



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola d'Enginyeria Agroalimentària
i de Biosistemes de Barcelona

ÚS DE MICORRIZES EN EL CULTIU D'API (*Apium graveolens*): Alternativa de maneig per una reducció de fertilitzants i d'aigua

Treball de final de grau

Enginyeria de Ciències Agronòmiques

Autor: Pol Battestini Vives

Tutores: Carme Biel Loscos i Nuria Carazo Gómez

8 de juliol de 2022

Resum

La majoria d'espècies hortícoles conreades són hostes potencials dels fongs micorrízics arbusculars. Aquests fongs es desenvolupen a l'interior de les arrels de les plantes i estableixen una relació simbiòtica mutualista que permet una major tolerància a estrès hídric i salí per a la planta.

Aquest treball està emmarcat en una Activitat de Demostració de Transferència Tecnològica, finançada a través de l'Operació 01.02.01 de Transferència Tecnològica del Programa de desenvolupament rural de Catalunya 2014-2020. Aquesta activitat té per objectiu demostrar la reducció de fertilitzants i aigua gràcies a la inoculació amb fongs micorrízics en cultius d'horta. Les activitats s'han dut a terme en les instal·lacions de l'IRTA del centre de Cabrils (Barcelona). L'assaig d'aquest treball ha estat el quart cultiu d'una rotació de porro, carbassó i mongeta. L'espècie utilitzada ha estat l'api (*Apium graveolens*) i dos inòculs de micorrizes – inòcul IRTA i inòcul comercial - comparats amb plantes no micorrizades. S'ha estudiat la resposta de les plantes micorrizades en condicions de menor disponibilitat d'aigua i fertilitzants i el seu impacte en la producció i qualitat.

En general, no hi ha diferències significatives entre el control i els tractaments micorrizats pel que fa a pes fresc i pes sec de la part aèria, contingut d'aigua de les fulles i pes sec d'arrel. Si que hi ha diferències significatives en els tractaments micorrizats entre reg òptim i reg deficitari per als diferents paràmetres analitzats. Els índexs de biomassa mostren que en reg deficitari les plantes han invertit més en un desenvolupament radicular, però el rendiment (pes fresc comercial de la part aèria) ha sigut inferior en comparació al reg òptim. Els tractaments micorrizats no mostren un augment de producció de l'api. Les micorrizes no han generat cap diferència significativa en el contingut de nutrients del sòl després del cultiu d'api, ni en la zona de fertirrigació òptima ni en la zona on s'ha fertirrigat un 25% menys.

Resumen

La mayoría de especies hortícolas cultivadas son huéspedes potenciales de los hongos micorrízicos arbusculares. Estos hongos se desarrollan en el interior de las raíces de las plantas y establecen una relación simbiótica mutualista que permite una mayor tolerancia a estrés hídrico y salino para la planta.

Este trabajo está enmarcado en una Actividad de Demostración de Transferencia Tecnológica, financiada a través de la Operación 01.02.01 de Transferencia Tecnológica del Programa de desarrollo rural de Cataluña 2014-2020. Esta actividad tiene por objetivo demostrar la reducción de fertilizantes y agua gracias a la inoculación con hongos micorrízicos en cultivos de huerta. Las actividades se han llevado a cabo en las instalaciones del IRTA del centro de Cabrils (Barcelona). El ensayo de este trabajo ha sido el cuarto cultivo de una rotación de puerro, calabacín y judía. La especie utilizada ha sido apio (*Apium graveolens*) y dos inóculos de micorrizas - inóculo IRTA e inóculo comercial - comparados con plantas no micorrizadas. Se ha estudiado la respuesta de las plantas micorrizadas en condiciones de menor disponibilidad de agua y fertilizantes y su impacto en la producción y calidad.

Por lo general, no existen diferencias significativas entre el control y los tratamientos micorrizados en cuanto a peso fresco y peso seco de la parte aérea, contenido de agua hojas y peso seco de raíz. Si que existen diferencias significativas en los tratamientos micorrizados entre riego óptimo y riego deficitario para los diferentes parámetros analizados. Los índices de biomasa muestran que en riego deficitario las plantas han invertido más en el desarrollo radicular, mientras que el rendimiento (peso fresco comercial de la parte aérea) ha sido inferior con respecto al riego óptimo. Los tratamientos micorrizados no muestran un aumento de producción del apio. Las micorrizas no han generado diferencia significativa alguna en el contenido de nutrientes del suelo después del cultivo de apio, ni en la zona de fertirrigación óptima ni en la zona donde se ha fertirrigado un 25% menos.

Abstract

Most cultivated horticultural species are potential hosts for arbuscular mycorrhizal fungi. These fungi develop inside the roots of plants and establish a mutualistic symbiotic relationship that allows greater tolerance to water and salt stress for the plant.

This project is part of a Technology Transfer Demonstration Activity, funded through Operation 01.02.01 Technology Transfer of the Rural Development Program of Catalonia 2014-2020. This activity aims to demonstrate the reduction of fertilizers and water thanks to inoculation with mycorrhizal fungi in vegetable crops. The activities took place at the IRTA facilities in Cabrils (Barcelona). The trial of this work has been the fourth crop of a rotation of leeks, zucchini and beans. The species used was celery (*Apium graveolens*) and two mycorrhizal inocula - IRTA inoculum and commercial inoculum - compared to non-mycorrhizal plants. The response of mycorrhizal plants in conditions of lower availability of water and fertilizers and their impact on production and quality have been studied.

In general, there are no significant differences between control and mycorrhizal treatments in terms of fresh weight and dry weight of aerial part, water content of leaves and dry weight of root. There are significant differences in mycorrhizal treatments between optimal irrigation and deficit irrigation for the different parameters analysed. Biomass indices show that in deficit irrigation the plants have invested in greater root development, but yield (fresh commercial weight of the aerial part) has been lower than in optimal irrigation. Mycorrhizal treatments do not show an increase in celery production. Mycorrhizae have not caused any significant difference in the nutrient content of the soil after celery cultivation, nor in the area of optimal fertigation, nor in the area where 25% less has been fertilized.

Sumari

ÍNDIX DE FIGURES.	6
ÍNDIX DE TAULES	7
SÍMBOLS I ACRÒNIMS	8
AGRAÏMENTS	9
1. INTRODUCCIÓ	10
1.1. Justificació de la necessitat	11
1.2. Context actual	13
1.3. Abast del treball	13
2. OBJECTIUS	14
3. MATERIALS I MÈTODES	15
3.1. Descripció de la zona d'estudi.....	15
3.1.1. Clima	15
3.1.2. Sòl de la parcel·la abans del cultiu d'api	16
3.2. Disseny experimental	17
3.2.1. Rotació.....	17
3.2.2. Disseny de la parcel·la	17
3.2.3. Reg.....	19
3.3. Accions i observacions al llarg del cultiu.....	20
3.4. Recollida i maneig de mostres	21
3.4.1. Biomassa.....	21
3.4.2. Sòls.....	22
3.5. Càlcul dels índex de biomassa.....	22
3.6. Descripció del mètode estadístic	23
4. RESULTATS	24
4.1. Condicions durant el cultiu	24
4.2. Biomassa i producció comercial.....	25
4.2.1. Biomassa de la part aèria	26
4.2.2. Contingut de matèria seca de les fulles	28
4.2.3. Biomassa radicular	28
4.2.4. Índex de biomassa.....	29

4.3.	Paràmetres del sòl.....	30
5.	DISCUSSIÓ	33
5.1.	Biomassa i producció comercial.....	33
5.2.	Paràmetres del sol.....	35
6.	CONCLUSIONS	37
7.	BIBLIOGRAFIA	38
	Referències bibliogràfiques	38

Índex de figures.

