 mm.any⁻¹ durant tota la duració de l'experiment.

El contingut d'aigua al terra es va mesurar per gravimetria prenent mostres de terra a dues profunditats (de 0 a 20 cm i de 20 a 40 cm), el dia abans i el dia després de cada aport d'aigua. A partir del contingut d'aigua es va estimar el potencial matricial del terra, segons metodologia descrita a l'apartat 3.2.2.6. En les Figures 5.3.2 A,B,C i D es mostra l'evolució del contingut d'aigua abans de regar a les dues profunditats per a cada tractament.

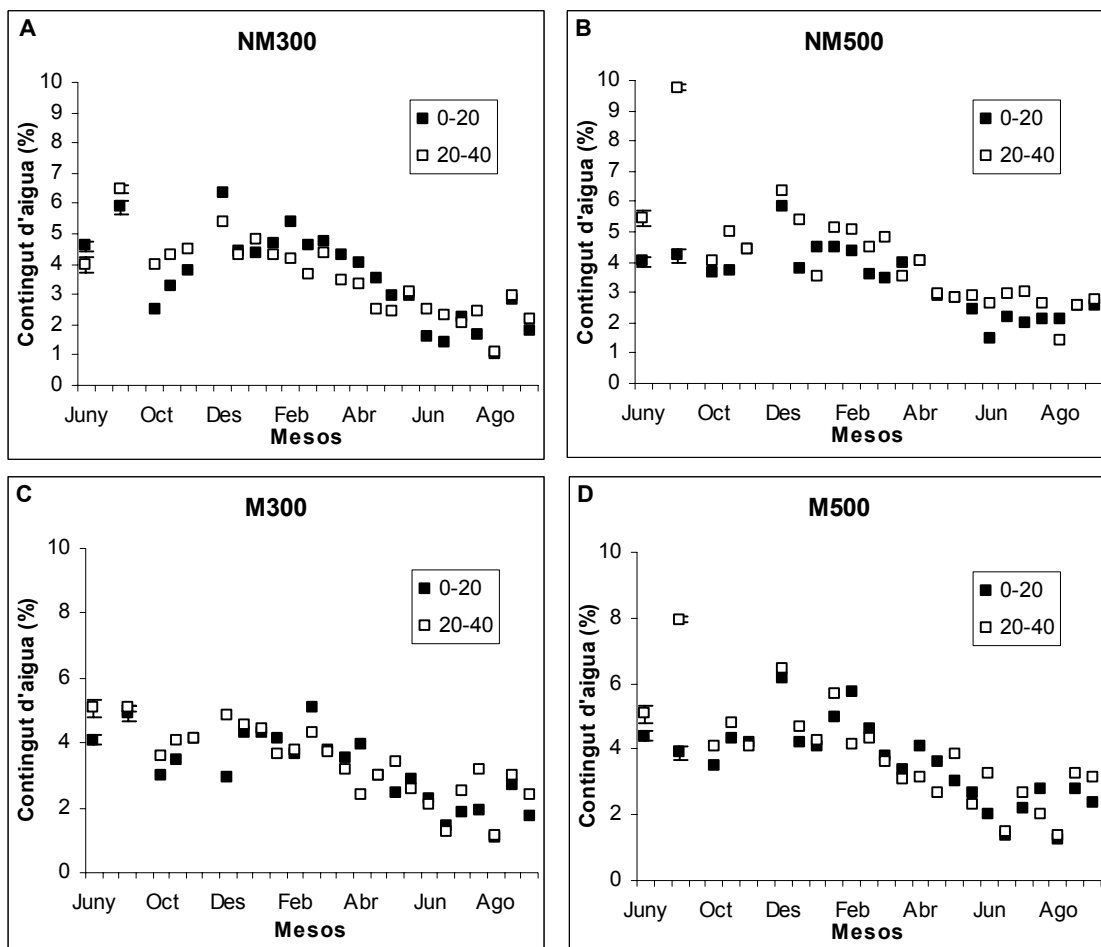


Figura 5.3.2. Contingut d'aigua al terra en pes (A) NM300, (B) NM500, (C) M300 i (D) M500 abans de regar, entre 0- 20 cm i 20- 40 cm durant tot el cicle de l'experiment. Cada punt correspon a 1 punt de mesura.

Al llarg de l'assaig, que va durar més d'un any, va fer el seguiment dels següents paràmetres:

- Paràmetres ecofisiològics: transpiració, conductància estomàtica i potencial hídric de les fulles seguint la metodologia descrita en els apartats 3.2.4.1 i 3.2.4.2. Es van fer mesures de cinc fulles agafades a l'atzar abans i després de cada aport d'aigua quinzenal (n=5).
- Corbes pressió-volum (n=5): es van realitzar per cada tractament corbes pressió-volum seguint la metodologia de l'apartat 3.2.4.4 els dies 0 (3/8/93), 49 (21/9/93), 80 (22/10/93), 228 (18/3/94), 298 (27/5/94), 371 (8/8/94) i 420 (26/9/94) després del trasplantament, per tal de conèixer les relacions hídriques.
- Paràmetres de creixement: es va mesurar l'alçada, diàmetre i nombre de branques seguint la metodologia dels apartats 3.2.3.1 (n=40), l'angle de les branques respecte l'horitzontal i fotografies zenitals per a calcular el

percentatge de recobriment de la coberta vegetal seguint la metodologia de l'apartat 3.2.3.5. Aquestes mesures es van fer els dies 0 (2/8/93), 48 (20/9/93), 98 (9/11/93), 175 (25/1/94), 261 (20/4/94), 308 (6/6/94), 389 (26/8/94) i 420 (26/9/94) després del trasplantament. Per al'alçada, diàmetre, nombre i angle de les branques, es van mesurar la meitat de les plantes de cada tractament (n=20); el recobriment correspon al total d'una de les 4 subparcel·les de cada tractament.

- d) Paràmetres de producció (n=4): es van realitzar mesures destructives del pes sec de totes les fraccions i l'àrea foliar seguint la metodologia de l'apartat 3.2.3.2; i la longitud total de les arrels aplicant la metodologia de l'apartat 3.2.3.5. Aquestes mesures es van prendre els dies 0 (2/8/93), 171 (21/1/94), 316 (14/6/94) i 420 (26/9/94) després del trasplantament.

El disseny de l'assaig és bifactorial, amb dos nivells del factor règim pluviomètric (300 i 500 mm), i dos nivells per al factor fong, micorizació (M) i no micorizació (NM). Cadascun del grups experimentals comptava amb 4 subparcel·les 10 plantes, total 160 plantes.

Es va analitzar també l'evolució estacional dels paràmetres derivats de les corbes pressió-volum, que permet estudiar els mecanismes de resposta desenvolupats per la planta davant de l'estrès hídric. En aquest cas, el factor temps es va considerar en l'anàlisi com a factor fix, doncs els valors d'aquests paràmetres són representatius de circumstàncies concretes d'un any determinat, i no pretén generalitzar o extrapolar els resultats.

Es va realitzar l'anàlisi de la variància per determinar l'efecte de cada factor mitjançant el procediment GLM del SAS (versió 6.0 SAS Institute, Inc., 1994), i el test de Tukey per a comparar les mitjanes dels factors principals. En el cas d'interaccions significatives, es van comparar les mitjanes estimades per mínims quadrats de cada combinació de tractaments utilitzant les instruccions LSMEANS i PDIF del procediment GLM del SAS, i el test de Tukey de comparació múltiple. Les dades de producció (pes sec de la part aèria i pes sec de les arrels) i creixement (alçada i diàmetre), es van transformar mitjançant " $\ln x$ " i les dades de colonització amb " $\arcsin(x)^{1/2}$ ", on x és la colonització en tant per u.

5.3.3. Resultats i discussió.

Els resultats s'exposen i es discuteixen en tres apartats, que comprenen els aspectes següents:

- Fase posterior al trasplantament (apartat 5.3.3.1), que comprèn el període 0-49 dies. S'avalua la superació de l'estrès en aquesta fase del cultiu des del punt de vista fisiològic, mitjançant el seguiment de les relacions hídriques (conductància estomàtica, transpiració i potencial hídric foliars i paràmetres derivats de les corbes pressió-volum) i adaptacions morfològiques de les fulles (àrea foliar i pes específic foliar).
- Seguiment de les relacions hídriques un cop superat el xoc del trasplantament (des dels 49 dies fins el final de l'assaig), i de diferents paràmetres de producció i creixement al llarg de tot l'assaig (apartat 5.3.3.2).
- Evolució del percentatge de colonització i de la densitat de propàguls del fong micorízic en el sòl o substrat amb capacitat infectiva al llarg de l'assaig (apartat 5.3.3.3).

5.3.3.1. Supervivència i superació del trasplantament.

El trasplantament no va causar baixes en les plantes de cap tractament. Tampoc es van observar fulles ni branques seques, això vol dir que per l'època en que es va iniciar l'assaig (agost, amb temperatures altes i humitats ambientals i edàfiques baixes), les plantes van ser capaces de superar el xoc del trasplantament. Les baixes normals en una revegetació d'aquestes característiques, tenint en compte el canvi de règim hídric, poden ser del 20-30% (Orozco *et al.*,1995).

Abans del trasplantament, la conductància estomàtica a les 8 h. (Fig. 5.3.3.A) va ser superior en les plantes NM que en les M, situació que es va invertir a les 12 h. (Fig. 5.3.3.B), essent les plantes M les que van presentar major conductància. Als 16 dies del trasplantament (19/08/93), la conductància estomàtica es va reduir dràsticament en tots els tractaments, sobretot al migdia, indicant una forta regulació estomàtica. No es va observar una recuperació de la conductància als 36 dies (8/09/93), degut al fort estrès provocat no solament pel trasplantament sinó també per les noves condicions més restrictives en l'aport d'aigua.

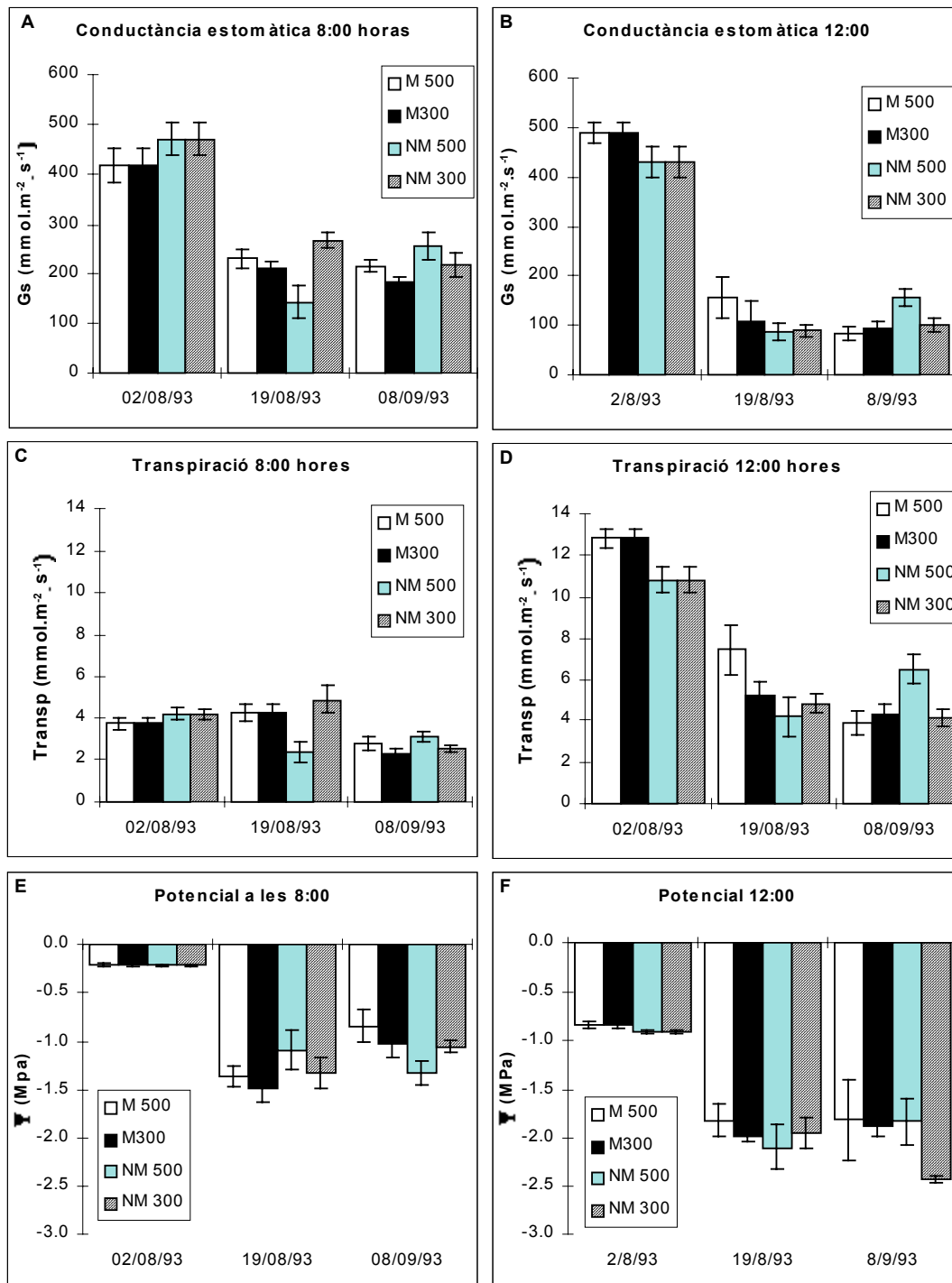


Figura 5.3.3. Conductància estomàtica (G_s) a les 8:00 h. (A) i a les 12:00 h. (B); transpiració a les 8:00 h. (C) i a les 12:00 h. (D) i potencial hídic foliar a les 8:00 h. (E) i a les 12:00 h. (F), abans del trasplantament (dia 0, 2/08/93) als 16 dies (19/08/93) i als 36 dies (8/09/93), en plantes de romaní micoritzades (M) i no micoritzades (NM) sotmeses a dos règims pluviomètrics (500 i 300 $\text{mm}\cdot\text{any}^{-1}$). Les barres són la mitjana de cinc valors \pm error estàndard.

Entre tractaments, en el segon mostreig (16 dies) les plantes M van mantenir conductàncies estomàtiques més altes al migdia que les NM. En canvi, en el

tercer mostreig (36 dies) la situació va ser la contrària, ja que les plantes NM van presentar major conductància i les diferències van ser significatives ($p < 0,01$) entre NM500 i M500. Probablement això va ser degut a que les plantes M van exhaurir l'aigua disponible més ràpidament que les NM, segons es desprèn del contingut d'aigua del sòl abans de regar, que va ser més baix a 20 i a 40 cm en les plantes M (Fig 5.3.2.C i 5.3.2.D), i de les majors taxes transpiratòries observades en plantes M en el segon mostreig, sobretot al migdia (Fig. 5.3.3.C i D). L'exhauriment més ràpid de l'aigua disponible en el sòl o substrat per part de les plantes micoritzades ha estat contrastada per diversos autors, entre d'altres Hardie i Leyton (1981) i Levy *et al.* (1982).

Tant la taxa transpiratòria com el potencial hídric foliar van disminuir als 16 i 36 dies respecte als valors del viver, sense diferències entre tractaments (Fig. 5.3.3.C, D, E i F). Cap d'aquests paràmetres va recuperar els valors de inicials.

Entre els diferents paràmetres estudiats de les corbes pressió-volum, es van produir canvis significatius en el mòdul d'elasticitat i en la transpiració cuticular després del trasplantament respecte dels valors inicials (Taules II.2.1 i II.2.2 de l'annex II).

Taula 5.3.1. Valors de p de l'anàlisi de la variància i mitjanes ($n=5$) dels paràmetres derivats de les corbes pressió-volum, àrea foliar i pes específic foliar, els dies 0 (2/08/93) abans del trasplantament i 49 (21/09/93), en plantes de romaní micoritzades (M) i no micoritzades (NM) (factor fong: F) en dos règims pluviomètrics (500 i 300 mm.any⁻¹) (factor règim pluviomètric: R). Paràmetres: potencial osmòtic a màxima turgència (Ψ_n^{100} en MPa); potencial osmòtic a pèrdua de turgència (Ψ_n^0 en MPa); mòdul d'elasticitat (ϵ en MPa); transpiració cuticular (Trc, mg H₂O. g pes sec⁻¹. min⁻¹); àrea foliar (cm²) i pes específic foliar (SLW en mg.cm⁻²).

Factor	$\Psi_n 100$		$\Psi_n 0$		ϵ		Trc		Àrea		SLW	
	0	49	0	49	0	49	0	49	0	49	0	49
F	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
R		n.s.		n.s.		0,002		n.s.		n.s.		n.s.
FxR		n.s.		n.s.		n.s.		n.s.		n.s.		n.s.
NM 300		-1,18		-1,34		7,14		8,70		0,66		18,44
NM 500	-1,16		-1,47		2,74		21,00		1,26	0,61	8,10	16,82
M 300		-1,18		-1,27		5,90		6,40		0,57		18,48
M 500	-1,21	-1,31	-1,49	-1,47	3,02	4,39	24,00	5,40	1,29	0,60	8,47	16,82

Així, el mòdul d'elasticitat (ϵ) va augmentar significativament als 49 dies per a tots els tractaments, excepte en M500 (Taules II.2.1 i II.2.2 de l'annex II). Entre tractaments, es van observar diferències de ϵ segons el règim pluviomètric, sent les plantes del règim 300 mm les que van presentar valors més elevats (Taula 5.3.1). La relació entre dèficit hídric i elasticitat cel·lular no és gaire clara, i és variable segons l'espècie. S'han observat tant disminucions en el mòdul

d'elasticitat (Jones *et al.*, 1980; Robichaux *et al.*, 1986), com increments (Kappen *et al.*, 1975; Elston *et al.*, 1976; Rada *et al.*, 1989) relacionats amb el dèficit hídric. En aquest cas augmenta el mòdul d'elasticitat i no es produeix un ajust osmòtic. La inextensibilitat de les cèl·lules proporciona una constància en el volum cel·lular, que és important en el manteniment de l'activitat fisiològica per a un ampli espectre de potencial sense necessitat d'ajust osmòtic (Sánchez-Díaz i Aguirrolea, 1993). Però l'augment del mòdul d'elasticitat també pot constituir un mecanisme d'evitació, que comporta l'aparició de potencials hídrics foliars més negatius que afavoreixen l'absorció d'aigua en sòls en procés de dessecació degut al major gradient de potencial sòl-planta (Cheung *et al.*, 1975; Bolaños i Longstreth, 1984; Bowman i Roberts, 1985; Rada *et al.*, 1989; Nardini *et al.*, 1999).