Figura 1-1. Zones vulnerables per nitrats a Catalunya Font: ACA (2021)	12
Figura 3-1. Rotació dels cultius hortícoles porro, carbassó, mongeta i api plantejada per a l'estudi.	17
Figura 3-2. Organització dels blocs de cultiu d'api en funció del tipus d'inoculació.	18
Figura 3-3. Marc de plantació. 5 plantes per metre quadrat.	18
Figura 3-4. Recta de regressió de la Kc en desenvolupament (esquerre) i recta de regressió de la Kc final (dreta).	19
Figura 4-1. Comparació de pes fresc comercial entre el factor reg i factor micorriza. Control=no micorrizat, BEG=micorriza IRTA, MC = micorriza comercial. RE= reinoculat. Les barres son la mitjana de N=30 valors \pm error estàndard. Barres amb lletres diferents son significativament diferents.	26
Figura 4-2. Comparació del pes fresc total entre tractaments del factor Micorriza. Les barres son la mitjana de N=60 valors \pm error estàndard. Barres amb lletres diferents son significativament diferents.	27
Figura 4-3. Comparació del pes sec total entre tractaments del factor Micorriza. Les barres son la mitjana de N=60 valors \pm error estàndard. Barres amb lletres diferents son significativament diferents.	27
Figura 4-4. Comparació del percentatge de pes sec en relació al pes fresc entre regs OP i DEF de cada tractament.	28
Figura 4-5. Comparació del pes sec de l'arrel entre el factor regi factor micorriza .	28
Figura 4-6. Comparació del magnesi en matèria seca entre reg òptim i deficitari.	31

Índex de taules

Taula 3-1. <i>Característiques químiques del sòl abans del cultiu d'api. Els valors són la mitjana de les tres repeticions de cada tractament.</i>	16
Taula 3-2. <i>Característiques químiques del sòl abans del cultiu d'api. Els valors són la mitjana de tots els tractaments.</i>	16
Taula 3-3. <i>Variacions de la Kc al llarg dels dies de cultiu. Font: FAO 56</i>	19
Taula 3-4. <i>Dosis dels compostos de la solució nutritiva.</i>	20
Taula 4-1. <i>Valors mitjans de cada mes de: temperatura i humitat relativa. Font: Ruralcat.</i>	24
Taula 4-2. <i>Nutrients aportats pel reg.</i>	24
Taula 4-3. <i>Quantitat d'aigua aportada per reg i pluja.</i>	24
Taula 4-4. <i>P valor de l'ANOVA pels factors principals (reg i micorriza) i la seva interacció. Els p valors significatius estan ressaltats en negreta.</i>	25
Taula 4-5. <i>Índex de biomassa dels tractaments.</i>	29
Taula 4-6. <i>Resultats de l'anàlisi dels ions del sòl per tractaments després del cultiu.</i>	30
Taula 4-7. <i>Taula del p valor de l'ANOVA de models mixtes amb reg i micorrizes i la seva interacció. P valor significativament diferent està marcat en negreta</i>	31
Taula 4-8. <i>Resultats de l'anàlisi dels ions del sòl per tipus de reg abans del cultiu.</i>	32
Taula 4-9. <i>Resultats de l'anàlisi dels ions del sòl per tipus de reg després del cultiu.</i>	32
Taula 5-1. <i>Classificació comercial de l'api segons el pes. Font: BOE.</i>	33
Taula 5-2. <i>Taula d'interpretació de nivells de Mg al sòl. Font: Villar Mir i Villar Mir (2016).</i>	36

Símbols i acrònims

G.O.	Grups operatius.
MA	Micorrizes arbusculars.
MC	Micorrizes comercials.
MBeg	Micorrizes IRTA.
C	Control.
OP	Òptim.
DEF	Deficitari.
RE	Reinoculat.
M.O.	Matèria orgànica.
Kc	Coefficient del cultiu.
ET0	Evapotranspiració de referència.
ETc	Evapotranspiració del cultiu.
CE	Conductivitat elèctrica.
C. orgànic	Carboni orgànic.
NO3	Nitrat.
P	Fòsfor.
N	Nitrogen.
K	Potassi.
Mg	Magnesi.
Ca	Calci.
Na	Sodi.

Agraïments

En especial a les meves tutores Carme Biel i Nuria Carazo per la seva ajuda, paciència i dedicació.

També a tots els companys i companyes de l'IRTA que m'han prestat la seva ajuda, instruint-me i fent-me sentir integrat durant tot el procés.

Als meus companys de classe amb qui he pogut compartir experiències del treball i hem intercanviat consells i coneixements.

1. Introducció

El terme micorriza es va proposar l'any 1885 per tal de descriure un fenomen observat en les arrels de certs arbres. El sistema radicular era d'una morfologia diferent quan estava associat a un fong del sòl; és d'aquí d'on prové el nom, que significa arrel fungosa (Aguilera Gómez et al., 2006).

En investigacions posteriors es va mostrar que aquest tipus d'associacions es troben en la gran majoria dels vegetals. Aquesta simbiosi s'ha trobat en el 95% de les plantes estudiades. L'associació de les micorrizes amb les plantes és present des de fa 400 milions d'anys (Plenchette *et al.*, 2005).

Les micorrizes es classifiquen en cinc grups diferents segons criteris morfològics, anatòmics i sistemàtics, tant de les plantes com dels fongs: ectomicorizes, micorrizes ericoides, micorriza orquideoide, ectoendomicorizes i micorrizes arbusculars o també anomenades endomicorizes.

L'associació de fong i arrel més abundant és la del tipus micorriza arbuscular, que colonitza intercel·lularment l'escorça de l'arrel produint unes estructures en forma de vesícules o d'arbuscles que actuen com a òrgans d'intercanvi de nutrients entre la cèl·lula i l'hoste. Avui en dia trobem aquesta simbiosi en el 85% de les plantes; és present tant en plantes silvestres com en espècies cultivades.

La majoria d'espècies hortícoles conreades són hostes potencials dels fongs micorrízics arbusculars. Aquests fongs es desenvolupen a l'interior de les arrels de les plantes i estableixen una relació simbiòtica del tipus mutualista. La planta proporciona hidrats de carboni al fong i el fong facilita l'absorció i transport de nutrients i aigua situats a la rizosfera, la qual cosa permet una major tolerància a estrès hídric i salí. També indueix la resistència/tolerància a malalties ocasionades per organismes fitopatògens. Tots aquests beneficis fan que les plantes micorrizades puguin ser més resilents, és a dir amb capacitat de resistir els efectes del canvi climàtic com la sequera i l'empobriment dels sòls (Aguilera Gómez et al., 2006).

La utilització de plantes micorrizades en explotacions hortícoles comercials és baixa degut a que la resposta depèn de la combinació planta/fong, a les característiques del sòl i a que el cost-benefici no ha estat contrastat. És per això que calen activitats de demostració aplicades a les varietats hortícoles per poder donar a conèixer els beneficis del seu ús.

En el projecte on s'emmarca aquest treball es vol donar a conèixer les millores en producció i qualitat de diferents espècies hortícoles per la combinació de l'ús de micorrizes i la reducció d'aigua i fertilitzants.

1.1. Justificació de la necessitat

Assegurar l'alimentació d'una població humana creixent, amb criteris de sostenibilitat i davant l'amenaça del canvi climàtic són els reptes principals de l'agricultura del segle XXI.

Entre els elements essencials per a la sostenibilitat del medi agrícola hi trobem la qualitat de l'aigua i el sòl i el manteniment de la biodiversitat.

La presència de compostos nitrogenats (especialment nitrats) és el problema de contaminació més important a les aigües subterrànies de Catalunya i, alhora, el principal responsable del mal estat de les seves masses d'aigua. L'excés de nitrats provoca el mal estat en un 41% de les masses d'aigua subterrànies a Catalunya (ACA, 2016). Aquest mateix comportament es repeteix a nivell europeu, on un 18% de les masses d'aigua subterrànies estan en mal estat a causa dels nitrats (EEA, 2020).

L'origen del nitrat en el medi pot ser divers, encara que s'atribueix principalment a les pràctiques relacionades amb l'activitat agrícola i ramadera, com són l'aplicació dels fertilitzants nítrics i amoniacals i l'abonat amb purins (ACA, 2018). La gestió de la contaminació per nitrats d'origen agrari està regulada per la Directiva de Nitrats (Directiva 91/676/CEE) i la seva transposició a través del Reial decret 261/1996, obliga els estats membres a identificar la qualitat de les aigües, a declarar vulnerables aquelles superfícies territorials on el drenatge pugui originar una contaminació per nitrats, bé sigui de les aigües subterrànies, epicontinentals o de les costaneres, i a aplicar les mesures de protecció necessàries.

Actualment, un 33,8% de la superfície total de Catalunya està declarada com a vulnerable a la contaminació per nitrats d'origen agrícola i afecta a 422 municipis, és a dir, un 45% de tots els municipis catalans (ACA, 2021).

Com podem observar al mapa de zones vulnerables de Catalunya (Figura 1-1), el Maresme, la comarca a on s'ha realitzat l'activitat de demostració, va ser classificada com a zona vulnerable des d'un inici i continua com a tal a la última revisió del 2015.