La transpiració cuticular (Taula 5.3.1) es va reduir també de forma significativa després del trasplantament en tots els tractaments, sense diferències entre ells. La disminució de la T_{rc} constitueix un altre mecanisme d'evitació, en el qual es reforcen les barreres de sortida d'aigua per evitar pèrdues (Schönherr, 1982).

L'àrea individual de les fulles va disminuir en tots els tractaments pràcticament a la meitat, i per altra banda hi va haver un augment significatiu del seu pes específic (Taula 5.3.1), indicant un engruiximent de les fulles. Aquests canvis morfològics són una adaptació a la baixa disponibilitat d'aigua com a mecanisme d'evitació al dèficit hídric (Kummerow, 1980; Levitt, 1980). Durant els dies posteriors al trasplantament, es va observar igualment una disminució de la superfície de les fulles exposada al sol, recargolant-se aquestes sobre l'eix del nervi foliar. Amb aquest mecanisme les fulles aconseguixen una millor protecció dels estomes, que estan situats en la part abaxial de la fulla. Adaptacions morfològiques a l'estrès hídric d'aquest tipus han estat observades també en romaní per Pastor (1996), i són mecanismes d'evitació de la pèrdua d'aigua.

Per tant, la resposta de les plantes davant del trasplantament i el nou règim hídric més restrictiu, es va caracteritzar pel desenvolupament de mecanismes d'evitació, com són: (a) forta regulació estomàtica; (b) reducció de la superfície transpiratòria (àrea foliar); (c) engruiximent de les fulles, augmentant el seu pes específic; (d) disminució brusca de la transpiració cuticular; (e) i adaptacions de tipus morfològic, com el recargolament de les fulles.

En relació a l'efecte dels tractaments, el règim pluviomètric va comportar diferències en l'elasticitat de les parets cel·lulars, i la micorizació una major conductància de les plantes M als 16 dies del trasplantament, però menor als 36

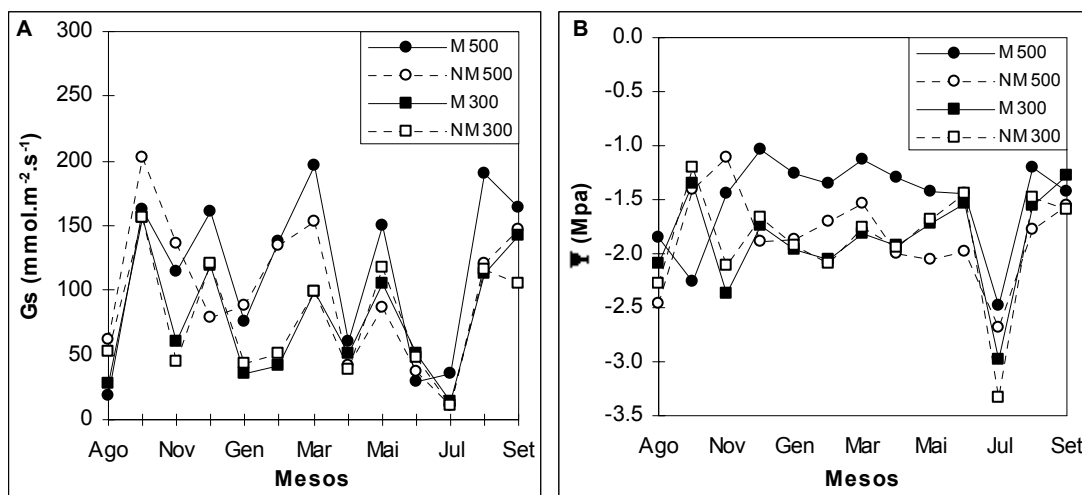
dies pel règim pluviomètric 500 mm, indicant possiblement un exhauriment més ràpid de l'aigua del sòl.

5.3.3.2. Seguiment de les relacions hídriques, producció i creixement al llarg de l'assaig.

- Conductància estomàtica, transpiració i potencial hídric foliar.

Un cop les plantes establertes, es van seguir mesurant els paràmetres ecofisiològics ja esmentats a l'apartat anterior. Les diferències de conductància estomàtica es van produir sobretot entre tractaments pluviomètrics durant l'hivern i part de la primavera (gener, febrer, març i maig). Les plantes amb aports de 500 mm van presentar generalment conductàncies més altes abans del reg (Fig 5.3.4.A). En determinats mostres (desembre, març, maig i la recuperació del mes d'agost) es van observar conductàncies superiors en les plantes M500. Hi va haver un mínim de conductància estomàtica, transpiració i potencial hídric per a tots els tractaments en el mes de juliol, coincidint amb els continguts d'aigua del sòl més baixos (Fig. 5.3.2), i dèficits de pressió de vapor de l'ambient molt alts (Fig. 5.3.4.A i B).

Figura 5.3.4. (A) Evolució de la conductància estomàtica (G_s) i (B) el potencial hídric foliar (Ψ) abans de regar durant tot l'assaig en plantes de romaní micoritzades (M) i no micoritzades (NM) sotmeses a dos règims pluviomètrics (500 i 300 mm.any⁻¹). Els punts són la mitjana de cinc valors \pm error estàndard.



L'evolució del potencial hídric de les fulles (Fig. 5.3.4.B), ens mostra que els valors més negatius es van assolir generalment en els tractaments de 300 mm, tant en plantes M com en NM, mentre que en el règim de 500 mm es va

observar que la micorizació (M500), va permetre mantenir el potencial hídric abans de regar un 20% més positiu entre desembre i maig.

En estressos hídrics de llarga durada, amb plantes sotmeses a dèficits hídrics cíclics i continuats, Nelsen i Safir (1982 a) no van trobar diferències de potencial hídric foliar entre plantes M i NM. Pel contrari, Levy *et al.* (1983 b), van observar que les plantes M assolien potencials hídrics més negatius, que segons aquests autors serien conseqüència d'una major taxa transpiratòria i, per tant, d'un l'esgotament prematur de la reserva hídrica del sòl. En aquest experiment, si bé aquest fenomen es va produir possiblement en els 50 dies posteriors al trasplantament, durant els mesos successius van ser precisament les plantes M500 les que van presentar potencials hídrics més alts.

- Corbes pressió-volum i transpiració cuticular.

Al llarg de l'assaig es van produir diferències estacionals significatives ($p < 0,001$) de tots els paràmetres derivats de les corbes pressió-volum: potencial osmòtic a turgència (ψ_n^{100}) i a pèrdua de turgència (ψ_n^0), mòdul d'elasticitat (ϵ), relació entre pes a saturació i pes sec (TW/DW) i contingut relatiu d'aigua a pèrdua de turgència (RWC_o) (Taula 5.3.2).

Taula 5.3.2. Valors de p de l'anàlisi de la variància dels paràmetres derivats de les corbes pressió-volum al llarg de l'assaig en plantes de romaní micoritzades (M) i no micoritzades (NM), en dos règims pluviomètrics (500 i 300 mm.any⁻¹). Paràmetres: potencial osmòtic a saturació (ψ_n^{100} en MPa), potencial osmòtic a pèrdua de turgència (ψ_n^0 en MPa), mòdul d'elasticitat (ϵ en MPa), relació Pes saturació/pes sec (TW/DW), contingut d'aigua relatiu a pèrdua de turgència (RWC_o en %) i transpiració cuticular (Trc en mg H₂O.min⁻¹.g pes sec⁻¹).

Factor	ψ_n^{100}	ψ_n^0	ϵ	TW/DW	RWC _o	Trc
Temps	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Reg	n.s.	n.s.	n.s.	0,005	0,041	n.s.
Fong	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
TempsxReg	0,010	n.s.	<0,001	<0,001	0,002	n.s.
TempsxFong	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
RegxFong	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
TempsxRegxFong	n.s.	0,023	n.s.	0,006	n.s.	n.s.

El règim pluviomètric va tenir efecte sobre la relació TW/DW ($p=0,005$) i sobre el RWC_o ($p=0,041$), mentre que el factor micorizació no va tenir efecte sobre cap d'aquests paràmetres. La interacció Temps*Règim pluviomètric va ser significativa en les variables ψ_n^{100} ($p=0,0101$), ϵ ($p < 0,001$), TW/DW ($p < 0,001$) i el RWC_o ($p=0,002$), indicant que l'evolució d'aquests paràmetres va dependre del règim pluviomètric (Taula 5.3.2).

En general, de les anàlisis de la variància se'n desprèn que les plantes de romaní de tots els tractaments van desenvolupar diferents mecanismes de resposta davant de la sequera estacional, que els va permetre evitar i/o tolerar el dèficit hídric. Les diferències entre tractaments es van produir determinats mostrejos i segons el règim pluviomètric, mentre que la micorizació pràcticament no va tenir incidència.

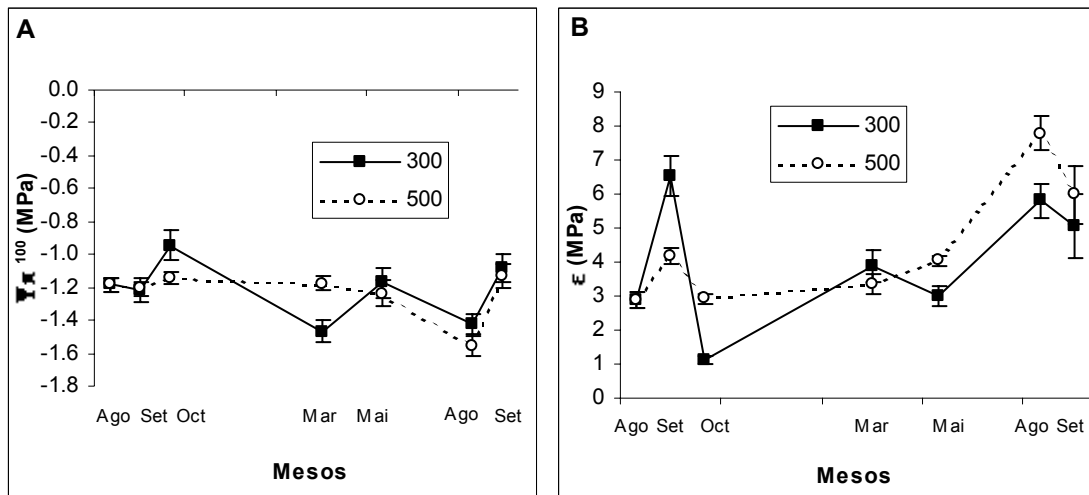


Figura 5.3.5. (A) Evolució del potencial osmòtic a saturació (ψ_n^{100}) i (B) mòdul d'elasticitat de plantes de romaní sotmeses a dos règims pluviomètrics (500 i 300 mm·any⁻¹). Els punts són la mitjana de 10 valors \pm error estàndard.

El potencial osmòtic a turgència (ψ_n^{100}), va augmentar en el mostreig d'octubre per a les plantes del règim 300 mm, a causa de la dilució de soluts provocada pel creixement de la tardor (Figura 5.3.5.A i Taula II.2.1, de l'annex II). L'escassa aigua rebuda durant els mesos d'hivern, va comportar una disminució significativa del ψ_n^{100} de les plantes 300 el mes de març, indicant ajust osmòtic. Aquesta resposta coincideix amb els baixos valors de conductància i de potencial hídric de les fulles de les plantes d'aquest règim pluviomètric durant els mesos d'hivern (Figura 5.3.4.A i B). El mes de maig, es va observar una recuperació del ψ_n^{100} de les plantes del règim 300. L'Agost, en el moment de màxim estrès hídric, es va observar ajust osmòtic en tots els tractament, excepte NM300 (Taula II.2.2, annex II), que ja partia de valors molt baixos de ψ_n^{100} en els mostrejos anteriors.

Encara que amb oscil·lacions, el potencial osmòtic a pèrdua de turgència (ψ_n^0) va evolucionar de forma paral·lela al ψ_n^{100} , amb disminucions significatives el mes de març i agost, que recolza la hipòtesi de l'ajust osmòtic observat en aquests mostrejos. No obstant, l'acumulació activa de soluts s'hauria de corroborar amb

la determinació de la presència de soluts compatibles com la betaina o la prolina (Turner i Jones, 1980; Morgan, 1984).

Les plantes de romaní de tots els tractaments van augmentar el seu mòdul d'elasticitat (ϵ), com a mecanisme de resposta a l'estrès (Fig. 5.3.5.B), i aquesta resposta va dependre bàsicament del règim pluviomètric. En el mostreig de setembre, després del trasplantament, el mòdul elàstic va augmentar significativament en el règim 300 (veure apartat 5.3.3.1), situació que es va repetir el mes de març després de la disminució de ϵ deguda a la brotació de la tardor. L'agost següent, l'augment de ϵ va ser significatiu per a tots els tractaments, però amb diferències entre les plantes del règim 500 i 300 mm. Les plantes del règim 500 també van presentar major creixement, producció i, per tant, major superfície transpirant, i l'augment de ϵ els va permetre mantenir un potencial hídric de les fulles més elevat que a les plantes 300 (Figura 5.3.4.B).

L'augment del ϵ el març i l'agost, va coincidir amb disminucions significatives de ψ_n^{100} . L'augment del ϵ durant les sequeres estacionals que caracteritzen algunes plantes xeromòrfiques, els permet de tolerar altes concentracions osmòtiques cel·lulars amb el propòsit de ser capaces de mantenir la turgència a valors molt baixos de potencial. La disminució de l'elasticitat constitueix un mecanisme de tolerància quan es produeix coincidint amb un ajust osmòtic, realçant els seus efectes (Jones i Turner, 1978; Hinckley *et al.*, 1983). Disminucions del potencial osmòtic i augments de ϵ durant sequeres estacionals han estat trobades entre d'altres en *Heteromeles arbutifolia* (Calkin i Pearcy, 1984), *Arbutus unedo* (Castells, 1992), *Ligos sphaerocarpa* (Piccolo, 1991) i *Rosmarinus officinalis* (Pastor, 1996).

La disminució significativa de ϵ que es va observar el mes d'octubre en tots els tractaments, va ser deguda a la menor edat dels teixits sobre els que es van efectuar les mesures de les corbes P-V i no a un ajust elàstic, ja que coincideix amb la represa del creixement de la tardor. L'elasticitat cel·lular depèn de l'edat dels teixits, essent els rebrotos de nova formació més elàstics que els teixits adults (Levitt, 1980; Morgan, 1984; Savé *et al.*, 1993).

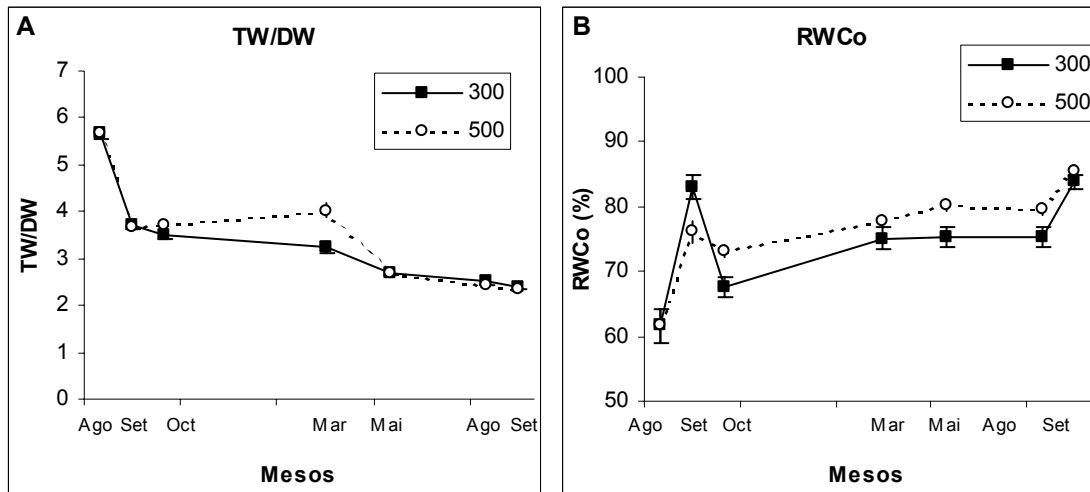


Figura 5.3.6. (A) Evolució del TW/DW i (B) RWCo de plantes de romaní sotmeses a dos règims pluviomètrics (500 i 300 mm·any⁻¹). Els punts són la mitjana de 10 valors \pm error estàndard.

El contingut relatiu d'aigua a pèrdua de turgència (RWCo) va augmentar significativament en tots els tractaments al llarg de l'assaig respecte dels valors inicials (Figura 5.3.6.B). Aquest increment va ser especialment acusat per a les plantes 300 el mes de setembre, 49 dies després del trasplantament. Superat el trasplantament, es van estabilitzar els valors de RWCo, que lentament van augmentar fins el final de l'assaig. L'augment de RWCo va lligat a un augment de la rigidesa de les parets cel·lulars, i la pèrdua de turgència a continguts relatius d'aigua alts és un mecanisme de conservació de l'aigua, ja que només es produeixen pèrdues per transpiració cuticular (Robichaux *et al.*, 1984).

Es van observar diferències de RWCo segons el règim pluviomètric, que van ser significatives ($p < 0,05$) en els mostres de setembre, octubre, maig i agost (Taula II.2.1, de l'annex II), indicant una major tolerància a la deshidratació dels teixits de les plantes del règim 300 mm al perdre la turgència a continguts relatius d'aigua menors. La menor RWCo de les plantes dels tractaments de 300 mm, va coincidir amb una major elasticitat de les seves parets cel·lulars.

La relació pes a saturació/pes sec (TW/DW) va evolucionar disminuint en tots els tractaments (Figura 5.3.6.A), observant-se diferències segons el règim pluviomètric en els mostres d'octubre i març, presentant valors més grans les plantes de 500. Aquestes diferències estacionals coincideixen amb els períodes de major aport d'aigua i creixement, resultats coincidents amb els Tognetti *et al.* (2000) amb altres arbusts mediterranis (*Erica arborea*, *Juniperus communis* *Myrtus communis*).

Les plantes sotmeses a dèficits hídrics tendeixen a disminuir la relació TW/DW, i això és atribuïble a l'ontogènia de la planta, la disminució de la mida de les cèl·lules i/o l'engruiximent de les parets cel·lulars (Cutler *et al.*, 1977; Myers i Neales, 1986; Jensen i Henson, 1989). La disminució de la relació TW/DW, normalment associada a una davallada del ψ_n^0 degut a la reducció de la mida cel·lular, és considerada per alguns autors una adaptació avantatjosa a condicions d'estrès hídric (Sobrado i Turner, 1983; Myers i Neales, 1986), mentre que per d'altres aquesta hipòtesi és discutible (Tyree i Jarvis, 1982) o bé considerada una conseqüència inevitable de la reducció del creixement en condicions de dèficit hídric (Davies *et al.*, 1987).

La reducció més important de la transpiració cuticular (Trc) com a mecanisme d'evitació es va produir durant els 50 dies posteriors al trasplantament (Taula II.2.1 annex II), amb independència del règim pluviomètric i de la presència o no de micorizes, fet que ja ha estat comentat a l'apartat 5.3.2.1.

Superada la fase de trasplantament, la Trc va tornar a disminuir el mes d'octubre, encara que de forma menys important, decreixent lentament a partir d'aquest mostreig i diferenciant-se la Trc segons el règim pluviomètric. Així, les plantes del règim 300 mm van presentar una Trc significativament inferior ($p < 0,01$) que les 500, els mesos d'octubre, març, agost i setembre.

- **Producció.**

En els mostrejors corresponents als mesos de juny i setembre, el pes sec de les diferents fraccions (fulles, tiges i arrels) i el pes sec total va diferir significativament entre tractaments segons el règim pluviomètric, mentre que la micorització no va comportar diferències. La producció de biomassa total i de les diferents fraccions al final de l'assaig molt superior en les plantes de 500 mm (Figura 5.3.6.A i Taula II.3 de l'annex II).

La micorització va tenir efecte sobre la supervivència depenent del règim pluviomètric (resultats no mostrats). La forta intensitat de l'estrès hídric sofert per les plantes de 300 mm durant la primavera i l'estiu, va fer que al final de l'assaig es comptabilitzés un 30% de baixes entre les plantes del tractament NM300, mentre que la presència del fong micorízic va permetre créixer i sobreviure a totes les plantes del tractament M300.

Es van observar diferències en l'al·locació de biomassa a les arrels segons el règim pluviomètric al final de l'assaig, ja que les relacions pes sec de les

arrels/pes sec de la part aèria ("root/shoot") i pes sec de les arrels/pes sec total (RWR), va ser major en les plantes de 300 mm.

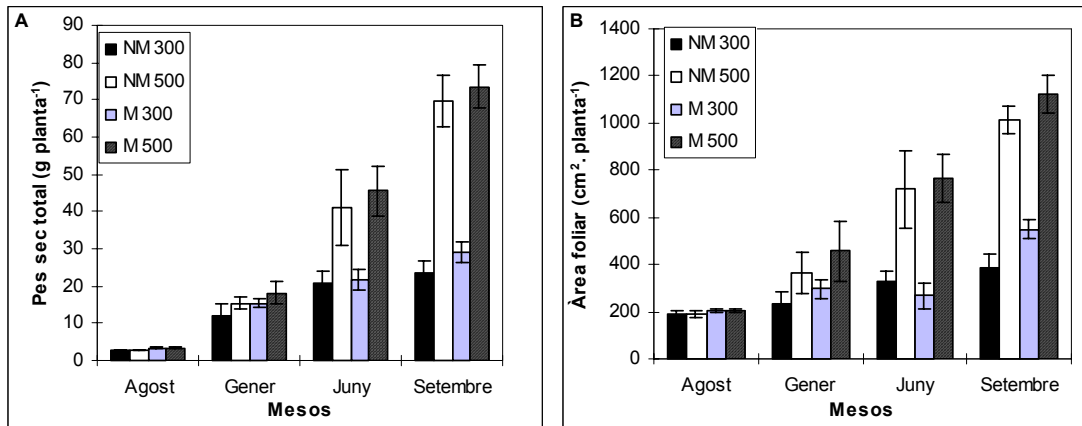


Figura 5.3.6. (A) Pes sec total i (B) àrea foliar total en plantes de romaní micoritzades (M) i no micoritzades (NM) sotmeses a dos règims pluviomètrics (500 i 300 mm.any⁻¹). Les barres són la mitjana \pm error estàndard.

L'àrea foliar va diferir segons règim hídic en els mostrejos de juny i setembre, i també segons micorització al final de l'assaig (setembre) (Figura 5.3.6.B). El règim 500 mm i la micorització van comportar una major superfície assimiladora total al final de l'assaig (Taula II.3., de l'annex II).

El pes específic foliar només va presentar diferències significatives en l'últim mostreig entre plantes 500 i 300, sent més grans els valors de les plantes crescudes a 500. Una possible explicació podria ser la migració de nutrients de les fulles velles cap a les noves o teixits de reserva en les plantes de 300 mm, o potser per tractar-se de fulles en procés de pèrdua de les seves funcions fisiològiques.

La manca d'influència observada de la micorització en la producció de biomassa total i de les diferents fraccions, no està d'acord amb els resultats de la majoria de referències. Molts autors han observat que la micorització comporta augments en la producció, tant en condicions d'estrès i com sense estrès hídic, però sobretot en absència d'aports externs de fòsfor (entre d'altres Johnson i Hummel, 1985; Zadijek *et al.*, 1987; Michelsen i Rosendahl, 1990; Allsopp i Stock, 1993), com en aquest experiment. El nivell mig inicial de fòsfor assimilable (mètode Olsen) del sòl pertorbat utilitzat en aquest experiment, va ser de 5,9 ppm (Taula II.1 de l'annex II), igual o inferior al nivell de fòsfor dels sòls o substrats utilitzats per aquests autors en els tractament sense aport suplementari de fòsfor. En d'altres casos la influència de la micorització ha estat observada amb independència de la fertilització fosfatada (Allsopp i Stock, 1993), o bé segons l'espècie de la planta hoste estudiada (Michelsen i

Rosendahl, 1990), suggerint que l'espècie també interacciona sobre la producció final de biomassa.

També cal dir que els tractaments d'estrès hídric aplicats per tots aquests autors són cíclics però de més curta durada que el d'aquest experiment, on es reproduïxen pluviometries reals que caracteritzen determinades zones de la costa mediterrània.

Pel que fa a l'àrea foliar total, els resultats d'aquest experiment coincideixen amb els de la majoria d'autors en que és major en plantes micoritzades. Increments significatius d'àrea foliar total han estat trobats per Johnson i Hummel (1985) en plantes de *Carrizo citrange* micoritzades estressades i no estressades, Khotari *et al.* (1990) en plantes micoritzades de blat de moro i Berta *et al.* (1995) en plantes micoritzades de *Prunus cerasifera*. Altres autors també han trobat major àrea foliar total en diferents espècies micoritzades (Levy *et al.*, 1983 a; Davies *et al.*, 1993).

En el pes específic foliar hi ha més discrepància de resultats. Baas i Kuiper (1989) i Berta *et al.* (1995), van observar major àrea foliar específica (inversa del pes específic foliar) en plantes micoritzades, resultats que no concorden amb als obtinguts amb romaní en aquest experiment. En canvi, Johnson i Hummel (1985) van trobar pesos específics foliars més grans en les plantes M regades però no sota condicions d'estrès, i Khotari *et al.* (1990) no va observar diferències.

La longitud total de les arrels (Fig 5.3.7.A) va experimentar dos forts creixements: el primer a la tardor, i el segon i més important a l'estiu. Al final de l'assaig (setembre), les arrels de les plantes micoritzades van créixer més en longitud que les NM, mentre que el règim pluviomètric no va tenir influència en aquest paràmetre (Taula II.3 annex II). Aquest comportament pot haver estat responsable de la major supervivència observada en les plantes M300 en relació a les NM300.

El règim pluviomètric va incidir sobre la longitud específica de les arrels (SRL) en els mostrejors de juny i setembre, sent major a 300 mm. Al final de l'assaig (setembre), també la micorització va comportar SRL més grans (Figura 5.3.7.B i Taula II.3 de l'annex II).

La disminució progressiva de la SRL des l'inici de l'assaig fins el juny en els tractaments de 500 mm, indica que les arrels van créixer sobretot en diàmetre durant aquest període. Posteriorment durant l'estiu, es va produir un increment

generalitzat d'aquest índex, ja que el creixement radical va ser principalment en longitud, coincidint amb la disminució de l'aigua disponible del sòl.

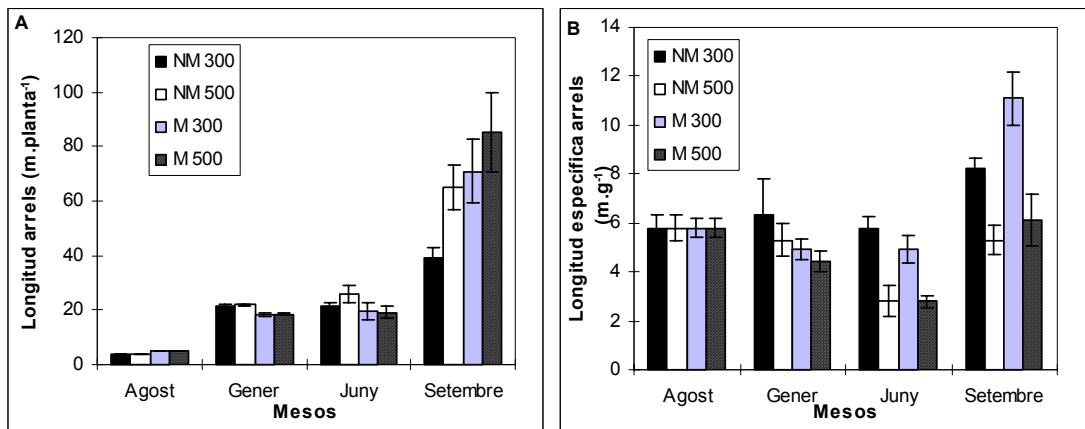


Figura 5.3.7. (A) Longitud total i (B) longitud específica de les arrels en plantes de romaní micoritzades (M) i no micoritzades (NM) sotmeses a dos règims pluviomètrics (500 i 300 mm.any⁻¹). Les barres són la mitjana de 4 plantes \pm error estàndard.

Una major longitud total de les arrels de les plantes M, ha estat una tendència observada en nombroses espècies, tant en condicions d'estrès hídric com en plantes ben regades (Hardie i Leyton, 1981; Levy *et al.*, 1983; Price *et al.*, 1989; Michelsen i Rosendahl, 1990; Mohammad *et al.*, 1995; Berta *et al.*, 1995), coincidint amb els nostres resultats al final de l'assaig. En canvi, hi ha poques referències de la situació contrària (Khotari *et al.*, 1990).

En majoria de casos la major longitud total del sistema radical de les plantes M respecte les NM va associada a un menor índex de longitud específica de les arrels (Hardie i Leyton, 1981; Price *et al.*, 1989; Berta *et al.*, 1995), quan en aquest experiment la micorització ha anat associada a un augment significatiu d'aquest índex al final de l'assaig.

Khotari *et al.* (1990) atribueixen les variacions de longitud específica radical a oscil·lacions del seu diàmetre mig, mentre que Berta *et al.* (1995) puntualitza que les causes poden ser vàries, depenent de l'espècie micorízica associada: (1) variacions en el diàmetre de les arrels; (2) variacions de la mida de les cèl·lules i per tant de la densitat del teixit radical i (3) oscil·lacions dels constituents simplàstics i apoplàstics modificant també la densitat del teixit.

Segons Berta *et al.* (1995), *Glomus intraradices* actua sobre el diàmetre de les arrels, mentre que *Glomus mosseae* incideix sobre la densitat, desenvolupant gran quantitat d'estructures fúngiques a l'interior de les arrels.

- Creixement no destructiu i cobertura del sòl.

L'evolució del diàmetre de la tija principal, l'alçada màxima de la planta, el número de branques, l'angle d'inserció d'aquestes respecte de la horitzontal i la cobertura del sòl, van caracteritzar la diferenciació morfològica de les plantes de romaní al llarg del cicle de creixement. Tots aquests paràmetres estaven estretament relacionats amb les temperatures, la radiació i la quantitat d'aigua disponible en el sòl.

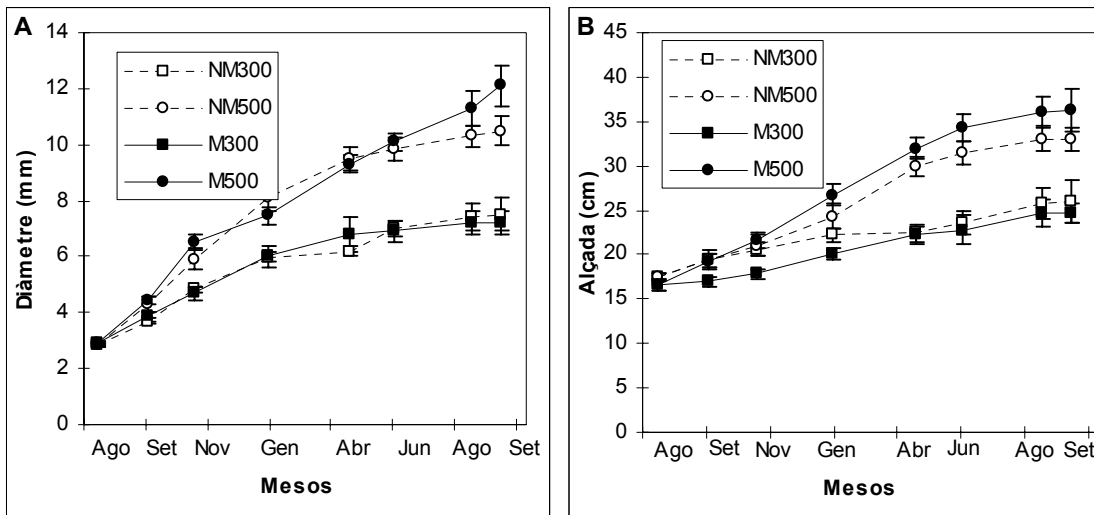


Figura 5.3.8. (A) Evolució del diàmetre i (B) alçada de la tija principal durant tot l'assaig en plantes de romaní micoritzades (M) i no micoritzades (NM) sotmeses a dos règims pluviomètrics (500 i 300 mm·any⁻¹). Els punts són la mitjana de 20 valors ± error estàndard.

Es van observar grans diferències de creixement en alçada i en diàmetre de la tija principal segons el règim pluviomètric, que ja van començar a diferenciar-se a partir del primer mostreig (Figura 5.3.8.A i B, i Taula II.4 de l'annex II). En l'últim mostreig (setembre) es van produir també diferències d'aquests paràmetres entre plantes M i NM del règim 500 mm, ja que la interacció Règim pluviomètric*Fong va ser significativa.

El nombre de branques per planta va diferir també segons l'aport hídric a partir del març, sense que la micorització influís sobre la capacitat de ramificació (Taula II.4 de l'annex II). Els tractaments no van tenir influència sobre l'angle d'inserció de les branques respecte a l'horitzontal al llarg de l'assaig (Figura 5.3.9.A). Respecte dels valors inicials, que oscil·laven al voltant dels 60°, l'angle de les branques va tendir a horitzontalitzar-se fruit de la possible competència entre individus, del propi model de creixement del romaní i de les condicions ambientals.

Encara que el trasplantament es va realitzar el mes d'agost, es va poder observar una brotada a la tardor, que comunament es produeix en molts arbres i arbusts mediterranis quan acaba l'estrès hídric estival (Castells, 1992). La brotació primaveral característica de la major part dels arbres i arbusts de la conca mediterrània (Diamantoglou i Mitrakos, 1981) es va produir en les plantes de tots els tractaments, que va ser més intensa en les plantes de règim pluviomètric de 500 mm. Comstock *et al.* (1989) assenyalen que el fotoperíode seria responsable de la brotada primaveral i dels grans trets fenològics en major escala que la temperatura i l'estat hídric de les plantes.

No van florir cap de les plantes al llarg de l'assaig, coincidint amb les observacions de Montenegro *et al.* (1988) sobre arbusts perennifolis de clima mediterrani a Xile, en que la floració es produeix a partir del segon any de creixement.

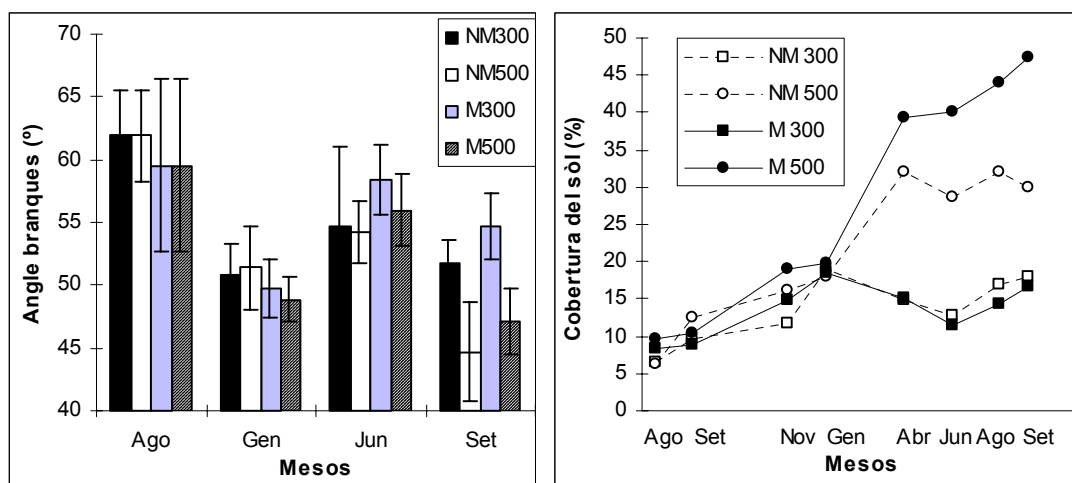


Figura 5.3.9. (A) Evolució de l'angle de les branques amb l'horitzontal i (B) cobertura del sòl per les plantes durant tot l'assaig en plantes de romaní micoritzades (M) i no micoritzades (NM) sotmeses a dos règims pluviomètrics (500 i 300 mm.any⁻¹). Els punts són la mitjana de 20 valors \pm error estàndard.

La cobertura del sòl per les plantes (Fig 5.3.9.B) va seguir una evolució semblant al creixement en alçada i la brotació de les plantes, amb forts increments durant la primavera i diferències importants entre tractaments pluviomètrics al final de l'assaig. Aquest comportament indica que el creixement en vertical es va correspondre amb el creixement horitzontal i colonització de l'espai aeri, particularment per als tractaments M500 i NM500.

Al final de l'assaig, es va detectar una important diferència de recobriment del sòl entre els tractaments M500 (47,4%) i NM500 (29,9%), mentre pràcticament no hi va haver diferències entre els tractaments de 300 mm.