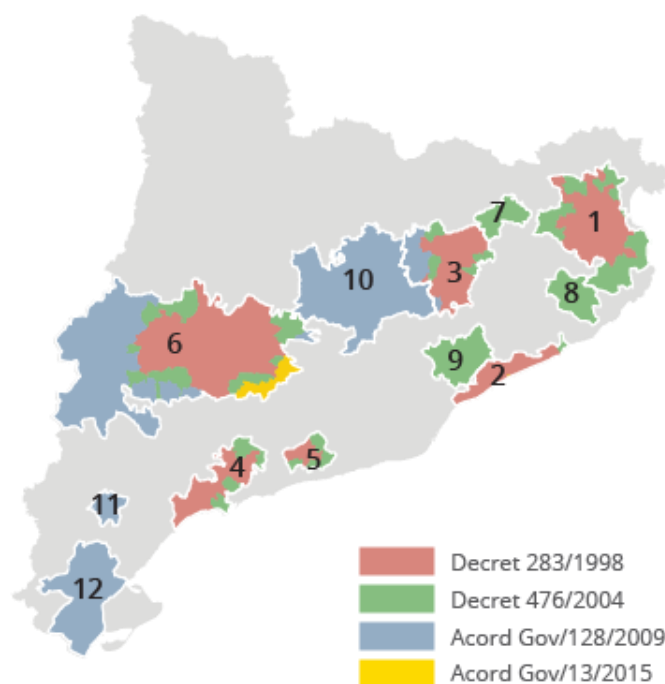


Figura 1-1. Zones vulnerables per nitrats a Catalunya Font: ACA (2021)

Un altre macronutrient present en el sòl on s'han aplicat fertilitzants tant orgànics com inorgànics de forma continuada és el fòsfor. En algunes zones, en el sòl hi ha un excés però pot estar immobilitzat degut al pH del mateix. Per això l'ús de plantes micorrizades ajuda a la seva assimilació per part de la planta (Aguilera Gómez et al., 2006).

L'aigua en condicions de ser utilitzada és un recurs escàs multi-demandat. De totes les demandes, l'agricultura, utilitza a Catalunya aproximadament el 70% de l'aigua gestionada. Aquest ús important de l'aigua disponible utilitzable per part de l'agricultura ha generat no poques incomprensions (Reguant, 2020).

1.2. Context actual

En el nou reglament de la UE (2019/1009) aprovat el juny de 2019 es consideren les micorrizes com a bioestimulants dels processos de nutrició de les plantes. Per a poder demostrar que tenen aquest efecte s'han de fer proves a nivell de parcel·la comercial amb diferents espècies i condicions edafoclimàtiques.

Amb aquest objectiu s'han dut a terme dos Grups Operatius pel grup de recerca que ha realitzat l'activitat en la que s'emmarca aquest treball. En el G.O. titulat "Integració de Recursos Biològics en la Producció Hortícoles" (2015-2017) es va estudiar la reducció de l'ús de fertilitzants amb la incorporació de fongs formadors de micorrizes arbusculars. Els resultats van ser que s'aconseguia la mateixa producció i qualitat amb menor aportació de N i P en cultius de tomàquet i ceba (IRTA, 2017). En el G.O. titulat "Gestió del reg i micorrizació en cultius hortícoles" (2018-2020), es va provar com la tecnologia de les micorrizes permet racionalitzar l'ús d'aigua i nutrients a partir de sensors d'humitat en el sòl en tomaquera (Fonts et al., 2020).

1.3. Abast del treball

La proposta de projecte de l'IRTA engloba realitzar un assaig demostratiu amb micorrizes per a una rotació de quatre espècies hortícoles. A partir dels resultats es té l'objectiu d'elaborar material tècnic que aglutini tota la informació necessària i relacionada amb la inoculació amb fongs micorrízics per a la reducció de fertilitzants i aigua en cultius d'horta i també la transferència al sector hortícola d'aquest material tècnic editat a través de fulletons i tríptics, i la difusió en jornades formatives pel sector. En aquest treball ens trobem en l'última hortícola de l'assaig, el cultiu d'api, i es compararan les diferències entre tipus d'inòcul i disponibilitat d'aigua i fertilitzants.

2. Objectius

L'objectiu general d'aquest treball és la demostració de la reducció de fertilitzants i aigua gràcies a la inoculació amb fongs micorrízics en un cultiu d'horta.

Per aconseguir aquest objectiu general, els objectius específics que es plantegen són els que es detallen a continuació:

1. Estudiar la resposta de la planta d'api inoculada amb dos inòculs de micorrizes – inòcul IRTA i inòcul comercial - comparat amb plantes no micorrizades.
2. Estudiar la resposta productiva de les plantes quan es combina la micorrizació i la menor disponibilitat d'aigua i fertilitzants .
3. Estudiar si es necessari inocular amb fongs micorrízics cada cultiu.

3. Materials i mètodes

3.1. Descripció de la zona d'estudi

Les activitats s'han dut a terme a les instal·lacions de l'IRTA del centre de Cabrils, Barcelona (Latitud 41°31'7"N, longitud 2°22'35"E).

3.1.1. Clima

Cabrils (Maresme) situat entre el Mar Mediterrani i la Serralada Litoral, té un clima típicament mediterrani, amb hiverns suaus i estius no excessivament calorosos, amb oscil·lacions tèrmiques molt petites, degut a la influència directa dels vents marítims. La temperatura mitjana anual se situa al voltant dels 16,5°C. Els estius són, en general, força suaus, amb màximes que de tant en tant superen els 30°C. Pràcticament durant tot l'estiu la temperatura a les nits no baixa dels 19°C. Els hiverns també són molt suaus i temperats, amb temperatures mínimes que gairebé mai baixen dels 0°C gràcies a la proximitat amb el mar. La humitat relativa mitjana anual és força elevada, al voltant del 75%. La precipitació mitjana anual se situa al voltant dels 600 mm, amb força irregularitat entre anys. Els mesos més plujosos són el setembre i l'octubre, i sovint també a finals d'agost, amb fortes tempestes. Els mesos més secs, amb precipitacions inferiors, són el gener, febrer, juny i juliol. La majoria de les precipitacions descarreguen amb intensitats elevades. La Serra protegeix dels vents freds del nord. Els vents dominants provenen de sud-est (SE) durant el dia. Durant la nit, per efecte tèrmic de les brises de vall, el vent bufa de nord, però amb baixa intensitat. La velocitat mitjana anual del vent és d'uns 10 km/h (Servei Meteorològic de Catalunya, 2019).

3.1.2. Sòl de la parcel·la abans del cultiu d'api.

Dins de la rotació d'horticoles plantejada per a l'estudi, un cop finalitzat el cultiu de mongeta, es va analitzar el sòl per tal de conèixer les característiques químiques de les parcel·les. Es va mesurar conductivitat elèctrica (CE), carboni orgànic, matèria orgànica (M.O.) oxidable, nitrogen nítric, fòsfor i magnesi abans d'iniciar el cultiu d'api. Es va prendre una mostra per parcel·la elemental i es va calcular la mitjana per cada tractament (Taula 3-1).

Taula 3-1. Característiques químiques del sòl abans del cultiu d'api. Els valors són la mitjana de les tres repeticions de cada tractament. MBeg = Micorrizes IRTA. MC = Micorrizes Comercials.

Reg	Micorrizes	C. orgànic (% s.m.s.)	M.O. oxidable (% s.m.s.)	NO ₃ ⁻ (mg/kg s.m.s.)	Mg (mg/kg s.m.s.)	P (mg/kg s.m.s.)	CE (dS/m)
Deficitari	MBeg	1,81	3,12	15,63	251,67	49,47	0,29
	MC	1,73	2,98	10,67	269,00	35,90	0,18
	Control	1,91	3,29	11,23	268,00	36,10	0,23
Òptim	MBeg	1,72	3,97	23,67	270,67	43,63	0,26
	MC	1,79	3,09	10,17	261,00	33,40	0,21
	Control	1,52	2,63	14,27	271,33	31,30	0,26

No hi va haver diferències significatives entre els dos nivells del factor reg ($P < 0,05$). En el factor micorrizes només hi va haver diferències significatives en el contingut de fòsfor (MBeg > MC i Control) i en el contingut de calci (MC < Control). S'ha fet la mitjana dels tractaments per a fer una diagnosi general (Taula 3-2):

Taula 3-2. Característiques químiques del sòl abans del cultiu d'api. Els valors són la mitjana de tots els tractaments.

C orgànic (% s.m.s.)	M.O. oxidable (% s.m.s.)	NO ₃ ⁻ (% s.m.s.)	Mg (% s.m.s.)	P (% s.m.s.)	CE (dS/m)
1,72	3,01	14,27	265,28	38,30	0,24
Alt	Alt	Deficiència lleugera	Alt	Alt	No limitant

La interpretació dels paràmetres del sòl s'ha fet gràcies a les taules de Villar Mir i Villar Mir (2016).

3.2. Disseny experimental

3.2.1. Rotació

En el projecte de demostració es va estudiar la rotació de 4 espècies hortícoles adequades a la comarca del Maresme. El primer cultiu va ser el porro d'octubre de 2020 a l'abril de 2021, seguit del carbassó d'abril de 2021 a juliol del 2021, seguit de la mongeta de juliol de 2021 a novembre de 2021 i finalment l'api plantat al més de febrer de 2022 i recollit al juny de 2022.

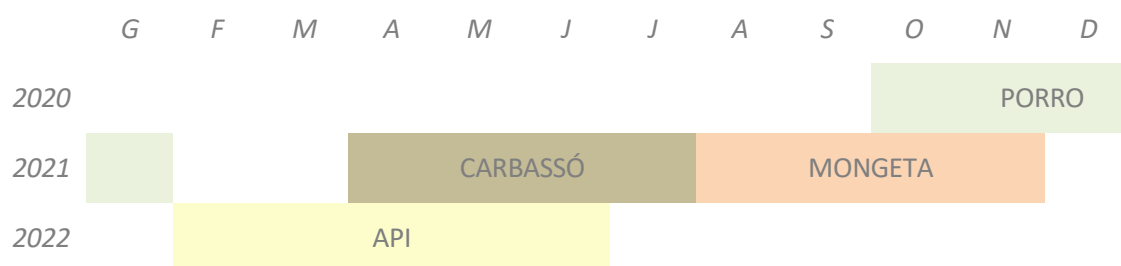


Figura 3-1. Rotació dels cultius hortícoles porro, carbassó, mongeta i api plantejada per a l'estudi.

En aquest estudi es recullen els resultats de la darrera espècie de la rotació, l'api (*Apium graveolens*) concretament la varietat Isel d'Elné.

3.2.2. Disseny de la parcel·la

Al llarg de tota la rotació d'hortícoles la distribució dels blocs i els tractaments dins dels blocs han tingut sempre la mateixa disposició. El disseny és de parcel·les dividides (Split-plot), sent el factor reg el factor principal i el factor micorriza el factor secundari. La distribució dels tractaments micorrizes dins dels blocs va ser a l'atzar (Figura 3-2). El factor reg tenia dos nivells: òptim i deficitari que va ser un 25% inferior al del reg òptim. Tant en el sector òptim com en el deficitari es constava de tres blocs, en cadascun dels blocs hi havia els tres tractaments del factor micorriza: control, que no està micorrizat, micorriza amb un inòcul comercial (MC) i l'inòcul IRTA (MBeg). En total hi havia 18 parcel·les elementals de 10,8 m² (3,6 x 3,0 m).

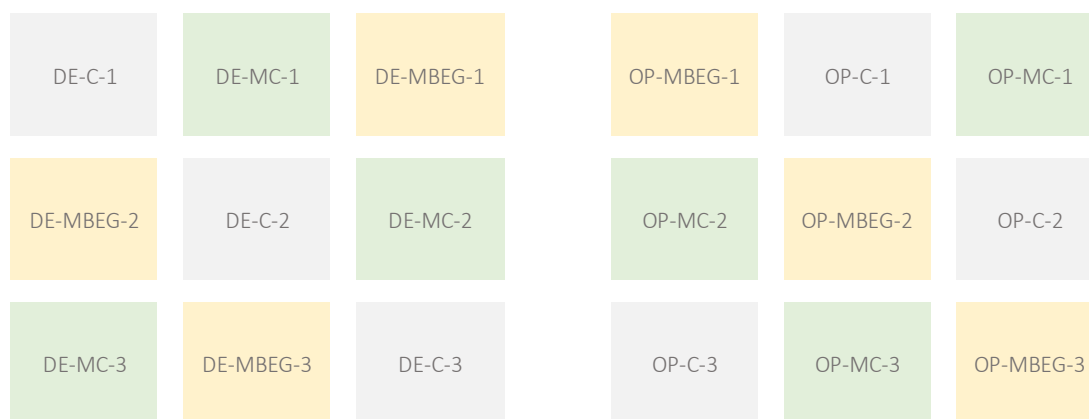


Figura 3-2. Organització dels blocs de cultiu d'api en funció del tipus d'inoculació. DE = reg deficitari, OP=reg òptim, C=no micorrizat, BEG=micorriza IRTA, MC=micorriza comercial. RE=reinoculat.

Cada parcel·la elemental constava de 6 files amb 9 plantes cada una, fent un total de 54 plantes. El marc de plantació era de 0,5 metres entre files i de 0,4 metres entre plantes dins les files (Figura 3-3). La densitat de plantació era de 5 plantes per metre quadrat (Figura 3-3). Als blocs on hi ha el tractament d'inoculació de micorrizes, les files 1, 2 i 3 van ser inoculades a l'inici del cultiu d'api, en canvi, les files 4, 5 i 6 van ser inoculades a l'inici de la rotació.

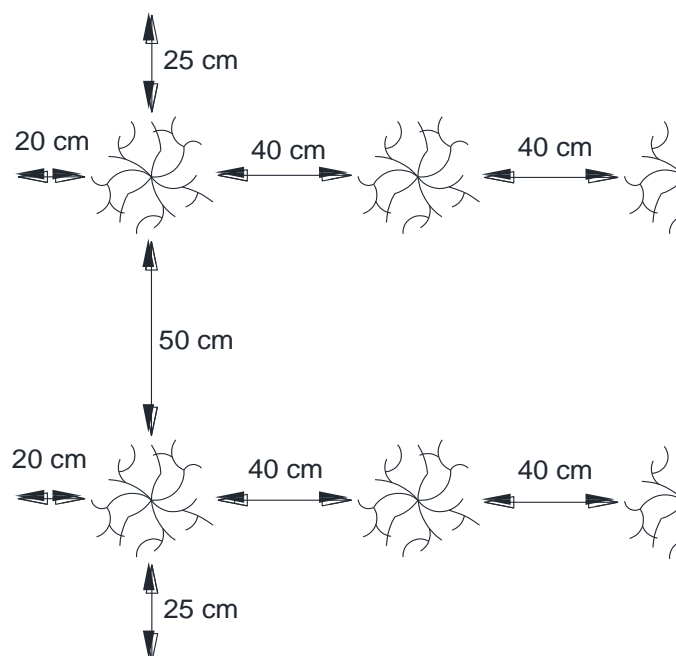


Figura 3-3. Marc de plantació. 5 plantes per metre quadrat.

3.2.3. Reg

L'aigua i el fertilitzant es distribuïa mitjançant degotadors integrats separats 20 cm dins la canonada amb un cabal nominal de 2 litres/hora. Les característiques de l'aigua de reg i la solució nutritiva estan descrits a la Taula 3-4. La solució nutritiva es concentrava 100 vegades i es dissolia en la canonada de reg amb un Dosatron a 1%. El càlcul del reg es va fer tenint en compte la evapotranspiració potencial i la pluviometria de la setmana anterior de l'estació meteorològica de Cabriils situada a 200 m de la parcel·la. Els coeficients de cultiu utilitzats els trobem a la Taula 3-3. El tractament deficitari va ser sempre del 25% del reg òptim.

Per calcular la dosi de reg es va utilitzar la següent fórmula:

$$\text{Min. de reg} = \frac{(\text{ETO} - \text{Pluviometria}) * Kc}{Q \text{ degotador} * \text{Eficiència reg degotador}}$$

Taula 3-3. Variacions de la Kc al llarg dels dies de cultiu. Kc = Coeficient del cultiu. Font: FAO 56.

	Kc	dies
Inicial	0,7	25
Mitja	1,05	65
	1,05	110
Final	1	125

Per extreure les necessitats diàries es van interpolar la Kc de cada fase de creixement per obtenir la recta de regressió (Figura 3-4).