L'increment de cobertura addicional aconseguit per les plantes M500 respecte les NM500, vindria explicada sobretot per l'increment significatiu de l'àrea foliar, que va ser de l'ordre d'un 11% més gran. Altres factors poden haver contribuït, com pot ser la major alçada de la tija principal, però ni el nombre de branques ni l'angle d'inserció d'aquestes expliquen aquesta diferència.

En els tractaments de 300 mm, tot hi que hi va haver diferències importants d'àrea foliar entre M i NM (+42%), no es van detectar diferències de recobriment. La tendència a mostrar angles d'inserció molt més tancats de les branques, pot explicar pot explicar aquesta manca de diferències.

Les diferències morfològiques i de cobertura final del sòl entre plantes M500 i NM500 poden tenir importància en la utilització de plantes micoritzades de romaní per a revegetar zones degradades amb determinades pluviometries anuals, doncs aconseguiríem una millora de la infiltració, menys escolament superficial i, per tant, una reducció de les pèrdues per erosió.

5.3.3.3. Seguiment de la colonització i de la densitat de propàguls.

- Colonització.

En el moment del trasplantament el percentatge de colonització de les arrels de les plantes micoritzades va ser del 31,8% (Taula 5.3.3). Al llarg de tot l'assaig les plantes M500 van presentar valors més alts de colonització que les M300, però les diferències només van ser significatives ($p \leq 0,001$) al final de l'assaig (setembre). Els percentatges de colonització van augmentar al llarg de l'assaig en un 11,3% en M300 i un 40,7% en les M500.

Taula 5.3.3. Evolució de la colonització de les arrels de les plantes de romaní micoritzades (M) i no micoritzades (NM) sotmeses a dos règims pluviomètrics (500 i 300 mm.any⁻¹). Els valors són la mitjana de quatre plantes. L'anàlisi s'ha realitzat en base als valors transformats segons arcsin ($x^{1/2}$) sent x la colonització en tant per ú.

Factor	Agost	Gener	Juny	Setembre
Fong		0,015	0,009	<0,001
Reg		n.s.	n.s.	0,005
FongxReg		n.s.	n.s.	n.s.
M 500	31,75	42,3	46,7	72,4
M 300		37,3	25,7	43,0
NM 500	0	2	0	16,6
NM 300		3	0	0,5

Entre les plantes no inoculades, es va produir una colonització apreciable al final de l'assaig en les plantes NM500 (16,6%), probablement degut als propàguls

presentes en el terra abans del trasplantament. El règim pluviomètric probablement va afavorir la infecció, encara que no es va assolir una colonització comparable a la dels tractaments inoculats. En el tractament NM300 es va detectar certa colonització el gener i el setembre.

Els resultats mostren que hi va haver una relació positiva entre règim pluviomètric, percentatge de colonització i creixement de les fulles i arrels. Els resultats són coherents, ja que si hi ha més creixement hi ha més assimilats disponibles per l'arrel i el fong. En aquest sentit hi ha coincidència amb les observacions de Readhead (1975), segons el qual l'òptim de creixement de la planta coincideix amb el màxim de colonització pel fong.

En diversos estudis el percentatge de colonització no es veu gaire afectat pels tractaments d'estrès hídric (Nelsen i Safir, 1982 b; Johnson i Hummel, 1985; Simpson i Daft, 1990), i s'ha observat augments de la colonització en situacions de sequera (Bolgiano *et al.*, 1983; Johnson i Hummel, 1985; Zajicek *et al.*, 1987), sobretot en sòls poc fèrtils, ja que les micorizes ajuden a absorbir el fòsfor que està immòbil. En d'altres estudis els tractaments d'estrès hídric afecten negativament la colonització de les arrels (Busse i Ellis, 1985; Goicoechea *et al.*, 1997), coincidint amb els resultats d'aquest experiment.

Un altre factor que influeix en la colonització és el cicle biològic de la planta hoste: anual o perenne. En les anuals, durant l'època de l'any en que no hi ha planta hoste, el fong es troba en forma de propàguls latents en el sòl. Quan la planta germina i es comença a desenvolupar, el fong infecta ràpidament les arrels i la colonització segueix un model creixent, sense interrupcions. En una planta perenne, com és el romaní, la planta hoste persisteix activa tot l'any i per això no hi han grans variacions en la colonització (Sparling i Tinker, 1978). Així i tot, hi ha autors que han trobat diferències estacionals en aquest tipus de plantes (Gay *et al.*, 1982). En el nostre cas, la colonització es va mantenir més o menys constant durant l'època més favorable per al creixement de les plantes (primavera), i l'increment més fort va tenir lloc durant el període de màxim estrès (estiu). Aquest comportament coincidiria amb les observacions fetes per Bethlenfalvay *et al.* (1982).

- Densitat del nombre de propàguls.

Utilitzant la tècnica del nombre més probable (Porter, 1979) es va estudiar la densitat de propàguls presents en el terra amb capacitat d'infectar. A l'inici de l'assaig el nombre de propàguls va ser molt baix: $0,028 \text{ propàguls.mL}^{-1}$ de terra. Aquest baix nombre va venir donat per la procedència del sòl, ja que va ser extret del desmunt d'un talús del Maresme. Degut al seu origen, el sòl era granític sense endopedió i no suportava cap tipus de vegetació.

Durant l'assaig el nombre de propàguls en el terra de les plantes inoculades va presentar un augment en el mes de juny fins a $0,75 \text{ propàguls.mL}^{-1}$ en les plantes M500 i $0,45 \text{ propàguls.mL}^{-1}$ en les M300. El setembre la densitat va créixer espectacularment en les M500 fins a $12,6 \text{ propàguls.mL}^{-1}$, mentre que en les M300 es va mantenir la densitat del juny (Figura 5.3.10).

Figura 5.3.10. Evolució de la densitat de propàguls en el sòl en plantes de romaní micoritzades (M) i no micoritzades (NM) sotmeses a dos règims pluviomètrics (500 i 300 mm.any^{-1})

En el terra de les plantes no inoculades el nombre de propàguls es va mantenir, ja que els valors dels mostrejos corresponents al juny i setembre no van variar en el tractament de NM500 i en NM300 va augmentar lleugerament fins a $0,045$ el mes de setembre.

El règim pluviomètric va afectar tant la colonització radical com el nombre de propàguls en el sòl. En el tractament M500 tant la colonització radical com el nombre de propàguls va ésser significativament més gran que en el tractament M300 (Taula 5.3.4). L'increment de propàguls al sòl en el tractament M500 va ésser considerable i s'ha de relacionar amb una major densitat d'arrels en el sòl deguda al major aport hídric (Day *et al.*, 1987; Simpson i Daft, 1990).

5.3.4. Conclusions.

- 1) La resposta de totes les plantes en els dies posteriors al trasplantament es va caracteritzar pel desenvolupament de mecanismes d'evitació de les pèrdues d'aigua: disminució de la conductància estomàtica, disminució de la transpiració tan estomàtica com cuticular; i adaptacions de tipus morfològic com la reducció de l'àrea foliar i per tant de la superfície transpirant, augment del pes específic foliar i recargolament de les fulles.
- 2) En el règim pluviomètric de 500 mm, les plantes micoritzades van mostrar una "resposta optimista" després del trasplantament, presentant valors més elevats de conductància i transpiració; això va fer que exhaurissin l'aigua del sòl més ràpidament. Les plantes NM500 en canvi, van tancar estomes abans i van mostrar menor transpiració.

Després del trasplantament, el règim pluviomètric va comportar diferències en l'elasticitat de les parets cel·lulars, observant-se un mòdul d'elasticitat més gran en les plantes del tractament 300 mm.

- 3) Un cop superat el trasplantament, es van observar diferències estacionals de conductància estomàtica i potencial hídric de la fulla segons el règim pluviomètric. La micorització també va comportar una millora de les relacions hídriques en funció del règim pluviomètric, presentant major conductància i potencial hídric les plantes M500 que les NM500 en determinats mostres (primavera i estiu).
- 4) El romaní va desenvolupar mecanismes d'evitació i de tolerància en resposta a l'estrès hídric. L'evolució estacional dels paràmetres derivats de les corbes pressió-volum ha permès caracteritzar aquests mecanismes, en els quals s'hi va observar diferències sobretot segons el règim pluviomètric.

Entre els mecanismes de tolerància observats, cal destacar: (a) l'ajust osmòtic de les plantes del règim 300 mm el mes de març, després de l'escassa aigua rebuda durant els mesos d'hivern; (b) l'ajust osmòtic

generalitzat el mes d'agost, que va ser més intens en el tractament NM500; i (c) una menor RWCo en les plantes del règim 300, que suposa un augment de la seva tolerància a la deshidratació.

I entre els mecanismes d'evitació, destaquen: (a) disminució de la relació TW/DW en tots els tractaments al llarg de l'assaig, que suposa una adaptació avantatjosa en condicions d'estrès hídric degut a la reducció de la mida cel·lular; i (b) disminució progressiva de la Trc.

- 5) Les diferències més significatives en creixement i biomassa van ser observades entre els diferents règims pluviomètrics.

La micorizació però, va promoure una major àrea foliar, creixement en longitud de les arrels i longitud específica de les arrels al final de l'assaig independentment del règim pluviomètric. Altres paràmetres de creixement, com l'alçada, el diàmetre de les tiges i la cobertura del sòl, també va ser majors en les plantes micoritzades del règim 500 mm.

- 6) El factor règim pluviomètric va tenir efecte en la colonització de les arrels de les plantes de romaní per fongs formadors de micorizes. La introducció de plantes de romaní micoritzades va comportar un augment de la "fertilitat biològica" del sòl, i aquest augment va dependre del règim pluviomètric, ja que la densitat de propàguls va ser 28 vegades més alta en el règim de 500 que en el de 300 mm.any⁻¹.

5.4. Experiment 6. Efecte de la competència entre espècies. Resposta de romaní a la diferent densitat de plantació amb *Lavandula dentata* L. i *Buxus sempervirens* L.

5.4.1. Objectius de l'experiment.

L'objectiu d'aquest assaig va ser l'estudi de les relacions de competència en diferents situacions de disponibilitat de recursos que poden establir-se entre el romaní (*Rosmarinus officinalis* L.) i altres arbusts autòctons mediterranis: el boix (*Buxus sempervirens* L.) i la lavanda (*Lavandula dentata* L.). Es van simular condicions limitants pròpies d'una revegetació de la zona mediterrània, i es van assajar dues profunditats de substrat per tal de generar situacions de diferent disponibilitat de recursos.

5.4.2. Metodologia i plantejament experimental.

- **Material vegetal i condicions de cultiu.**

En van utilitzar plantes de romaní (*Rosmarinus officinalis* L.), lavanda (*Lavandula dentata* L.) i boix (*Buxus sempervirens* L.) de dos mesos d'edat procedents d'esqueix. La Taula 5.4.1 mostra les mitjanes dels paràmetres de creixement i biomassa de les plantes utilitzades a l'inici de l'assaig.

Taula 5.4.1. Mitjanes dels paràmetres de creixement i biomassa de les tres espècies estudiades a l'inici de l'assaig: alçada (cm), diàmetre tija (mm), pes sec (g), relació pes sec de les arrels/pes sec de la parts aèria ("root/shoot", en tant per u), àrea foliar (cm²) i pes específic foliar (PEF, mg.cm⁻²). Els valors són la mitjana de 5 plantes ± error estàndard.

Paràmetre	Romaní	Lavanda	Boix
	Mitjana ± Se	mitjana ± Se	Mitjana ± Se
Alçada	15,00 ± 0,61	12,88 ± 0,47	11,80 ± 1,25
Diàmetre	4,83 ± 0,30	2,67 ± 0,18	2,52 ± 0,17
Pes sec fulles	2,47 ± 0,26	1,30 ± 0,12	0,60 ± 0,11
Pes sec tiges	0,54 ± 0,08	0,25 ± 0,07	0,46 ± 0,31
Pes sec arrels	2,02 ± 0,29	0,57 ± 0,11	0,30 ± 0,07
Pes sec total	5,03 ± 0,58	2,11 ± 0,19	1,37 ± 0,32
"Root/shoot"	0,67 ± 0,06	0,38 ± 0,08	0,35 ± 0,07
Àrea foliar	216,35 ± 17,81	252,03 ± 12,97	83,79 ± 11,74
PEF	11,32 ± 0,37	5,12 ± 0,28	7,08 ± 0,41

L'assaig es va dur a terme sota hivernacle en dues banquetes de ciment de 16 m de llarg x 1,1 m d'amplada i dues fondàries diferents: 0,4 m i 0,8 m. Cada banqueteta es va subdividir en 16 parcel·les experimentals de 1,1 m², separades per plaques de fibrociment per tal d'evitar interferències entre els sistemes radicals de les plantes de cada parcel·la. Es va utilitzar com a substrat terra

procedent d'un sòl de cultiu abandonat de textura areno-franca, les característiques físico-químiques del qual figuren a la Taula III.1 de l'annex III.

La quantitat total d'aigua aportada va ser de 500 mm.any⁻¹ per a tots els tractaments, similar a la pluviometria mitjana anual del nord-est de la península, que es va repartir en aplicacions quinzenals. La dosi es va calcular d'acord amb les freqüències de pluja mensual mitjana dels últims 12 anys de l'estació agrometereològica del Centre de l'IRTA de Cabrils, fraccionades en dues aplicacions idèntiques cada 15 dies, simulant pluja i controlant el temps de reg. Al llarg de tot l'assaig, es va mesurar el contingut d'aigua del substrat en volum amb un TDR (TRIME-FM, Imko, Deutchlan) a diferents profunditats (0-30 cm i en el seu cas també a 30-60 cm) abans de regar segons la metodologia descrita a l'apartat 3.2.2.6. Els resultats de les mitjanes mensuals de contingut d'aigua del substrat de cada tractament figuren a la Taula III.2 de l'annex III.

- ***Factors.***

Es va assajar la competència de romaní amb lavanda i romaní amb boix a dues densitats diferents establertes per substitució:

- a) Competència romaní-lavanda: 3 romanís i 6 lavandes (3R-6L) i 6 romanís i 3 lavandes (6R-3L).
- b) Competència romaní-boix: 3 romanís i 6 boixos (3R-6B) i 6 romanís i 3 boixos (6R-3B).

No es van establir les combinacions de monocultiu de cada espècie per limitacions d'espai, ni tampoc es va considerar la competència lavanda-boix per la mateixa raó i perquè interessava estudiar bàsicament el comportament del romaní.

També es van assajar dues profunditats de substrat, que van ser de 0,4 i 0,8 m segons les dimensions en fondària de les banquetes.

Es van establir 4 repeticions o parcel·les experimentals de 1,1 m² per cada densitat relativa d'espècies en competència i profunditat de substrat (total 32 parcel·les experimentals). La quantitat total de plantes per parcel·la experimental va ser sempre de 9, plantades a 25x25 cm. Es van distribuir els individus de l'espècie a més baixa densitat de manera que sempre estiguessin envoltats pels individus de l'espècie competidora, és a dir en diagonal o en "V".

- **Paràmetres mesurats.**

L'assaig, que es va iniciar en data 17/04/96 i va finalitzar el 21/10/97, va tenir una durada total de 18 mesos. Es van mesurar els següents paràmetres:

- a) Mesures periòdiques no destructives de paràmetres morfològics i/o de creixement: alçada i diàmetre de la tija principal seguint la metodologia descrita als apartats 3.2.3.1; cobertura total del sòl pel dosel vegetal de cada espècie mitjançant fotografies zenitals realitzades a 1,5 m d'alçada, seguint la metodologia descrita a l'apartat 3.2.3.5. L'anàlisi de la cobertura es va fer amb els valors mitjos de cada individu, dividint la cobertura total pel nombre d'individus de la mateixa espècie en cada parcel·la. Aquests paràmetres es van mesurar en les dates següents: 17/04/96 (inici de l'assaig), 22/05/96, 01/07/96, 06/08/96, 19/09/96, 26/11/96, 30/01/97, 14/04/97, 07/08/97 i 21/10/97 (final de l'assaig). Per a la cobertura, les últimes mesures corresponen al 07/08/97.
- b) Mesures periòdiques de corbes pressió-volum en romaní i lavanda seguint la metodologia de l'apartat 3.2.4.4. Es van mesurar per a cada espècie en 5 branquillons escollits a l'atzar de les quatre parcel·les de cada tractament romaní-lavanda i només per al romaní en els tractaments de romaní-boix (n=5). En els tractaments de romaní-boix, no va ser possible mesurar corbes pressió-volum en boix per manca de material vegetal. Aquestes mesures es van realitzar en les dates següents: 19/04/96, 22/05/96, 30/07/96, 03/10/96, 20/02/97, 30/07/97 i 10/10/97.
- c) Mesures destructives de paràmetres de producció, morfològics i/o de creixement al final de l'assaig (21/10/97): pes sec de tiges, pes sec de fulles i àrea foliar, seguint la metodologia descrita a l'apartat 3.2.3.2; i pes específic foliar, seguint la metodologia descrita a l'apartat 3.2.3.3.
- d) Estimació de la massa d'arrels al final de l'assaig (21/10/97): per cada combinació de factors, es va estimar la massa d'arrels total per quantitat de substrat (mg de pes sec d'arrel/g de substrat), mostrejant cores de substrat amb una barrina segons la metodologia descrita a l'apartat 3.2.3.6. Segons la profunditat de substrat assajada (40 i 80 cm), es van prendre 2 mostres (n=2) a les fondàries següents: pels tractaments de profunditat 40 cm a 0-20 i a 20-40 cm, i per als tractaments de profunditat 80 cm, a 0-20 cm, a 20-40 cm i a 40-60 cm. Els resultats figuren a la Taula III.3 de l'annex III.

En les mesures periòdiques no destructives descrites a l'apartat a) i en les mesures destructives descrites a l'apartat c), es van mesurar totes les plantes de cada parcel·la experimental i, per tant, el nombre de repeticions va variar per a cada espècie segons el tractament. Per tant, n=12 pel romaní i n=24 per la lavanda en els tractaments 3R-6L; n=24 pel romaní i n=12 per la lavanda en els tractaments 6R-3L; n=12 pel romaní i n=24 pel boix en els tractaments 3R-6B; i n=24 pel romaní i n=12 pel boix en els tractaments 3R-6L.