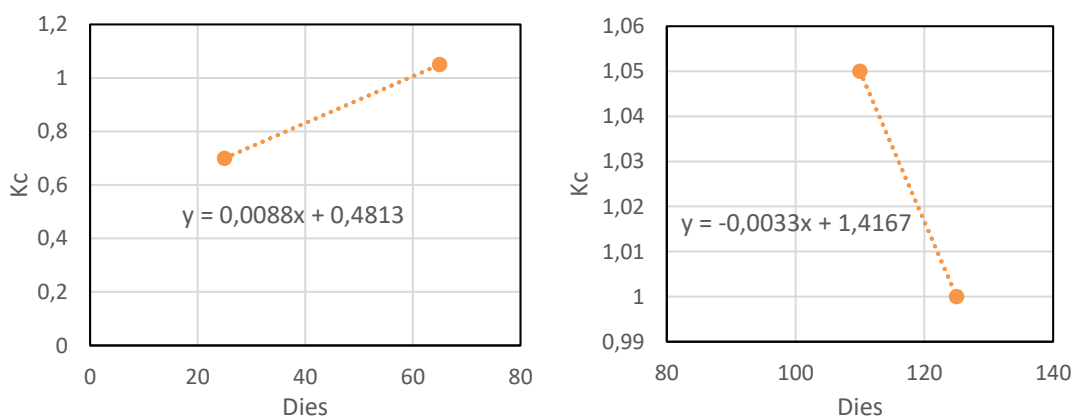


Figura 3-4. Recta de regressió de la Kc en desenvolupament (esquerre) i recta de regressió de la Kc final (dreta). Kc = Coeficient del cultiu.

La solució nutritiva, descrita a la Taula 3-4, es trobava separada en dos dipòsits diferents per tal evitar la precipitació.

Taula 3-4. Dosis dels compostos de la solució nutritiva.

<i>Dipòsit 1</i>		<i>Dipòsit 2</i>	
<i>Nutrient</i>	<i>Dosi (L/100L)</i>	<i>Nutrient</i>	<i>Dosi (kg/100L)</i>
Àcid nítric	3,07	Fosfat monopotàssic	1,22
Nitrat amònic	0,40	Nitrat potàssic	4,55
		Hortrilon	0,10
		Sequestrene	0,10

Es va recollir una mostra de solució nutritiva en un dels degotadors del sistema de reg. Amb un multímetre de laboratori es va mesurar el pH i la conductivitat elèctrica (CE):

pH	6,67
CE	1.773 μ S/cm

3.3. Accions i observacions al llarg del cultiu

El camp va ser llaurat amb una fresadora a 20 cm de profunditat amb l'objectiu d'eliminar plantes adventícies i preparar el llit de sembra sense afectar els inòculs de micorriza ja presents en el cultiu anterior de l'experiment.

Es va dur a terme la inoculació de micorrizes a les plantes en el moment del trasplantament. Es va inocular una dosi de 30 mL d'inòcul per planta. Pel bloc MBeg (micorrizes IRTA) es va utilitzar l'espècie *Rhizoglyphus irregularis* (també anomenada *Glomus intraradices*) BEG 72 en el substrat tipus Terra Green. Pel bloc MC (micorrizes comercials) es va utilitzar un formulat microgranular AEMG221DV de l'empresa ATENS en el substrat vermiculita. El mètode fet servir per inocular va ser l'escampament homogeni de l'inòcul a les arrels del planter abans del trasplantament.

Els espais entre blocs es van deixar amb coberta vegetal de flora espontània amb l'objectiu d'afavorir fauna útil, evitar l'erosió, millorar el contingut de M.O. i com a conseqüència la retenció d'humitat al sòl.

Al llarg de l'etapa de creixement de les horticòles es va fer un seguiment de plagues i malalties.

A la setmana 10 de cultiu es va fer un tractament de Neemazal per tal d'eliminar larva de *Euleia heraclei* present en les fulles. El tractament va funcionar amb èxit.

A la setmana 12 de cultiu es va fer un tractament de Beltasur (oxiclorur de coure) per tal d'eliminar *Aphidids* presents a les tiges interiors dels apis. El tractament va eliminar també la presència de *Botrytis* que es trobava en algunes de les plantes. El tractament va funcionar amb èxit.

Al llarg del cultiu es van treure herbes adventícies com la *Urtica dioica* que es torbaven vora de la tija de la planta per tal d'eliminar competència de recursos hídrics i espai de desenvolupament del sistema radicular.

El cultiu d'api pot tenir una durada d'entre 90 i 120 dies. Un cop arribat als 90 dies de cultiu es van observar la mesura i l'estadi de creixement per decidir el millor moment per collir i obtenir així una mostra el més homogènia possible de plantes, evitant l'entrada en floració.

3.4. Recollida i maneig de mostres

3.4.1. Biomassa

Es van collir 10 plantes de cada tractament amb un tall a la base del tronc per conservar tota la part aèria. No es va recollir cap planta de les vores. Es va mesurar l'altura total i el pes fresc a l'instant per evitar pèrdues d'aigua de la planta amb una bàscula de precisió 1 gram. Després es va tallar a 28 cm i es van treure les fulles velles exteriors i es va tornar a pesar. Aquest pes serà el que té valor comercial. D'aquestes 10 plantes es van destinar 5 plantes per a fer el pes sec. Per això es va separar una submostra de cadascuna i es va pesar. Aquestes 5 submostres van ser introduïdes en bosses de paper per tal de procedir al seu assecat a l'estufa a temperatura 60°C. De les 5 primeres plantes també se'n van recollir les arrels, es va foradar a una distància de 10 cm de la planta i fins a 20 cm de profunditat. Es van netejar de sorra i es van posar a assecar a l'estufa a 60°C en bosses de paper.

Un cop fora de l'estufa es van fer els pesatges secs de parts aèries i arrels amb una bascula de precisió 0,1 gram.

3.4.2. Sòls

Es va extreure una mostra de sòl de cada bloc a profunditat 30 cm amb una barrena tipo Edelman de 4 cm de diàmetre. Les mostres es van enviar a analitzar a un laboratori extern per tal d'obtenir els mateixos paràmetres que l'anàlisi inicial.

3.5. Càlcul dels índex de biomassa

Per calcular els diferents paràmetres dels índex de biomassa es van utilitzar les següents fórmules:

- Rendiment (kg/ha):

$$\text{Rendiment} = \frac{\text{Pes fresc comercial}}{\text{ha}}$$

- Root/shoot (%):

$$\text{Root/shoot} = \frac{\text{Pes sec arrel}}{\text{Pes sec part aèria}}$$

- Leaf weight ratio (%):

$$\text{Leaf weight ratio} = \frac{\text{Pes sec part aèria}}{\text{Pes sec total}}$$

- Root weight ratio (%):

$$\text{Root weight ratio} = \frac{\text{Pes sec arrel}}{\text{Pes sec total}}$$

- Productivitat de l'aigua (kg/m³):

$$\text{Productivitat de l'aigua} = \frac{\text{Pes fresc total}}{\text{m3 d'aigua regat}}$$

3.6. Descripció del mètode estadístic

Les dades van ser introduïdes en un Excel i l'anàlisi estadístic s'ha realitzat amb el programa SAS versió 9.4. Es va fer un anàlisi de la variància (ANOVA) amb models mixtes on els factors fixes eren el reg i la micorriza i l'aleatori era el bloc de les variables pes fresc i pes sec de la part aèria total, pes fresc de la part aèria comercial, altura, %Pes Sec/Pes Fresc de les fulles i pes sec de les arrels. La separació de les mitjanes es va fer per Tukey amb una $p < 0.05$ per tots els anàlisis.

Es va fer un anàlisi de la variància (ANOVA) amb separació de mitjanes pel test de Tukey per a l'anàlisi dels paràmetres del sòl.

4. Resultats

4.1. Condicions durant el cultiu

El cultiu ha tingut una durada de 118 dies des del 10 de febrer al 7 de juny, dins d'aquest període hi ha hagut una pluviometria de 185,10 mm. La temperatura màxima registrada ha estat de 30,5°C el dia 3 de juny i la mínima de 1,1°C el dia 2 d'abril.

Taula 4-1. Valors mitjans de cada mes de: temperatura i humitat relativa. Font: Ruralcat.

Mes	Temperatura (°C)	Humitat relativa (%)
Febrer	11,14	72,16
Març	11,94	75,35
Abril	13,98	64,77
Maig	19,11	64,65
Juny	21,48	78,14

Taula 4-2. Nutrients aportats pel reg. N: nitrogen. P: fòsfor. K: potassi.

REG	N (Kg.ha-1)	P (Kg.ha-1)	K (Kg.ha-1)
Òptim	378,14	77,00	587,03
Deficitari	267,76	55,06	415,64

Taula 4-3. Quantitat d'aigua aportada per reg i pluja.

Reg òptim	323,87
Reg deficitari	231,00
Pluviometria	185,10

4.2. Biomassa i producció comercial

L'anàlisi de la variància (ANOVA) de models mixtes ens mostra que trobem interaccions dobles reg*micorriza significatives en les variables pes fresc de la part aèria comercial (P=0,044), percentatge de pes sec en relació al pes fresc de les fulles (P=0,011) i pes sec de l'arrel (P=0,012) (Taula 4-4).

Taula 4-4. P valor de l'ANOVA pels factors principals (reg i micorriza) i la seva interacció. Els P valors significatius estan ressaltats en negreta.

PARÀMETRE	REG	MICORRIZA	REG*MICORRIZA
PES FRESC TOTAL	0,0001	0,0048	0,1097
PES SEC TOTAL	0,0001	0,0200	0,2624
PES FRESC COMERCIAL	0,0001	0,0105	0,0439
ALÇADA	0,0004	0,2537	0,8041
%PS/PF	0,0001	0,6886	0,0115
PES SEC ARREL	0,0249	0,5343	0,0118

4.2.1. Biomassa de la part àeria

La Figura 4-1 mostra que el pes fresc comercial en reg òptim és significativament superior en comparació al reg deficitari (valor p inferior de 0,05). En el reg òptim, el tractament MC presenta un menor pes fresc comercial que els altres tractaments (interacció reg*micorriza). En canvi en el reg deficitari no hi ha diferències entre tractaments de micorriza.

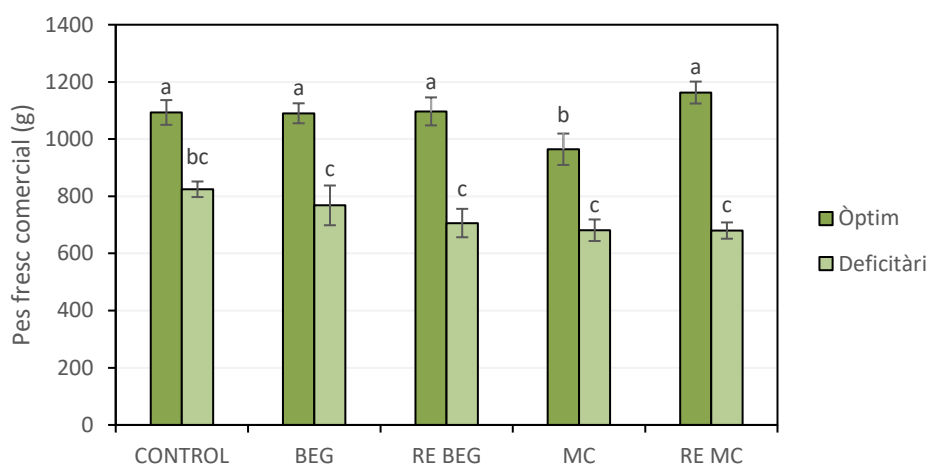


Figura 4-1. Comparació de pes fresc comercial entre el factor reg i factor micorriza. Control=no micorrizats, BEG=micorriza IRTA, MC = micorriza comercial. RE= reinoculat. Les barres són la mitjana de N=30 valors \pm error estàndard. Barres amb lletres diferents són significativament diferents.

En el factor Reg sempre hi ha diferències entre els dos tractaments, sent superiors els valors dels tractament Òptim (Figura 4-2).

En el factor micorriza s'observa que el pes fresc total del tractament Control és significativament més gran que el del tractament Micorriza Comercial (valor p de 0,0025) (Figura 4-2). Entre els altres tractaments no hi ha diferències significatives. En el pes sec total s'observa el mateix, el tractament Control és significativament més gran que el tractament Micorriza Comercial (valor p de 0,0227) (Figura 4-3).

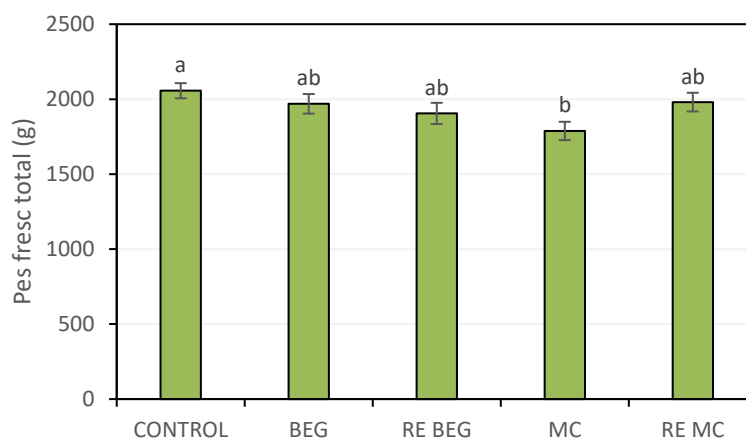


Figura 4-2. Comparació del pes fresc total entre tractaments del factor micorriza. Control=no micorriat, BEG=micorriza IRTA, MC = micorriza comercial. RE= reinoculat. Les barres són la mitjana de N=60 valors \pm error estàndard. Barres amb lletres diferents són significativament diferents.

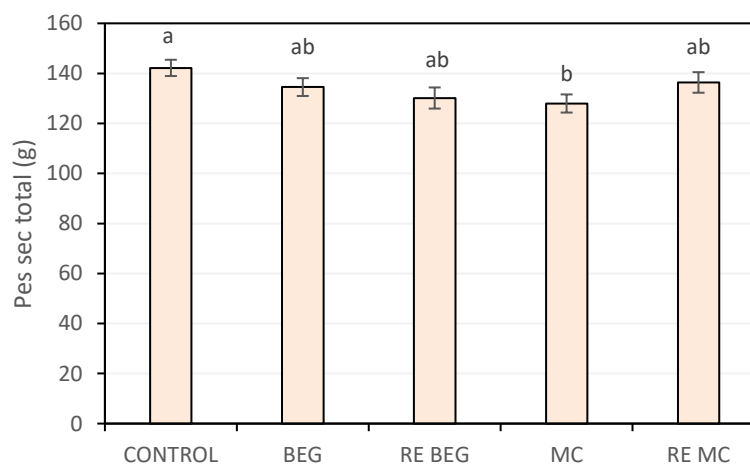


Figura 4-3. Comparació del pes sec total entre tractaments del factor Micorriza. Control=no micorriat, BEG=micorriza IRTA, MC = micorriza comercial. RE= reinoculat. Les barres són la mitjana de N=60 valors \pm error estàndard. Barres amb lletres diferents són significativament diferents.

4.2.2. Contingut de matèria seca de les fulles

La Figura 4-4 mostra que el percentatge de pes sec en relació al pes fresc de fulles és significativament inferior en reg òptim (valor p inferior de 0,05) en els tractaments MBEG, RE MBeg i RE MC.

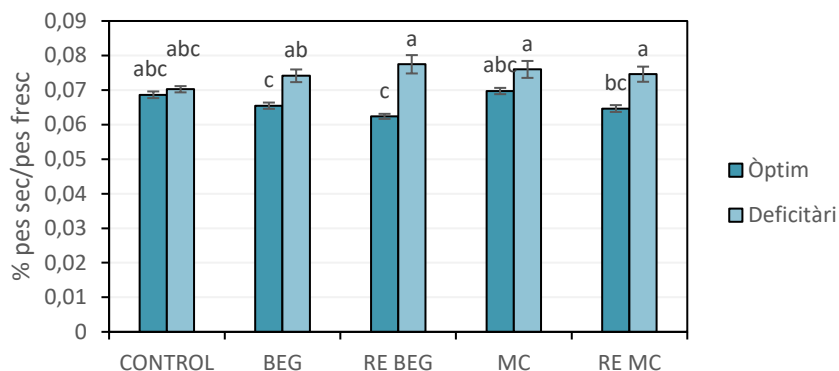


Figura 4-4. Comparació del percentatge de pes sec en relació al pes fresc entre el factor reg i factor micorriza. Control=no micorrizats, BEG=micorriza IRTA, MC=micorriza comercial. RE= reinoculat. Les barres són la mitjana de N=30 valors \pm error estàndard. Barres amb lletres diferents són significativament diferents.

4.2.3. Biomassa radicular

En pes sec de les arrels només s'observen diferències significatives entre OP MC i DEF MBeg (Figura 4-5).