- ***Anàlisi estadística.***

D'acord amb el plantejament experimental, es van realitzar les següents anàlisis:

- a) Per a les mesures realitzades en romaní, es va fer l'anàlisi de la variància factorial considerant els tres factors fixes i creuats següents: competidor (lavanda i boix), densitat del competidor (3R-6L o 6B i 6R-3L o 3B), i profunditat del substrat (40 i 80 cm). En total van ser 8 tractaments: 2 competidors x 2 densitats x 2 profunditats de substrat.

Degut a la que el competidor va donar lloc a diferències significatives en el romaní per a quasi bé per a totes les variables dependents mesurades, i a la dificultat en la interpretació dels resultats, es van fer anàlisis individuals per cada combinació (romaní-lavanda i romaní-boix). En aquest cas l'anàlisi va ser de 2 factors (densitat del competidor i profunditat del substrat), o bé de tres factors si es comparen també les espècies en competència. L'exposició dels resultats i la discussió, s'ha estructurat en base als resultats obtinguts en individualment en les combinacions romaní-lavanda i romaní-boix.

- b) Es va analitzar també l'evolució estacional dels paràmetres derivats de les corbes pressió-volum, incorporant el factor temps en les anàlisis. El factor temps es va considerar fix i no aleatori, doncs els valors d'aquests paràmetres són representatius de circumstàncies concretes d'un any determinat, i no pretén la generalització de resultats.

Per a les variables dependents mesurades periòdicament de forma no destructiva (apartat a, de variables mesurades) i per a les mesures destructives realitzades al final de l'assaig (descrites en el punt c de "paràmetres mesurats"), l'anàlisi de la variància es va fer amb el procediment GLM del SAS (versió 6.0 SAS Institute, Inc., 1994), per a models descompensats o desequilibrats, utilitzant les sumes de quadrats de tipus III. La comparació de les mitjanes de cada combinació de factors, es va fer utilitzant Tukey amb les mitjanes

estimades per mínims quadrats que tracten de compensar el desequilibri del model.

En el cas d'interaccions significatives, es van comparar les mitjanes estimades per mínims quadrats de cada combinació de tractaments utilitzant les instruccions LSMEANS i PDIFF del procediment GLM del SAS, i el test de Tukey de comparació múltiple. Les dades de producció (pes sec de la part aèria i pes sec de les arrels) i creixement (alçada i diàmetre), es van transformar mitjançant "lnx".

5.4.3. Resultats.

5.4.3.1. Creixement i producció al final de l'assaig.

El factor competidor (lavanda i boix), va donar lloc a diferències altament significatives en totes les variables de producció, morfològiques i/o de creixement del romaní mesurades als 18 mesos, final de l'assaig (Taula 5.4.2).

Taula 5.4.2. Valors de p de l'anàlisi de la variància i mitjanes dels paràmetres de producció, morfològics i/o de creixement segons els factors principals (competidor, densitat i profunditat) al final de l'assaig (18 mesos). Competidor: Boix (B) i lavanda (L). Densitat: 3 romanís amb 6 boixos o 6 lavandes (3R); 6 romanís amb 3 boixos o 3 lavandes (6R). Profunditat de substrat: 40 cm (40) i 80 cm (80). Dins de cada factor, les mitjanes seguides de diferent lletra difereixen significativament amb $p \leq 0,05$. Per als paràmetres de creixement i producció, la separació de mitjanes s'ha fet en base als valors transformats segons "lnx".

Factor		Alçada (cm)	Diàmetre (mm)	Ps fulles (g)	Ps tiges (g)	Àrea (cm ²)	SLW* (mg·cm ⁻²)	Cobertura (%)
Competidor (C)		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0532	<0,001
Densitat relativa (D)		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	<0,001
Profunditat (P)		0,003	0,005	n.s.	n.s.	n.s.	0,0800	n.s.
C*D		0,002	n.s.	0,003	n.s.	0,017	n.s.	<0,001
C*P		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
D*P		n.s.	n.s.	0,039	n.s.	n.s.	0,014	n.s.
C*D*P		n.s.	n.s.	0,044	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Competidor	B	57,34 a	9,78 a	98,03 a	80,47 a	4115,45 a	27,97 b	13,17 a
	L	42,78 b	7,08 b	25,93 b	15,11 b	923,51 b	31,78 a	4,61 b
Densitat	3R	50,14	8,25	72,49	54,41	3095,16	29,54	10,59 a
	6R	50,02	8,55	56,55	44,38	2222,55	30,05	7,19 b
Profunditat	40	52,68 a	9,28 a	66,20	47,78	2373,54	32,39	9,36
	80	47,44 b	7,59 b	57,76	47,80	2665,43	27,36	8,41

El romaní, en presència de boix, va presentar un creixement significativament més gran en alçada i diàmetre de la tija principal que en presència de lavanda; també el pes sec de les fulles i tiges i l'àrea foliar va ser entre 4 i 5 vegades més gran i va cobrir al voltant de 2,85 més de superfície del substrat per planta. A més, el pes específic foliar (SLW) va ser significativament més gran en el romaní

en presència de lavanda que en presència de boix, símptoma de que l'efecte supressiu de la lavanda sobre el creixement del romaní va generar una major competència pels recursos hídrics en la combinació romaní-lavanda, i va comportar adaptacions morfològiques en el romaní en resposta a l'estrès hídric (Taula 5.4.2).

L'efecte de la densitat de plantes sobre l'alçada, el pes sec de les fulles, l'àrea foliar i el percentatge de cobertura va dependre del competidor va dependre del competidor, ja que les interaccions densitat*competidor van ser significatives per aquests paràmetres (Taula 5.4.2). El romaní, en presència de boix, va disminuir la seva alçada, pes sec de les fulles, àrea foliar i cobertura al doblar la seva densitat de 3R a 6R, mentre que en presència de lavanda aquests paràmetres van tendir a augmentar encara que no de forma significativa (Figura 5.4.1.A, B i C). Aquest comportament indica una forta competència intraespecífica del romaní en presència de boix al augmentar la seva densitat.

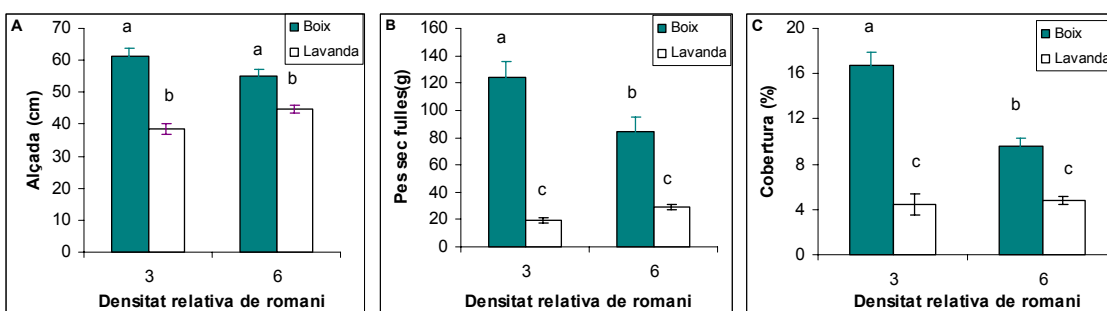


Figura 5.4.1. (A) Alçada, (B) pes sec de les fulles i (C) cobertura del substrat per planta del romaní segons el competidor (boix o lavanda) i la seva densitat relativa (3R: 3 romanís en presència de 6 competidors; 6R: 6 romanís en presència de 3 competidors). Barres amb diferent lletra, difereixen significativament amb $p \leq 0,05$.

La profunditat del substrat va comportar diferències en el creixement en alçada ($p=0,033$) i diàmetre de les plantes de romaní ($p=0,005$), que van ser significativament més grans a la profunditat de 40 cm (Taula 5.4.2). Aquestes diferències es podrien explicar pel diferent repartiment del contingut d'aigua en el perfil després de regar en cada profunditat de substrat assajada, per efecte de les forces gravitacionals.

Per tant, el substrat de menor profunditat (40 cm) va constituir un medi més productiu, al proporcionar major disponibilitat de recursos hídrics, però en general també va comportar plantes de romaní amb major pes específic foliar ($p=0,080$, diferència marginalment significativa), indicant que aquest tractament va induir, almenys puntualment, a condicions de major estrès hídric.

La interacció densitat*profunditat va ser significativa per al pes sec de les fulles ($p=0,039$) i el pes específic foliar (SLW, $p=0,014$) (Taula 5.4.2). En el substrat de 40 cm de profunditat, el pes sec de les fulles de romaní va ser significativament més gran a la densitat 3R que a 6R, mentre que en el substrat de 80 cm la producció en pes sec de fulles va ser independent de la densitat de romaní (Figura 5.4.2.A). El valor de SLW de romaní a la densitat 6R va ser més alt en el substrat de menor profunditat, mentre la profunditat del substrat no va influir en el SLW del romaní a 3R (Figura 5.4.2.B).

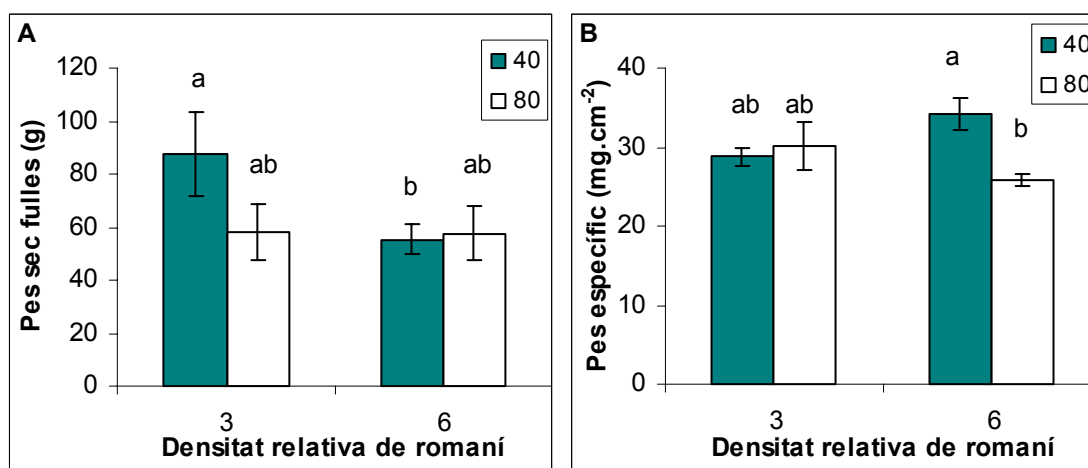


Figura 5.4.2. (A) Pes sec de les fulles i (B) pes específic foliar (SLW) de les plantes de romaní segons la seva densitat relativa (3R: 3 romanís en presència de 6 competidors; 6R: 6 romanís en presència de 3 competidors) i la profunditat del substrat (40 i 80 cm). Barres amb diferent lletra, difereixen significativament amb $p < 0,05$.

Al final de l'assaig doncs, es va observar un comportament ben diferent del romaní depenent de l'espècie competidora (lavanda o boix) i un efecte significatiu de l'abundància de cada espècie i de la profunditat del substrat. Això, juntament amb la complexitat de les relacions de competència, fa necessari un anàlisi individual que permeti estudiar més detalladament l'efecte dels diferents factors (densitat i profunditat) sobre el comportament romaní-competidor i les seves interaccions.

5.4.3.2. Competència romaní-lavanda.

- Paràmetres de creixement, producció i morfologia de les plantes.

Al final de l'assaig, les plantes de lavanda van ser més altes que les de romaní ($p < 0,001$), però no es van observar diferències en el diàmetre de la tija principal. El pes sec de les fulles i tiges, l'àrea foliar i la cobertura del substrat per planta va ser molt superior en lavanda ($p < 0,001$), que es va mostrar molt competitiva en la colonització de l'espai aeri, mostrant un creixement de tipus postrat, mentre que el del romaní va ser predominantment erecte. El pes

específic foliar al final de l'assaig, va ser significativament més gran en les plantes de romaní (Taula 5.4.3).

Taula 5.4.3. Valors de p de l'anàlisi de la variància dels paràmetres de producció, morfològics i/o de creixement al final de l'assaig de competència romaní-lavanda. Factors: espècie (E: romaní i lavanda); densitat (D: 3R-6L i 6L-3R); i profunditat del substrat (P: 40 i 80 cm). Per als tractaments 3R-6L, n=12 per al romaní i n=24 per la lavanda; i per als tractaments 6R-3L, n=24 per al romaní i n=12 per la lavanda. Mitjanes seguides de diferent lletra, difereixen significativament amb $p \leq 0,05$. Per als paràmetres de creixement i producció, l'anàlisi s'ha realitzat amb les variables transformades segons "lnx".

Factor	Alçada (cm)	Diàmetre (mm)	Pes sec (g)		Àrea foliar (cm ²)	SLW (mg.cm ⁻²)	Cobertura del substrat
			Fulles	Tiges			
Espècie (E)	<0,001	n.s.	<0,001	<0,001	<0,001	0,024	<0,001
Profunditat (P)	<0,001	0,025	n.s.	n.s.	n.s.	0,006	n.s.
Densitat de plantes (D)	<0,001	n.s.	0,006	<0,001	n.s.	n.s.	0,002
E*P	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
E*D	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0,004
P*D	0,016	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
E*P*D	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Comparació de mitjanes pel factor espècie							
Romaní	41,75 b	6,55	22,88 b	12,17 b	923,51 b	31,78 a	4,61 b
Lavanda	46,65 a	6,89	46,60 a	43,71 a	2.342,45 a	27,26 b	16,71 a

Tant la profunditat del substrat com la densitat relativa de plantes, van tenir efectes significatius en els diferents paràmetres de creixement, morfològics i de producció del romaní i de la lavanda als 18 mesos, que es comenten, juntament amb les interaccions, en l'anàlisi individual per a cada espècie (Taula 5.4.4).

Taula 5.4.4. Valors de p de l'anàlisi de la variància i mitjanes dels paràmetres de producció, morfològics i/o de creixement del romaní i de la lavanda, segons la densitat de plantes (D: 3R-6L i 6R-3R) i la profunditat del substrat (P: 40 i 80 cm). Per als tractaments 3R-6L, n=12 per al romaní i n=24 per la lavanda; i per als tractaments 6R-3L, n=24 per al romaní i n=12 per la lavanda. Mitjanes seguides de diferent lletra, difereixen significativament amb $p \leq 0,05$. Per als paràmetres de creixement i producció, la separació de mitjanes s'ha realitzat amb les variables transformades segons "lnx".

ROMANÍ								
Factor	Alçada (cm)	Diàmetre (mm)	Pes sec (g)		Àrea foliar (cm ²)	SLW (mg.cm ⁻²)	Cobertura (%)	
			Fulles	Tiges				
P	<0,001	0,014	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	
D	0,003	n.s.	0,002	0,001	0,014	n.s.	n.s.	
P*D	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	
40	3R-6L	43,88	7,50	21,98	10,76	725,55	30,96	3,70
40	6R-3L	46,88	8,24	31,57	19,85	987,81	37,51	5,28
80	3R-6L	33,29	7,12	16,41	8,38	674,01	31,88	5,19
80	6R-3L	42,88	5,55	27,03	15,91	1082,95	26,42	4,26
LAVANDA								
P	0,003	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0,003	n.s.	
D	n.s.	n.s.	n.s.	0,005	n.s.	n.s.	0,003	
PxD	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	
40	3R-6L	49,98	7,87	56,76	56,53	2021,2	29,3	12,96
	6R-3L	50,08	7,78	59,50	70,65	2036,2	30,9	23,86
80	3R-6L	42,56	7,28	50,27	38,68	2298,4	25,0	11,81
	6R-3L	44,78	6,61	42,91	85,58	1821,5	25,3	19,44

Nota: Tots els paràmetres corresponen a les mesures realitzades al final de l'assaig (21/10/97), excepte la cobertura, que corresponen al penúltim mostreig (07/08/97). SLW: pes específic foliar.

L'abundància de romaní va afavorir el seu desenvolupament, ja que va presentar un creixement significativament més gran en alçada, major pes sec de fulles i de tiges i major àrea foliar en la combinació 6R-3L que a 3R-6L. Aquest major creixement per planta no es va traduir però, en una major cobertura del substrat degut al seu creixement vertical (Taula 5.4.4).

Per la seva part, la lavanda, va presentar un pes sec de tiges significativament més gran a la major densitat de romaní (6R-3L), mentre que la resta de paràmetres de creixement i producció (alçada, diàmetre, pes sec de fulles i àrea foliar), van ser indiferents a l'abundància de plantes de cada espècie. Aquest major pes sec de tiges a 6R-3L, va permetre a la lavanda una millor colonització de l'espai aeri amb la mateixa àrea foliar, ja el percentatge de cobertura del substrat per planta va ser significativament més gran que a 3R-6L (Taula 5.4.4 i Figura 5.4.3. A, B, C i D), i la cobertura total de la lavanda no va diferir entre els tractaments de densitat.

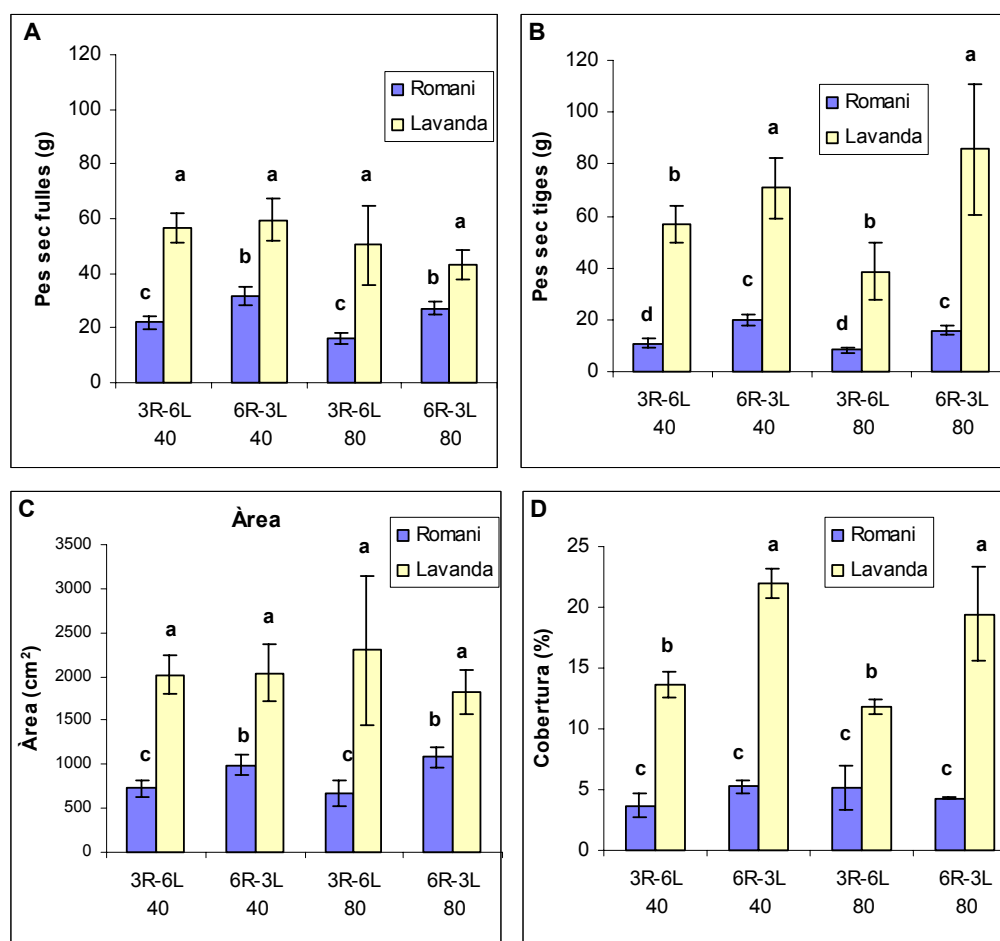


Figura 5.4.3. (A) Pes sec de fulles, (B) pes sec de tiges, (C) àrea foliar i (D) percentatge de cobertura del substrat de cada planta de romaní i lavanda al final de l'assaig (18 mesos), segons densitat de plantes (3R-6L i 6R-3L) i profunditat dels substrat (40 i 80 cm). Barres amb diferent lletra, difereixen significativament amb $p \leq 0,05$, en base a les mitjanes estimades per mínims quadrats.

En el substrat de menor profunditat (40 cm), tant el romaní com la lavanda van presentar un major creixement en alçada, i el romaní també en diàmetre de la tija principal. En la lavanda es va observar també un major SLW en el substrat menys profund (Taules 5.4.5).

L'evolució del creixement segons les mesures periòdiques de paràmetres no destructius, va seguir 4 etapes diferenciades, que es dedueixen sobretot del creixement en alçada de les dues espècies (Figura 5.4.4.C i D): (a) etapa de fort creixement des de l'inici de l'assaig (abril-96) fins el primer estiu (juliol-96); (b) fase d'estabilització, coincidint amb el període estival de fort estrès hídric fins a l'inici de la tardor (juliol-96 a octubre-96); (c) segona etapa de fort creixement, de tipus exponencial, que va ser contínua des de la tardor del 96 fins la primavera següent (octubre-96 a abril-97); (d) etapa d'estancament del creixement durant la primavera i l'estiu de 1997, que es va iniciar abans en el romaní que en la lavanda (abril-97 fins octubre-97, final de l'assaig).

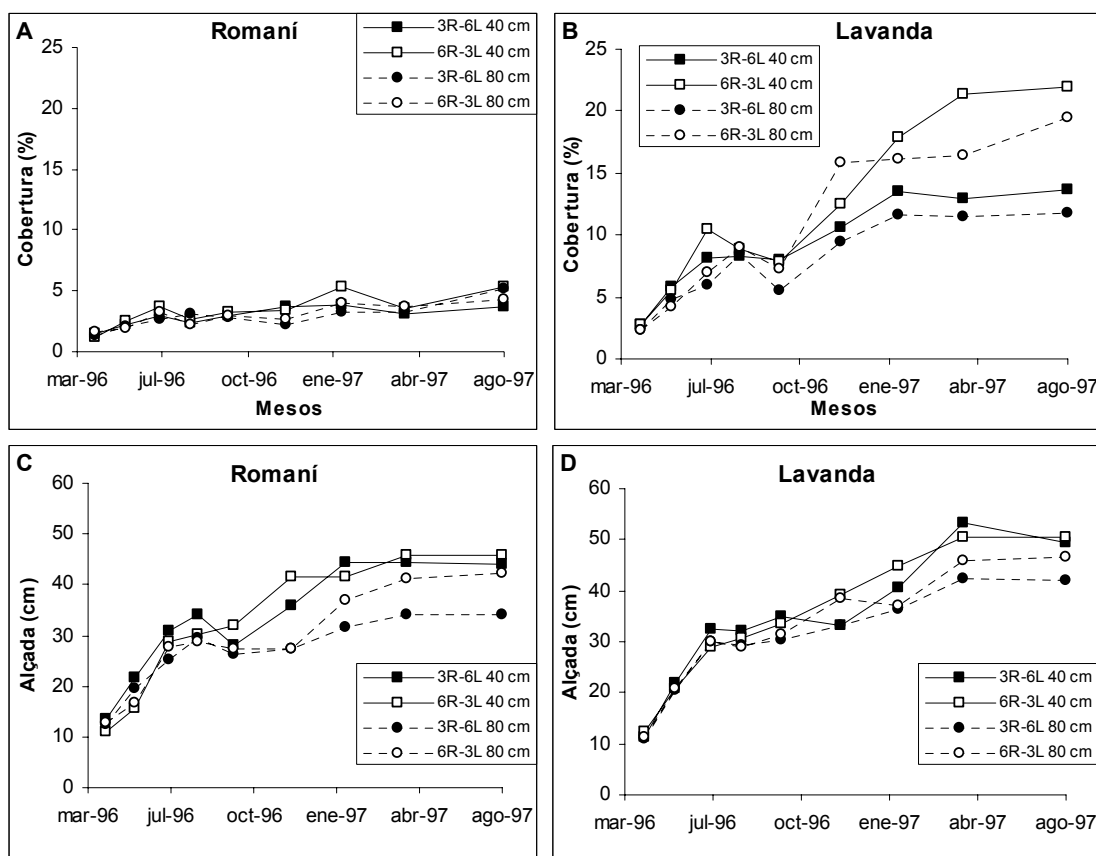


Figura 5.4.4. Evolució del percentatge de cobertura del substrat per planta de romaní (A) i de lavanda (B), i de l'alçada del romaní (C) i de la lavanda (D) al llarg de l'assaig de competència romaní-lavanda, segons la densitat de plantes (3R-6L i 6R-3L) i profunditat dels substrat (40 i 80 cm).

L'evolució del creixement indica que la competència més forta pels recursos va tenir lloc sobretot durant la segona etapa de fort creixement (etapa c, d'octubre-96 a abril-97). L'estabilització del creixement observat en la darrera etapa (etapa d, d'abril-97 a octubre-97), es va iniciar en un moment en que les condicions eren encara favorables, suggerint un esgotament de recursos, que es va manifestar amb més antelació en el romaní.

El paral·lelisme que es va observar entre l'evolució del creixement en alçada i la cobertura del substrat de la lavanda, és un bon indicador del seu creixement postrat, i de l'elevada capacitat de colonitzar l'espai aeri (figura 5.4.4.B i D). En canvi, el creixement en alçada del romaní, tot i que va evolucionar de forma similar al de la lavanda, va comportar una escassa cobertura del substrat que va progressar poc amb el temps, indicant un creixement erecte i vertical (Figura 5.4.4.A i C). La profunditat del substrat va tenir efecte sobre l'alçada i el diàmetre de la tija principal tant de les plantes de romaní com de lavanda, essent major a profunditat 40, i aquest efecte es va manifestar en successius mostrejos, i sobretot a partir de setembre del 96, coincidint amb l'inici de la segona etapa de fort creixement (Taula III.4 i Taula III.5, annex III). En canvi, la densitat de plantes va tenir efecte en la cobertura per planta de lavanda i no en romaní, que va ser significativament més gran a menor densitat de lavanda (6R-3L) a partir del mostreig d'abril-97 (Taula III.5, annex III).

- ***Relacions hídriques.***

Depenent de la data de mostreig, es van observar diferències significatives globals entre romaní i lavanda per a tots els paràmetres de les corbes pressió-volum, ja que la interacció Temps*Espècie va ser significativa per a tots aquests paràmetres (veure Taula III.6 de l'annex III, i Figura 5.4.5).

L'estiu de 1996 es van produir disminucions significatives del potencial osmòtic a turgència (Ψ_n^{100}) en totes dues espècies. Aquest ajust osmòtic va ser més ràpid (maig-96) i més important en romaní que en lavanda, que va assolir Ψ_n^{100} significativament més baixos (Figura 5.4.5.A). En els mostrejos d'octubre-96 i febrer-97, es va produir una recuperació del Ψ_n^{100} en les dues espècies, si bé el romaní la recuperació va ser menor mantenint valors més baixos i constants del Ψ_n^{100} fins el final de l'assaig. Coincidint amb el període de màxim estrès hídric, l'estiu del 1997 va tornar a disminuir el potencial osmòtic a turgència, disminució que només va ser significativa en lavanda (nou ajust osmòtic), presentant, al final de l'assaig, valors d'aquest paràmetre que no diferien dels del romaní.

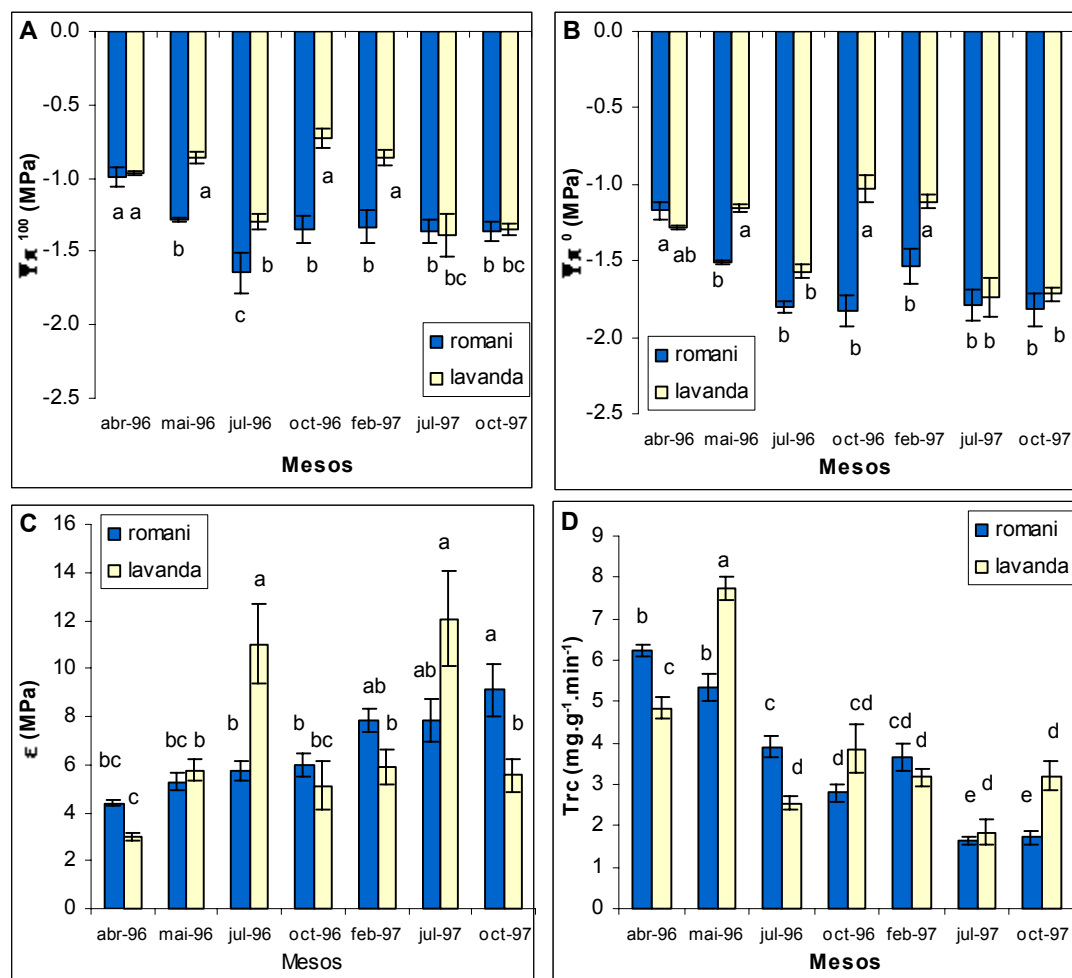


Figura 5.4.5. Evolució dels diferents paràmetres derivats de les corbes pressió volum al llarg de l'assaig globalment per a romaní i lavanda (n=20): (A) potencial osmòtic a turgència Ψ_n^{100} , (B) potencial osmòtic a pèrdua de turgència Ψ_n^0 , (C) mòdul d'elasticitat, i (D) transpiració cuticular Trc. Barres amb diferent lletra, difereixen significativament amb $p \leq 0,05$, en base a les mitjanes estimades per mínims quadrats.

Pel que fa als diferents tractaments, es va observar en determinats mostrejors i per a totes dues espècies, un efecte de la profunditat del substrat, mentre que la densitat de plantes no va tenir una influència clara en el Ψ_n^{100} . Aquest efecte de la profunditat va variar en funció de l'espècie i de la data de mostreig. En el mostreig d'octubre-1996, es van observar valors significativament més petits del Ψ_n^{100} tant en romaní com en lavanda en el substrat de 40 cm, comportament que es va repetir per al romaní l'any següent, l'octubre-1997. En canvi en el mostreig de febrer-97, l'efecte de la profunditat sobre el Ψ_n^{100} va ser el contrari, menor en el substrat de 80, i es va manifestar únicament en el romaní (Taula 5.4.5 i Taula 5.4.6).

Taula 5.4.5. Evolució dels paràmetres derivats de les corbes P-V del romaní en l'assaig de competència romaní-lavanda, segons densitat de plantes (D: 3R-6L i 6R-3L) i profunditat dels substrat (P: 40 i 80 cm) Paràmetres de les corbes P-V: potencial osmòtic a saturació (Ψ_n^{100} , en MPa), potencial osmòtic a pèrdua de turgència (Ψ_n^0 , en MPa), mòdul d'elasticitat (ϵ , en MPa) i transpiració cuticular (Trc, en $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). Per cada data, les mitjanes (n=5) seguides de diferent lletra, difereixen significativament amb $p \leq 0,05$.

Paràmetre	Factor		Data de mostreig						
	P	D	Abril-96	Maig-96	Juliol-96	Oct-96	Feb-97	Juliol-97	Oct-97
Ψ_n^{100}	40	3R-6L			-1,47	-1,53	-1,06 a	-1,31	-1,45 ab
	40	6R-3L		-1,28	-1,93	-1,56	-0,94 a	-1,34	-1,71 b
	80	3R-6L	-0,99		-1,59	-1,16	-1,96 b	-1,20	-1,25 a
	80	6R-3L		-1,30	-1,58	-1,15	-1,20 a	-1,58	-1,03 a
		P		n.s.	n.s.	0,039	<0,001	n.s.	<0,001
		D			n.s.	n.s.	0,003	n.s.	n.s.
		PxD			n.s.	n.s.	0,02	n.s.	0,005
Ψ_n^0	40	3R-6L			-1,76	-1,91	-1,31	-1,63	-1,96
	40	6R-3L		-1,51	-1,75	-1,99	-1,18	-1,82	-2,06
	80	3R-6L	-1,17		-1,84	-1,69	-2,13	-1,56	-1,56
	80	6R-3L		-1,51	-1,86	-1,74	-1,51	-2,15	-1,69
		P		n.s.	n.s.	n.s.	0,002	n.s.	n.s.
		D			n.s.	n.s.	0,032	n.s.	n.s.
		PxD			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
ϵ	40	3R-6L			5,97	6,42	6,39 b	12,15	8,54 ab
	40	6R-3L		4,92	4,87	7,30	7,48 ab	6,52	14,64 a
	80	3R-6L	4,39		6,74	5,08	10,39 a	7,23	7,07 ab
	80	6R-3L		5,62	5,30	5,24	7,13 b	5,53	6,13 b
		P		n.s.	n.s.	n.s.	0,019	n.s.	0,008
		D			n.s.	n.s.	n.s.	0,020	n.s.
		PxD			n.s.	n.s.	0,007	n.s.	0,048
Trc	40	3R-6L			3,96	2,78 ab	4,44	1,70	2,36
	40	6R-3L		5,90	4,44	3,32 a	3,68	1,24	1,46
	80	3R-6L	6,24		3,82	3,14 ab	3,22	1,84	1,52
	80	6R-3L		4,82	3,42	1,92 b	3,28	1,84	1,54
		P		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
		D			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
		PxD			n.s.	0,017	n.s.	n.s.	n.s.

L'evolució del potencial osmòtic a pèrdua de turgència (Ψ_n^0), va ser similar per a les dues espècies al de saturació. El romaní va ser capaç de perdre la turgència a potencials hídrics més baixos que la lavanda durant l'estiu del 1996. Després de la recuperació del Ψ_n^0 en els mostrejors d'octubre-1996 i febrer-1997, el potencial osmòtic a pèrdua de turgència es va igualar en les dues espècies al final de l'assaig (Figura 5.4.5.B, Taula 5.4.5 i Taula 5.4.6).

Globalment es van observar dues tendències ben diferents en l'evolució del mòdul elàstic (ϵ) i de la transpiració cuticular (Trc) segons l'espècie (Figura 5.4.5.C i D). El romaní va tendir a rigiditzar progressivament les parets cel·lulars, augmentant significativament el seu mòdul elàstic i disminuint també de forma progressiva la transpiració cuticular al llarg dels diferents mostrejors. En canvi, en la lavanda es van observar augments i disminucions significatives de ϵ , coincidint els augments amb els períodes de màxim estrès hídric (juliol-96 i

juliol-97), i les disminucions amb èpoques menys dèficit hídric i més favorables per al creixement (octubre-96 i octubre-97). Les disminucions significatives del mòdul elàstic de la lavanda, no es poden atribuir a un ajust elàstic com a mecanisme de tolerància en resposta a l'estrès, i sembla que va ser degut a la formació de nous brots. Això ve recolzat perquè les disminucions de ϵ van coincidir amb augments de la Trc. En canvi, els augments significatius en el mòdul elàstic de la lavanda en els mostrejos de juliol-96 i 97, que van coincidir amb les disminucions de Ψ_n^{100} , potencien l'efecte de l'osmoregulació, augmentant la resistència de la lavanda a l'estrès.

Taula 5.4.6. Evolució dels paràmetres derivats de les corbes pressió-volum (P-V) de la lavanda en l'assaig de competència romaní-lavanda, segons densitat de plantes (D: 3R-6L i 6R-3L) i profunditat dels substrat (P: 40 i 80 cm) Paràmetres de les corbes P-V: potencial osmòtic a saturació (Ψ_n^{100} , en MPa), potencial osmòtic a pèrdua de turgència (Ψ_n^0 , en MPa), mòdul d'elasticitat (ϵ , MPa) i transpiració cuticular (Trc, en $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). Mitjanes (n=5) seguides de diferent lletra, difereixen significativament amb $p \leq 0,05$.