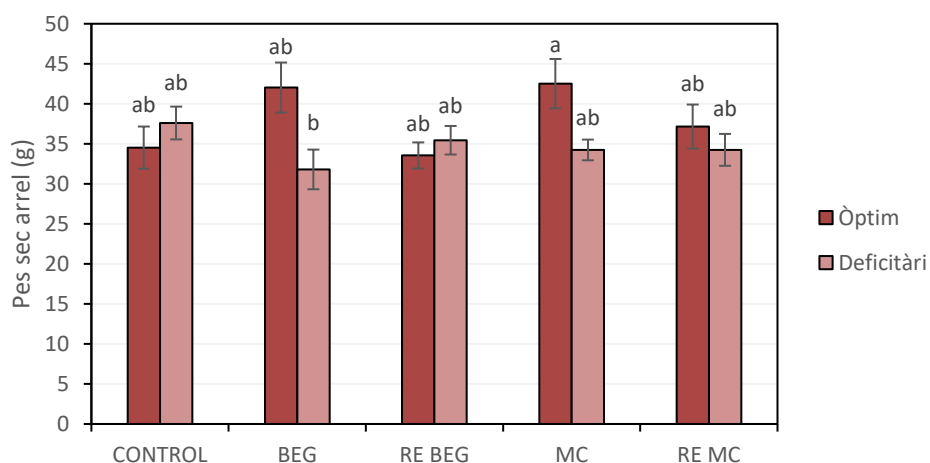


Figura 4-5. Comparació del pes sec de l'arrel entre el factor reg i factor micorriza. Control=no micorrizats, BEG=micorriza IRTA, MC=micorriza comercial. RE=reinoculat. Les barres són la mitjana de N=30 valors \pm error estàndard. Barres amb lletres diferents són significativament diferents.

4.2.4. Índex de biomassa

En la Taula 4-5 s'observen els diferents índex de biomassa calculats. Tant el rendiment comercial mesurat, com el pes comercial de la part aèria per superfície de cultiu, va ser major en reg òptim, mentre que la productivitat d'aigua va ser superior en reg deficitari. Pel que fa a percentatge d'arrel respecte a la part aèria es mostra major desenvolupament radicular relatiu en reg òptim quan està inoculat amb l'inòcul comercial. La distribució cap a part aèria és major en el tractament òptim control (leaf weight ratio %).

La productivitat de l'aigua ha estat major en el reg deficitari que en l'òptim i les plantes control no micorrizadas van ser el valor més alt de tots. Entre les plantes micorrizadas no hi ha diferències de productivitat. Excepte en l'òptim MC que ha presentat la menor productivitat de totes.

Taula 4-5. Índex de biomassa dels tractaments ($\bar{X} \pm EE$). Control=no micorrizat, BEG=micorriza IRTA, MC=micorriza comercial. RE=reinoculat.

Reg	Tractament	Rendiment (kg/ha)	Root/Shoot (%)	Leaf weight ratio (%)	Root weight ratio (%)	Productivitat de l'aigua (kg/m ³)
DEF	MBeg	38.403 ± 1.363	25,45 ± 8,61	79,71 ± 3,77	20,29 ± 3,77	37,49 ± 2,13
	Control	41.222 ± 1.884	28,25 ± 4,23	77,97 ± 2,01	22,03 ± 2,01	41,08 ± 0,83
	MC	34.055 ± 2.482	27,40 ± 2,13	78,49 ± 1,08	21,51 ± 1,08	36,59 ± 1,15
	Re MBeg	35.312 ± 1.425	27,52 ± 2,94	78,42 ± 1, 61	21,58 ± 1, 61	36,83 ± 1,52
	Re MC	33.997 ± 1.322	26,96 ± 3,84	78,77 ± 2,02	21,23 ± 2,02	36,77 ± 0,87
OPTIM	MBeg	54.510 ± 1.748	29,16 ± 6,39	77,42 ± 2,69	22,58 ± 2,69	34,05 ± 0,76
	Control	54.655 ± 2.162	22,82 ± 3,98	81,42 ± 2,20	18,58 ± 2,20	34,20 ± 0,94
	MC	48.218 ± 2.741	32,45 ± 5,36	75,50 ± 2,13	24,50 ± 2,13	29,10 ± 1,20
	Re MBeg	54.840 ± 2.448	25,51 ± 5,25	79,68 ± 2,16	20,32 ± 2,16	32,54 ± 1,07
	Re MC	58.133 ± 1.919	25,50 ± 3,39	79,68 ± 1,84	20,32 ± 1,84	34,92 ± 0,84

4.3. Paràmetres del sòl

En la Taula 4-6 hi trobem els valors dels diferents paràmetres del sòl de les mostres al final del cultiu d'api. No hi va haver diferències significatives entre tractaments, excepte en el magnesi. La taula ens mostra una classificació en rangs molt homogènia en tots els paràmetres analitzats.

Taula 4-6. Resultats de l'anàlisi dels ions del sòl per tractaments després del cultiu. Control=no micorrizats, BEG=micorriza IRTA, MC=micorriza comercial. RE=reinoculat.

Reg	Tractament	C. orgànic (% s.m.s.)	M.O. oxidable (% s.m.s.)	NO ₃ ⁻ (mg/kg s.m.s.)	Mg (mg/kg s.m.s.)	P (mg/kg s.m.s.)	CE - 25 °C (dS/m)	Ca (mg/kg s.m.s.)	K (mg/kg s.m.s.)	Na (mg/kg s.m.s.)	pH
DEF	MBeg	1,81 Alt	3,13 Alt	4,10 Dèficit	260,67 Alt	42,90 Alt	0,14 No limitant	2986,00 Adequat	95,67 Baix	109,00 Lleugerament salí	8,17 bàsic
	MC	1,85 Alt	3,20 Alt	6,83 Dèficit	262,00 Alt	38,60 Alt	0,16 No limitant	3027,33 Adequat	87,33 Baix	115,67 Lleugerament salí	8,23 bàsic
	Control	1,59 Mitjà	2,75 Mitjà	6,27 Dèficit	267,67 Alt	40,80 Alt	0,17 No limitant	3129,00 Adequat	87,33 Baix	108,67 Lleugerament salí	8,27 bàsic
OP	MBeg	1,74 Mitjà- Alt	3,00 Mitjà- Alt	7,40 Dèficit	289,67 Alt	37,13 Alt	0,15 No limitant	2944,33 Adequat	101,00 Baix	117,00 Lleugerament salí	8,17 bàsic
	MC	1,76 Alt	3,04 Alt	6,57 Dèficit	278,00 Alt	41,17 Alt	0,15 No limitant	2901,33 Adequat	96,33 Baix	101,00 Lleugerament salí	8,17 bàsic
	Control	1,77 Alt	3,06 Alt	6,53 Dèficit	296,33 Alt	50,75 Alt	0,16 No limitant	3191,00 Adequat	110,00 Baix	160,67 Lleugerament salí	8,20 bàsic

En general a tota la parcel·la hi ha un contingut alt de carboni orgànic, matèria orgànica oxidable, magnesi i fòsfor; una deficiència de nitrogen; una conductivitat elèctrica no limitant; un contingut adequat de calci; un contingut de potassi baix i un sòl lleugerament salí amb un pH bàsic.

La interpretació dels paràmetres del sòl s'ha fet gràcies a les taules de Villar Mir i Villar Mir (2016).

L'anàlisi de la variància (ANOVA) de models mixtes en sòls ens mostra que només hi ha diferències entre tractaments de reg en el contingut en magnesi (valor p de 0,0364). El sòl del tractament òptim conté un 9.3% més de magnesi que el deficitari (288,00 envers 263,44) (Taula 4-7).

Taula 4-7. Taula del p valor de l'ANOVA de models mixtes amb reg i micorrizes i la seva interacció. P valor significativament diferent està marcat en negreta.

PARÀMETRE	REG	TRACTAMENT	REG*TRACTAMENT
pH	0.1335	0.1859	0.5348
CE	1.0000	0.1653	0.6209
MO	0.9696	0.4685	0.3555
C orgànic	0.9582	0.4685	0.3607
NO3	0.2310	0.6664	0.2387
P	0.4652	0.2697	0.1728
K	0.0863	0.6377	0.5372
Mg	0.0364	0.6397	0.8403
Ca	0.8302	0.5370	0.8921
Na	0.3851	0.4187	0.2948

La Figura 4-6 mostra que hi ha una diferència significativa en l'ió magnesi del sòl entre reg òptim i reg deficitari.

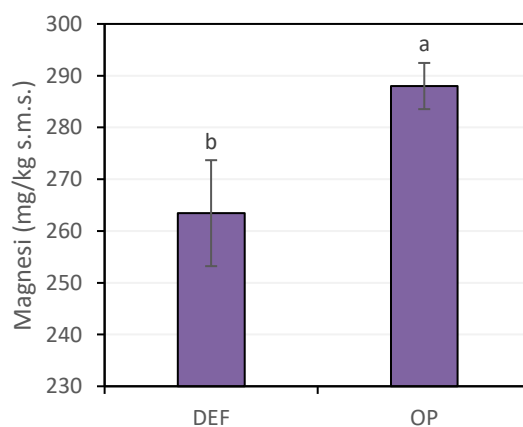


Figura 4-6. Comparació del contingut de magnesi en matèria seca entre reg òptim i deficitari. DEF: reg deficitari. OP: reg òptim.