Paràmetre	Factor		Data de mostreig						
	P	D	Abril-96	Maig-96	Juliol-96	Oct-96	Febrer-97	Juliol-97	Oct-97
Ψ_n^{100}	40	3R-6L	-0,97	-0,95	-1,25	-1,00	-0,88	-1,07 ab	-1,40
	40	6R-3L		-1,35	-0,81	-0,90	-1,34 ab	-1,22	
	80	3R-6L		-1,29	-0,48	-0,69	-2,02 b	-1,29	
	80	6R-3L		-0,76	-1,29	-0,61	-0,97	-0,93 a	-1,48
		P		0,007	n.s.	0,002	n.s.	n.s.	n.s.
		D			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
		PxD			n.s.	n.s.	n.s.	0,021	n.s.
Ψ_n^0	40	3R-6L	-1,28	-1,22	-1,58	-1,32	-1,10	-1,38 a	-1,75
	40	6R-3L		-1,66	-1,27	-1,15	-1,59 ab	-1,61	
	80	3R-6L		-1,52	-0,50	-1,04	-2,32 b	-1,77	
	80	6R-3L		-1,09	-1,51	-1,00	-1,16	-1,47 ab	-1,74
		P		0,018	n.s.	0,002	n.s.	n.s.	n.s.
		D			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
		PxD			n.s.	n.s.	n.s.	0,021	n.s.
ϵ	40	3R-6L	3,00	7,26	6,10	4,46	6,92	14,14	5,39
	40	6R-3L		10,60	2,94	6,85	8,54	4,48	
	80	3R-6L		16,72	10,24	4,27	16,38	4,63	
	80	6R-3L		4,29	10,69	2,75	5,48	6,33	7,65
		P		<0,001	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
		D			n.s.	0,017	n.s.	n.s.	n.s.
		PxD			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Trc	40	3R-6L	4,84	7,22	2,80	1,74 b	3,14	1,27	3,79
	40	6R-3L		1,94	2,91 b	2,49	2,57	2,54	
	80	3R-6L		2,53	2,85 b	3,60	1,18	3,17	
	80	6R-3L		8,27	2,91	7,93 a	3,46	2,50	3,29
		P		n.s.	n.s.	<0,001	n.s.	n.s.	n.s.
		D			n.s.	<0,001	n.s.	0,045	n.s.
		PxD			n.s.	<0,001	n.s.	n.s.	n.s.

La relació de competència entre les dues espècies, va influir en l'evolució dels seus mòduls elàstics. A densitat 6R-3L, el ϵ de la lavanda va ser significativament més petit en determinats mostrejos (octubre-96), i també en romaní dependent o no de la profunditat del substrat (febrer-97, juliol-97 i

octubre-97). Això va coincidir amb el major creixement per planta tant en romaní com en lavanda observats a aquesta densitat (Taula 5.4.5 i Taula 5.4.6).

La profunditat del substrat també va influir en el ϵ del romaní en els mostres de febrer-97 i octubre-97, però en sentits contraris, menor a profunditat 40 el febrer-97 i major a la mateixa profunditat l'octubre-97, observant-se un paral·lelisme amb el potencial osmòtic a saturació i a pèrdua de turgència (Taula 5.4.5 i Taula 5.4.6).

5.4.3.3. Competència romaní-boix.

- Paràmetres de creixement, producció i morfologia de les plantes.

Als 18 mesos, es van observar grans diferències en tots els paràmetres de creixement, morfològics i de producció entre romaní i boix, ja que el boix es va desenvolupar molt poc al llarg de l'assaig, incrementant tant sols un 110% el pes sec de la part aèria, un 50% la seva àrea foliar i un 8,5% en alçada (Taula 5.4.7). El boix és una espècie de creixement lent i les condicions ambientals probablement van ser poc favorables; aquestes poden ser causes del seu escàs desenvolupament. Tot i així, el boix va ser tolerant a l'abundància dels veïns, ja que el romaní no va tenir un efecte supressiu sobre el creixement del boix al doblar la seva densitat de plantes.

Taula 5.4.7. Valors de p de l'anàlisi de la variància i mitjanes dels paràmetres de producció, morfològics i/o de creixement del romaní i del boix, segons la densitat de plantes (D: 3R-6B i 6R-3B) i la profunditat del substrat (P: 40 i 80 cm). n=12 per al romaní i n=24 per al boix per a les tractaments 3R-6B, i n=24 per al romaní i n=12 per al boix per als tractaments 6R-3B. Mitjanes seguides de diferent lletra, difereixen significativament amb $p \leq 0,05$. Per als paràmetres de creixement i producció, la separació de mitjanes s'ha realitzat amb les variables transformades mitjançant "lnx".

ROMANÍ								
Factor	Alçada (cm)	Diàmetre (mm)	Pes sec (g)		Àrea foliar (cm ²)	*SLW (mg.cm ⁻²)	Cobertura (%)	
			Fulles	Tiges				
P	n.s.	0,048	n.s.	0,014	n.s.	n.s.	n.s.	
D	n.s.	n.s.	<0,001	0,010	0,040	n.s.	<0,001	
P*D	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	
40	3R-6B	63,06	9,45	153,46	122,72	6202,38	26,71	18,28
40	6R-3B	57,69	11,22	79,32	56,76	2668,84	30,83	10,19
80	3R-6B	61,25	8,88	100,80	78,87	4908,58	28,88	15,18
80	6R-3B	52,18	9,01	87,65	83,87	4122,05	25,29	9,03
BOIX								
P	0,020	0,020	0,025	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
D	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
P*D	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0,019
40	3R-6B	13,08	3,01	1,95	1,21	153,70	13,74	0,43 b
40	6R-3B	14,50	3,24	1,57	1,16	136,38	11,32	0,77 a
80	3R-6B	11,58	2,95	0,80	0,40	74,93	11,49	0,63 a
80	6R-3B	11,90	2,79	1,38	0,48	139,68	12,87	0,40 b

Nota: Tots els paràmetres corresponen a les mesures realitzades al final de l'assaig (21/10/97), excepte la cobertura, que correspon al penúltim mostreig (07/08/97). *SLW: pes específic foliar.

La profunditat del substrat va tenir efecte sobre el desenvolupament de les tiges del romaní als 18 mesos (final de l'assaig), que va presentar un pes sec ($p=0,014$) i diàmetre ($p=0,048$) significativament més gran en el substrat de menor profunditat (40 cm). Però sobretot va ser el tractament de densitat el que va tenir majors conseqüències en el desenvolupament del romaní, que va presentar menor pes sec de fulles ($p<0,001$) i tiges ($p=0,01$), menor àrea foliar ($p=0,04$) i menor cobertura del substrat per planta ($p<0,001$) a major densitat de plantes de romaní (6R). Aquest efecte, indica que el romaní va entrar en una forta competència intraespecífica al doblar la seva densitat relativa de plantes (Taula 5.4.7).

El boix en canvi, va ser indiferent al tractament de densitat, mentre que la profunditat del substrat va promoure un major creixement de les plantes en alçada ($p=0,020$) i diàmetre ($p=0,020$), i un pes sec de les fulles significativament més gran ($p=0,025$) (Taula 5.4.7).

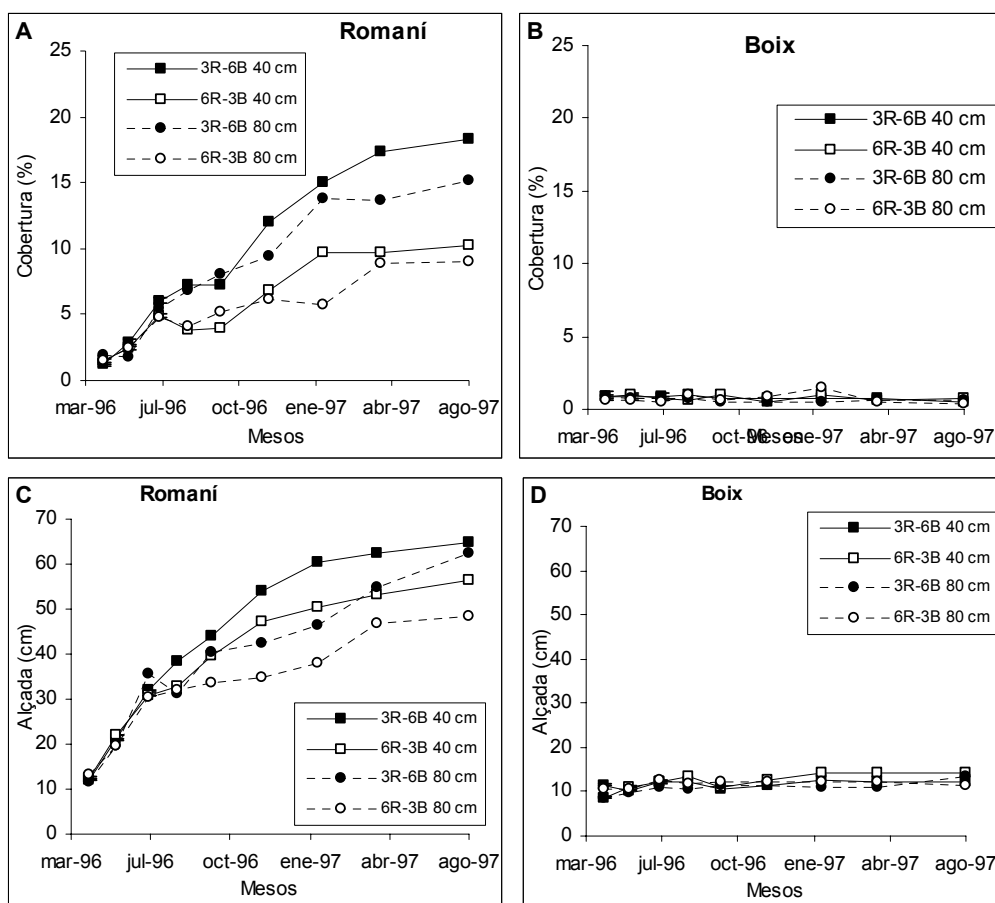


Figura 5.4.6. Evolució del percentatge de cobertura del substrat per planta de romaní (A) i de boix (B), i de l'alçada del romaní (C) i de boix (D) al llarg de l'assaig de competència romaní-boix, segons la densitat de plantes (3R-6B i 6R-3B) i profunditat dels substrat (40 i 80 cm).

En presència de boix, el creixement de romaní va evolucionar en 4 etapes diferenciades, que van ser coincidents aproximadament en el temps i amb tendència amb les de l'assaig romaní-lavanda. Es va observar però, un major creixement en alçada i un major paral·lelisme entre l'evolució del creixement en alçada i la cobertura, indicant que el romaní en presència de boix es va poder estendre de forma més horitzontal, colonitzant l'espai aeri de forma més eficient que en presència de lavanda (Figura 5.4.6.A i C).

La profunditat del substrat i sobretot la densitat de plantes van tenir efecte sobre l'alçada i la cobertura del romaní, que es va manifestar durant la segona etapa de fort creixement (octubre-96 a abril-97), quan les diferències entre tractaments van ser més grans. Les plantes de romaní van ser més baixes i van cobrir menys superfície de substrat en els tractaments 6R-3B i a profunditat 80 cm. Aquestes diferències van tendir a reduir-se al final de l'assaig sobretot en alçada i entre profunditats de substrat, coincidint amb la darrera etapa de creixement. Els resultats suggereixen un esgotament de recursos al final de l'assaig, que va ser més acusat en el substrat de 40 cm que en el de 80. Les diferències de cobertura però, es van mantenir altament significatives fins el final de l'assaig. El diàmetre de la tija només es va veure influït al final de l'assaig per la profunditat del substrat, essent les tiges més gruixudes en el substrat de profunditat 40 (Taula III.9, annex III).

L'escàs desenvolupament del boix al llarg de l'assaig, queda reflectit en l'evolució del creixement en alçada i la cobertura de la Figura 5.4.6.B i D (veure també Taula III.10, annex III).

- ***Relacions hídriques.***

Les relacions hídriques només es van mesurar en romaní, i no en boix per manca de suficient material vegetal degut al seu reduït creixement.

Taula 5.4.8. Valors de p de l'anàlisi de la variància del paràmetres derivats de les corbes pressió-volum (P-V) del romaní en l'assaig de competència romaní-boix, per als factors següents: data de mostreig (T); densitat de plantes (D); i profunditat dels substrat (P). Paràmetres de les corbes P-V: potencial osmòtic a saturació (Ψ_n^{100}), potencial osmòtic a pèrdua de turgència (Ψ_n^0), mòdul d'elasticitat (ϵ) i transpiració cuticular (Trc).

Factor	Paràmetres de les corbes P-V			
	Ψ_n^{100}	Ψ_n^0	ϵ	Trc
Data (T)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Densitat (D)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Profunditat (P)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
T*D	0,013	n.s.	n.s.	<0,001
T*P	n.s.	n.s.	n.s.	0,008
D*P	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
T*D*P	n.s.	n.s.	n.s.	<0,001

Tots els paràmetres de relacions hídriques van evolucionar de forma significativa amb el temps ($p < 0,001$). Depenent de la data de mostreig, la densitat de plantes va influir en el Ψ_n^{100} ($p = 0,013$) i en la Trc ($p < 0,001$), i la profunditat del substrat en la Trc ($p = 0,008$) (Taula 5.4.8).

Es va observar una disminució significativa del Ψ_n^{100} l'estiu del 96 tant el tractament 3R-6B com en el tractament 6R-3B. No obstant, la oscil·lació del Ψ_n^{100} al llarg de l'assaig va ser més pronunciada en el tractament 3R-6B, ja que es va observar una recuperació dels valors durant la tardor-hivern i es produir un nou ajust osmòtic l'estiu següent. En canvi, en el tractament 6R-3B, després de l'ajust osmòtic de l'estiu del 96, no va recuperar els valors de Ψ_n^{100} (Figura 5.4.7.A i Taula 5.4.9).

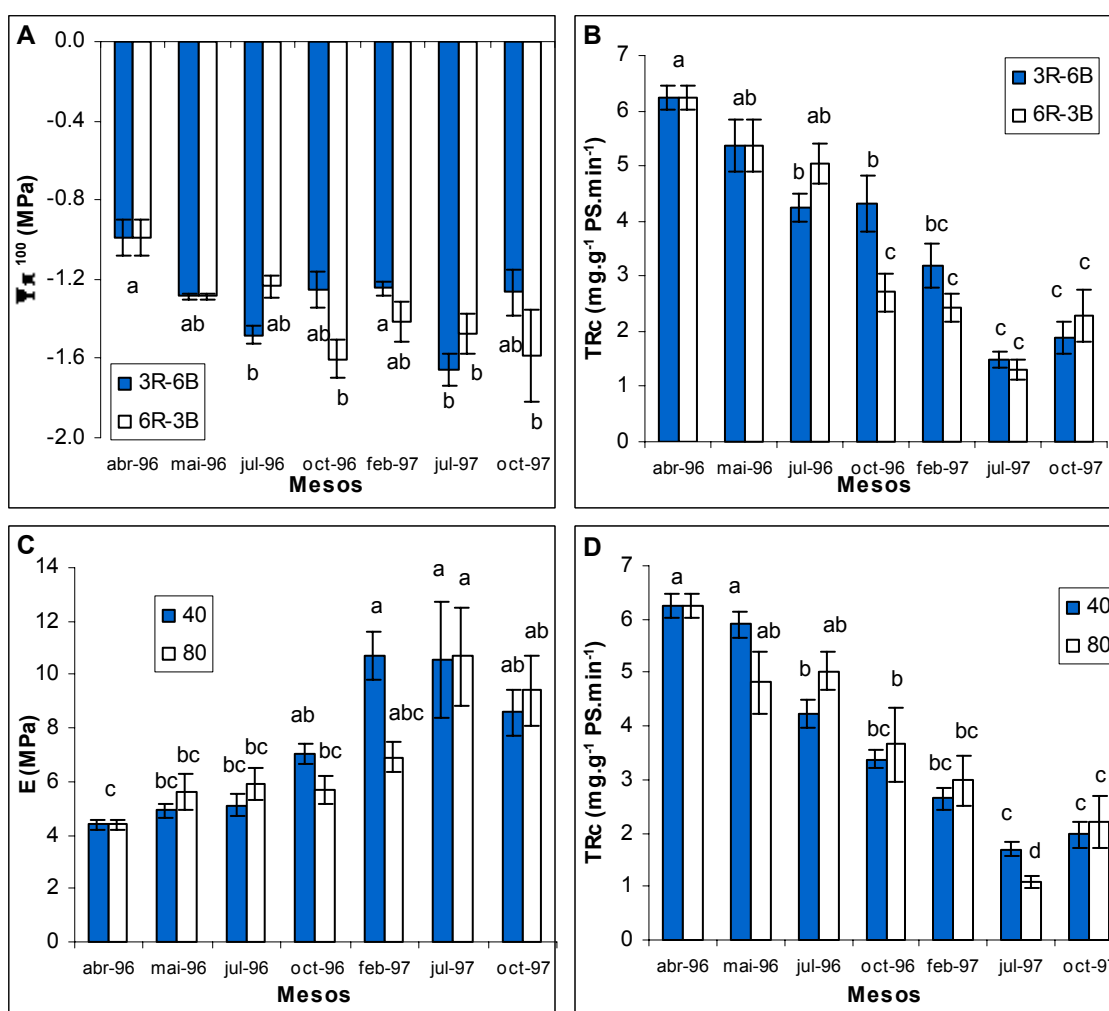


Figura 5.4.7. Evolució dels paràmetres derivats de les corbes pressió volum per al romaní al llarg de l'assaig de competència romaní-boix ($n = 10$): (A) potencial osmòtic a turgència (Ψ_n^{100}), i (B) transpiració cuticular (Trc), segons tractament de densitat; (C) mòdul elàstic (ϵ), i (D) transpiració cuticular (Trc) segons tractament de profunditat del substrat. Barres amb diferent lletra, difereixen significativament amb $p \leq 0,05$.

L'evolució del Ψ_n^0 , mostra disminucions significatives d'aquest paràmetre que van permetre mantenir la turgència cel·lular a potencials hídrics foliars baixos, com a mecanisme específic de tolerància a l'estrès.

L'enduriment de les cutícules i la rigització de les parets cel·lulars va ser progressiva, disminuint significativament la transpiració cuticular (Trc) i augmentant el mòdul elàstic (ϵ) amb el temps (Figura 5.4.7.B, C i D), sense que s'observés ajust elàstic en cap tractament com a mecanisme de tolerància.

Taula 5.4.9. Evolució dels paràmetres derivats de les corbes pressió-volum (P-V) del romaní en l'assaig de competència romaní-boix, segons densitat de plantes (D: 3R-6B i 6R-3B) i profunditat dels substrat (P: 40 i 80 cm) Paràmetres de les corbes P-V: potencial osmòtic a saturació (Ψ_n^{100} , en MPa), potencial osmòtic a pèrdua de turgència (Ψ_n^0 , en MPa), mòdul d'elasticitat (ϵ , en MPa) i transpiració cuticular (Trc, en $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). Mitjanes (n=5) seguides de diferent lletra, difereixen significativament amb $p \leq 0,05$.

Paràmetre	Factor		Data de mostreig						
	P	D	Abril-96	Maig-96	Juliol-96	Oct-96	Febrer-97	Juliol-97	Oct-97
Ψ_n^{100}	40	3R-6B			-1,43 b	-1,45 ab	-1,24	-1,60	-1,34
	40	6R-3B		-1,28	-1,36 b	-1,52 b	-1,36	-1,48	-1,32
	80	3R-6B	-0,99		-1,53 b	-1,05 a	-1,26	-1,72	-1,19
	80	6R-3B		-1,30	-1,11 a	-1,68 b	-1,47	-1,48	-1,85
		P		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
		D			0,001	0,008	n.s.	n.s.	n.s.
		PxD			0,009	0,026	n.s.	n.s.	n.s.
Ψ_n^0	40	3R-6B			-1,77 b	-1,80 ab	-1,39	-2,06	-1,84
	40	6R-3B		-1,51	-1,72 b	-1,79 ab	-1,59	-1,83	-1,66
	80	3R-6B	-1,17		-1,80 b	-1,45 a	-1,67	-2,16	-1,51
	80	6R-3B		-1,51	-1,39 a	-2,09 b	-1,77	-2,01	-2,29
		P		n.s.	0,026	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
		D			0,002	0,012	n.s.	n.s.	n.s.
		PxD			0,011	0,010	n.s.	n.s.	n.s.
ϵ	40	3R-6B			5,01	7,62 a	11,26	9,52	7,12
	40	6R-3B		4,92	5,23	6,46 ab	10,16	11,59	10,07
	80	3R-6B	4,40		6,98	4,63 b	6,81	13,18	8,61
	80	6R-3B		5,62	4,89	6,78 a	6,99	8,23	10,19
		P		n.s.	n.s.	0,018	0,003	n.s.	n.s.
		D			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
		PxD			n.s.	0,005	n.s.	n.s.	n.s.
Trc	40	3R-6B			4,46 b	3,04 b	2,94	1,66	2,06
	40	6R-3B		5,90	4,02 b	3,70 b	2,34	1,74	1,88
	80	3R-6B	6,24		4,00 b	5,60 a	3,44	1,30	1,72
	80	6R-3B		4,82	6,04 a	1,72 c	2,52	0,88	2,68
		P		n.s.	0,015	n.s.	n.s.	0,004	n.s.
		D			0,013	<0,001	n.s.	n.s.	n.s.
		PxD			<0,001	<0,001	n.s.	n.s.	n.s.

La major autocompetència del romaní al augmentar la seva densitat de plantes, va comportar un major enduriment de les cutícules i menor Trc en els tractaments 6R-3B els mostrejors d'octubre-96 i febrer-97 (Figura 5.4.7.B). La rigització de les parets cel·lulars va tenir lloc de forma més ràpida en el sòl de 40 cm durant el període de major creixement (mostrejors d'octubre-96 i febrer-

97), si bé els mòduls s'igualen entre tractaments al final de l'assaig (Figura 5.4.7.C i Taula 5.4.9).

5.4.4. Discussió.

Al llarg de l'assaig el boix es va desenvolupar molt lentament, però el seu creixement i producció va ser indiferent a la densitat de plantes. En canvi, el romaní es va desenvolupar menys a la densitat 6R-3B que a 3R-6B, és a dir, al disminuir la densitat de boix i augmentar la de romaní (Taula 5.4.7), indicant que l'augment de plantes de boix no va tenir un efecte supressiu sobre el creixement del romaní i que es va produir una forta autocompetència del romaní al augmentar la seva densitat.

El baix RGR del boix, es pot interpretar com una baixa habilitat competitiva, atesa la seva baixa capacitat per afectar els veïns a través de l'exhauriment de recursos (Grime, 1977 i 1979; Goldberg, 1990; Chapin *et al.*, 1993; Ungar, 1998). No obstant, segons altres teories sobre la competència (Tilman, 1988; Goldberg, 1990 i 1997; Grace, 1990), un baix RGR no està necessàriament associat amb una pobre habilitat competitiva. Pel contrari, la manca d'efecte de la densitat del romaní en el creixement del boix, pot indicar una alta tolerància del boix pels veïns i una resposta en l'habilitat per competir (Howard i Goldberg, 2001; Novoplansky i Goldberg, 2001).

La comparació del creixement total de la part aèria del romaní entre els tractaments de densitat de la combinació romaní-boix, és un indicador de la competència intraespecífica del romaní (Taula 5.4.10), que es va veure fortament influenciada per la diferència de mida entre les dues espècies.

La magnitud de la competència intraespecífica relativa del romaní, va dependre de la disponibilitat de recursos (profunditat del substrat), ja que l'efecte supressiu del creixement va ser del 50,7% a profunditat 40, mentre que a profunditat 80 va ser tant sols del 4,5% (Taula 5.4.10). En les condicions de l'assaig, el substrat de menor profunditat (40 cm), va mostrar en general un potencial productiu més elevat que el substrat més profund (80 cm), degut al diferent repartiment de l'aigua en el perfil. En aquest sentit, els resultats de competència intraespecífica del romaní, encaixarien amb el model C-S-R ("Competition-Stress-Ruderal") sobre la competència (Grime, 1977; Campbell *et al.*, 1991), en el qual es fa la hipòtesi que la intensitat de la competència augmenta amb l'augment de la productivitat de l'hàbitat. Aquest model seria

sobretot aplicable quan les diferències de productivitat són degudes a la disponibilitat de recursos hídrics (Goldberg i Novoplanski, 1997).

Taula 5.4.10. Assaig de competència romaní-boix: relació en % entre el pes sec de la part aèria de romaní a les dues densitats de plantes, segons la profunditat del substrat (40 i 80 cm), com a paràmetre indicatiu de la magnitud de la competència intraespecífica del romaní.

Profunditat del substrat (cm)	Pes sec de la part aèria del romaní, segons densitat de plantes (g)				Relació en % [(A)-(B)/(A)] X100
	3R-6B (A)		6R-3B (B)		
	Mitjana ± se	n	Mitjana ± se	n	
40	276,18 ± 35,65	12	136,08 ± 19,34	24	50,7
80	179,67 ± 32,58	12	171,52 ± 44,05	24	4,5

En la combinació romaní-lavanda, la lavanda va presentar una major habilitat competitiva, que es va manifestar en una forta supressió de tots els paràmetres de producció i creixement del romaní (Taula 5.4.2). En relació al boix, l'efecte supressiu de la lavanda sobre el creixement del romaní, es mostra a la Taula 5.4.11, segons l'abundància de plantes i profunditat del substrat assajada, i dóna idea de la magnitud de la competència interespecífica romaní-lavanda.

Taula 5.4.11. Relació en % entre el pes sec de la part aèria de romaní de l'assaig romaní-lavanda respecte del de l'assaig romaní-boix, segons la densitat de plantes i la profunditat del substrat (40 i 80 cm), com a paràmetre indicatiu de la magnitud de la competència interespecífica romaní-lavanda.

Profunditat del substrat (cm)	Pes sec de la part aèria del romaní, segons densitat de plantes (g)				Relació en % [(A)-(B)/(A)] X100
	3R-6B (A)		3R-6L (B)		
	Mitjana ± se	n	Mitjana ± se	N	
40	276,18 ± 35,65	12	32,74 ± 3,94	12	88,2
80	179,67 ± 32,58	12	24,78 ± 2,94	12	86,2
	6R-3B (A)		6R-3L (B)		
	Mitjana ± se	n	Mitjana ± se	N	
	40	136,08 ± 19,34	24	51,41 ± 5,19	
80	171,52 ± 44,05	24	42,94 ± 4,06	24	75,0

L'efecte supressiu de la lavanda sobre la producció de biomassa aèria del romaní va dependre de la densitat de plantes, ja que va ser més gran a major abundància de plantes de plantes de lavanda (Taula 5.4.4 i Taula 5.4.11). En general, s'ha observat una relació positiva entre l'habilitat per competir i l'abundància (Mitchley i Grubb, 1986; Miller i Werner, 1987; Aplet i Laven, 1993), encara que aquesta relació depèn de la variable mesurada (Gurevitch, 1986; De Steven, 1991 a i b).

D'acord amb els continguts d'aigua del substrat abans de regar (Taula III.2, annex III), la major abundància de plantes de lavanda va comportar un major exhauriment de l'aigua en el perfil a les dues profunditats del substrat assajades. En el substrat de 80 cm, aquest exhauriment es va produir sobretot en la franja

de 30-60 cm. La competitivitat de la lavanda va anar lligada a la seva capacitat per exhaurir el recurs aigua del substrat.

L'habilitat competitiva de la lavanda no va dependre de la disponibilitat de substrat disponible, ja que la supressió del creixement de romaní va ser similar a les dues profunditats de substrat (Taula 5.4.11). Per tant, els resultats de la combinació romaní-lavanda recolzarien el model de competència pels recursos de Tilman (1982), segons el qual la intensitat de la competència no es veu afectada per la productivitat de l'hàbitat.

La lavanda va presentar la majoria de les característiques o atributs que, segons Gaudet i Keddy (1988), estan fortament correlacionats amb l'habilitat d'una espècie per suprimir el creixement dels veïns. Segons aquests autors aquestes característiques són: magnitud de la biomassa de la part aèria, seguit de biomassa total i biomassa radical; i secundàriament l'alçada de la planta, diàmetre del dosel vegetal (cobertura), àrea foliar i forma de les fulles.

El pes sec de la part aèria (tiges i fulles), l'àrea foliar i cobertura del substrat, van ser, entre els paràmetres mesurats, els que major diferències van presentar entre lavanda i romaní, i en menor mesura l'alçada. Per tant, aquests són els paràmetres que major consistència o relació van tenir amb l'habilitat competitiva de la lavanda. Aquestes característiques són sovint bones indicadores de l'habilitat per competir d'una espècie quan la competència per la llum esdevé important (Weiner i Thomas, 1986; Bazzaz *et al.*, 1989; Reekie i Bazzaz, 1989; Grace *et al.*, 1992), encara que no sempre, ja que en ocasions s'ha observat que l'arquitectura de la planta és millor indicadora que la seva mida en la capacitat per suprimir els veïns (Tremmel i Bazzaz, 1993; Wilson, 1994). La lavanda, a més de presentar un major i més ràpid creixement de la part aèria que el romaní, aquest creixement va ser de tipus postrat, colonitzant eficientment l'espai aeri, mentre que el del romaní va créixer en vertical.

Per la seva part, el creixement i producció de la lavanda no es van veure suprimits per l'abundància del seu veí. Al contrari, la lavanda va presentar un major pes sec de les tiges a major abundància de romaní (6R-3L), que li va permetre un augment en el percentatge de cobertura del substrat per planta de lavanda amb la mateixa àrea foliar. Aquest comportament indica plasticitat en el patró de creixement i modificacions en l'arquitectura de la lavanda en funció dels canvis en la densitat de plantes. Aquesta és una de les característiques que, segons Grime i Hogson (1987), confereixen una alta habilitat per competir.

Tant en romaní com en lavanda es van observar variacions estacionals de tots els paràmetres derivats de les corbes P-V. Aquestes variacions poden resultar de la pròpia ontogènia de les plantes, és a dir, dels ajustaments cel·lulars derivats de l'elongació i maduració dels teixits (Hincley *et al.*, 1980; Davis i Mooney, 1986), i/o dels ajustos cel·lulars en resposta a la deshidratació dels teixits durant els períodes de màxim estrès hídric (Nunes *et al.*, 1989; Tognetti *et al.*, 2000). Els canvis en les relacions hídriques es van produir en les dues espècies sobretot coincidint amb les èpoques de major dèficit hídric, de la qual cosa se'n dedueix que van ser deguts a condicions ambientals. Molt probablement, també hi va haver una contribució de la ontogènia de les plantes, tenint en compte que les mostres (brots terminals) podien contenir teixits heterogenis de diferents estadis de desenvolupament.

En l'assaig de competència romaní-lavanda, la variació estacional dels paràmetres derivats de les corbes P-V va dependre de l'espècie, però també es van observar diferències entre tractaments de densitat i profunditat del substrat depenent de la data de mostreig i de l'espècie (Taula III.6, annex III).

Tant el romaní com la lavanda van desenvolupar mecanismes de tolerància i d'evitació a les pèrdues d'aigua, observant-se ajust osmòtic estival i disminució de la Trc en ambdues espècies.

La disminució del Ψ_n^{100} per mantenir la turgència cel·lular, va ser més ràpida i més intensa en el romaní, i amb poques oscil·lacions després de l'ajust estival. El mòdul elàstic va anar augmentant de forma progressiva al llarg de l'assaig.

En canvi, en la lavanda es va observar una major variació estacional dels valors de Ψ_n^{100} , i les disminucions de d'aquest paràmetre, van anar acompanyades d'augmentos molt sobtats del mòdul elàstic. L'augment en la rigidesa de les parets cel·lulars realça els efectes d'un ajust osmòtic (Jones i Turner, 1978; Hincley *et al.*, 1983), ja que és un avantatge per a l'estalvi d'aigua (Tyree, 1999), i es considera un mecanisme de resistència a la sequera (Melkonian *et al.*, 1982; Schonfeld *et al.*, 1988).

Les variacions tant sobtades del mòdul elàstic de la lavanda, coincidents les disminucions de ϵ amb els augmentos del potencial osmòtic a turgència i pèrdua de turgència i amb els augmentos de la Trc, fan pensar que la lavanda posseeix fulles de gran plasticitat tant morfològica com fisiològica, o bé és dimòrfica, presentant fulles d'estiu i d'hivern amb diferent tolerància fisiològica a l'estrès hídric (Gramatikopoulos, 1999). La hipòtesi sobre el dimorfisme hauria de ser contrastada mitjançant estudis de demografia foliar. En qualsevol cas, aquest

comportament de plasticitat morfològica en la diferenciació de fulles, és una de les característiques que confereixen una alta capacitat competitiva (Grime i Hodgson, 1987).

5.4.5. Conclusions.

- 1) En les combinacions romaní-boix, el boix es va desenvolupar molt lentament i no va tenir un efecte supressiu sobre el creixement i producció del romaní, però també va mostrar una alta tolerància pels veïns, ja que el seu creixement no es va veure afectat per l'augment de la densitat de romaní.
- 2) En les combinacions romaní-boix, es va produir una forta autocompetència del romaní ja que el seu creixement i producció va ser invers a l'augment de la seva densitat. La magnitud de l'autocompetència va dependre de la profunditat del substrat, sent molt més gran en el substrat de menor profunditat (40 cm), que va mostrar, en general, un potencial productiu més elevat.
- 3) En les combinacions romaní-lavanda, la lavanda es va mostrar molt més competitiva al exercir una forta supressió de tots els paràmetres de creixement i producció del romaní. L'efecte supressiu de la lavanda sobre el romaní, va dependre de l'abundància de plantes de lavanda, i va anar lligada a una major capacitat per exhaurir l'aigua del substrat. No es van observar diferències de capacitat per competir de la lavanda segons la profunditat del substrat.
- 4) Les característiques morfològiques i productives mesurades de la lavanda que li van conferir, en relació al romaní, una alta habilitat competitiva, van ser les següents:
 - a) Major pes sec de la part aèria (tiges i fulles), major àrea foliar i cobertura del substrat i, en menor mesura, l'alçada de la planta.
 - b) Creixement de tipus postrat, amb una eficient colonització de l'espai aeri.
 - c) Plasticitat en el patró de creixement en funció dels canvis de densitat de plantes, ja que a menor densitat de la lavanda (6R-3L), es va observar un increment en el pes sec de les tiges, que li va permetre, amb la mateixa àrea foliar, doblar el percentatge de recobriment per planta.
- 5) Es van observar diferències en les variacions estacionals dels paràmetres derivats de les corbes pressió-volum segons l'espècie i segons el competidor. Els tractaments de densitat i de profunditat del substrat, també van

comportar diferències en aquests paràmetres depenent de la data de mostreig i de l'espècie competidora.

- 6) Es van detectar diferències en l'evolució de les relacions hídriques del romaní depenent del competidor. En presència de lavanda, el romaní va adoptar una estratègia més conservadora, realitzant ajust osmòtic el primer estiu i mantenint posteriorment el potencial osmòtic constant. En canvi, en presència de boix, el romaní va mostrar majors oscil·lacions de potencial osmòtic, realitzant ajustos estivals. El mòdul elàstic va augmentar de forma progressiva al llarg de l'assaig, augmentant amb l'edat de la planta sense canvis estacionals i mostrant el mateix comportament segons el competidor.
- 7) El comportament de lavanda respon possiblement a una estratègia optimista, ja que només es van observar ajustos osmòtics en els moments de màxim estrès. Les disminucions de potencial osmòtic, van anar acompanyades d'augmentos sobtats del mòdul elàstic, realçant els efectes de l'ajust osmòtic.

Les variacions sobtades del mòdul elàstic de la lavanda, fan pensar que, o bé posseeix fulles de gran plasticitat tant morfològica com fisiològica o bé és dimòrfica, presentant fulles d'estiu i d'hivern amb diferent tolerància fisiològica a l'estrès hídric. En qualsevol cas, aquest comportament de plasticitat morfològica en la diferenciació de fulles, és una de les característiques que confereixen una alta capacitat competitiva.

- 8) La profunditat del substrat va comportar diferències de creixement de les plantes de totes les espècies, sent el substrat de menor profunditat el que va mostrar un potencial productiu més elevat. Aquestes diferències es va manifestar en el creixement en alçada, en el diàmetre i pes sec de les tiges i, per al boix, en l'àrea foliar. El substrat de menor profunditat també va comportar major pes específic foliar per a romaní i lavanda, indicant que en aquest tractament es van produir, almenys puntualment, condicions de major estrès hídric.