La Taula 4-8 mostra l'avaluació dels valors dels ions del sòl a partir de les mitjanes de reg deficitari i reg òptim abans del cultiu d'api.

Taula 4-8. Resultats de l'anàlisi dels ions del sòl per tipus de reg abans del cultiu.

Reg	C. orgànic (% s.m.s.)	M.O. oxidable (% s.m.s.)	NO ₃ ⁻ (mg/kg s.m.s.)	Mg (mg/kg s.m.s.)	P (mg/kg s.m.s.)	CE - 25 °C (dS/m)	Ca (mg/kg s.m.s.)	K (mg/kg s.m.s.)	Na (mg/kg s.m.s.)	pH
Deficitari	1,82	3,13	12,51	262,89	40,49	0,23	-	-	-	-
	Alt	Alt	Deficiència lleugera	Alt	Alt	No limitant	-	-	-	-
Òptim	1,68	2,90	16,03	267,67	36,11	0,24	-	-	-	-
	Mitjà	Mitjà	Mitjà	Alt	Alt	No limitant	-	-	-	-

La Taula 4-9 mostra l'avaluació dels valors dels ions del sòl a partir de les mitjanes de reg deficitari i reg òptim després del cultiu d'api.

Taula 4-9. Resultats de l'anàlisi dels ions del sòl per tipus de reg després del cultiu.

Reg	C. orgànic (% s.m.s.)	M.O. oxidable (% s.m.s.)	NO ₃ ⁻ (mg/kg s.m.s.)	Mg (mg/kg s.m.s.)	P (mg/kg s.m.s.)	CE - 25 °C (dS/m)	Ca (mg/kg s.m.s.)	K (mg/kg s.m.s.)	Na (mg/kg s.m.s.)	pH
Deficitari	1,75	3,03	5,73	263,44	40,77	0,15	3047,44	90,11	111,11	8,22
	Alt	Alt	Dèficit	Alt	Alt	No limitant	Adequat	Baix	Lleugerament salí	Bàsic
Òptim	1,76	3,03	6,83	288,00	43,02	0,15	3012,22	102,44	126,22	8,18
	Alt	Alt	Dèficit	Alt	Alt	No limitant	Adequat	Baix	Lleugerament salí	Bàsic

En reg deficitari el nitrogen ha passat de tenir nivells de dèficit lleuger a tenir dèficit. En reg òptim el nitrogen ha passat de tenir nivells mitjans a tenir dèficit. Els nivells de fòsfor tot i seguir sent alts han augmentat. La conductivitat elèctrica ha baixat en tots dos tipus de reg.

5. Discussió

5.1. Biomassa i producció comercial

En diferents estudis fets amb hortalisses s'ha pogut comprovar que les micorrizes ajuden a tolerar dèficits de reg i nutrients a les plantes, incrementant així el seu rendiment (Baum et al., 2015). Els resultats obtinguts ens plantegen una situació contradictòria, donat que el grup control ha presentat la mitjana de pes fresc i pes sec més elevada en comparació amb els diferents tractaments micorritzats. Separant les dades dels diferents tractaments del factor micorriza en funció del tipus de reg que han rebut, en reg deficitari el control ha mostrat la mitjana de pes fresc més elevada en relació amb els altres tractaments (tot i que sense diferències significatives). Per tant, segons els resultats obtinguts, no es veuria cap efecte en l'ús de micorrizes arbusculars (MA) en producció d'api.

Tot i això, en la bibliografia està àmpliament descrit l'efecte de les micorrizes en cultius d'horta (Baum et al., 2015; Szczałba et al., 2019). En Badr et al. (2020) la inoculació amb MA va augmentar el rendiment de l'albergínia associada a una major absorció de nutrients i fertilitat del sòl a diferents estressos hídrics. La resposta micorrízica va mostrar un millor rendiment sota estrès hídric sever que en condicions de reg complet. En Biel et al. (2021) es va observar que la inoculació amb fongs micorrízics en tomàquet va augmentar el rendiment i la qualitat del fruit amb dosis de fertilitzant i aigua reduïdes.

Cal considerar que, de mitjana, tots els tractaments han obtingut produccions comercials (pes fresc planta tallada a 28 cm i sense les fulles exteriors) per sobre dels 800 grams*planta⁻¹, mida que es considera "gran" pel BOE en termes de qualitat (Taula 5-1).

Taula 5-1. Classificació comercial de l'api segons el pes. Font: BOE.

<i>Pes (g)</i>	<i>Categoria</i>
>800	Gran
500 - 800	Mitjà
150 - 500	Petit

Pel que fa al contingut d'aigua de la part aèria, es pot observar que en les plantes del reg òptim, tots els tractament van mostrar més contingut d'aigua que les plantes del tractament deficitari. La

bibliografia descriu que les MA permeten aprofitar millor l'aigua del sòl i mantenir millor l'aigua dins els teixits de la planta. L'efecte de la simbiosis de les MA es pot veure reflectit també en que redueix la transpiració i conductància dels estomes, mantenint la turgència del cultiu (Baum et al., 2015; Fracasso et al., 2020). Aquest efecte és d'interès a nivell de postcollita, ja que milloraria el maneig, emmagatzematge i transport, conservant les exigències de mercat. Per això, s'hauria esperat que les plantes control no micorrizades del tractament deficitari mostressin un contingut d'aigua menor que els tractaments micorrizats, donat que la seva capacitat d'obtenció d'aigua del sòl i de manteniment en els teixits es veuria més limitada.

Observant la Figura 4-5 i la Taula 4-2, veiem que en reg deficitari l'arrel s'ha desenvolupat més en relació a la part aèria de mitjana que en l'òptim. El tractament control és el que més desenvolupament d'arrel mostra en el reg deficitari, ja que al no estar inoculat necessita un sistema radicular més desenvolupat que ajudés a la planta a superar l'estrès. En tots els tractaments micorrizats, excepte RE MBeg, s'ha obtingut un pes sec major en òptim que en deficitari. Sota condicions d'estrès hídric les MA indueixen a modificacions de les característiques morfològiques de l'arrel com la llargada, la densitat i el nombre d'arrel laterals, que són responsables de que un sistema radicular sigui més eficient en la captació d'aigua i nutrients (Fracasso *et al.*, 2020). Una possible raó és que l'estrès hídric ha sigut molt suau i no suficient perquè la planta tingués una resposta diferent.

El tractament DEF MBeg ha sigut el que menys desenvolupament radicular ha tingut, i si ens fixem en el rendiment i la productivitat de l'aigua, DEF MC és el tractament amb els valors més baixos. En òptim, el tractament MC és el que ha mostrat un sistema radicular més desenvolupat, però també ha donat el rendiment i la productivitat més baixa.

Pel que fa a productivitat de l'aigua, en els estudis de Candido *et al.* (2015) i Biel *et al.* (2021) es va trobar que l'ús de micorrizes en cultiu de tomàquet suposava una millora. Per contra, en aquest estudi, si que s'ha obtingut una major productivitat en reg deficitari, però el valor màxim correspon al control, ja que és el que ha mostrat més desenvolupament radicular. Per tant, no es pot dir que la inoculació de micorrizes hagi millorat l'aprofitament de l'aigua de l'api.

Una possible explicació per als resultats obtinguts seria que o la colonització de la MA sobre l'arrel de l'api ha sigut molt baixa o nul·la. En la literatura s'han descrit certes condicions que podrien

causar un mal desenvolupament de la unió simbiòtica. Per una banda, hi ha moltes espècies de MA que mostren diferents afinitats enfront diferents espècies de cultius (Szczałba *et al.*, 2019). No hi ha referències sobre les espècies més adequades en api, donat que per aquesta espècie els estudis són escassos, per tant, podria ser que l'espècie utilitzada tingués una baixa taxa de colonització (que serà comprovada en els anàlisi pendents i en propers estudis). En Fracasso *et al.* (2020), van trobar que l'inòcul dissolt en aigua i fertirrigat a la sembra va ser el mètode que millor taxa d'inoculació va tenir, respecte la barreja homogènia en sòl i l'escampament en l'arrel del planter abans del transplantament. Per últim, també es pot considerar que diferents espècies de MA poden tenir diferent efectivitat per a millorar l'absorció d'aigua i nutrients del sòl (Baum *et al.*, 2015).

La productivitat i rendiment màxim per a reg òptim s'ha obtingut en el tractament en el que es va tornar a inocular en el moment de la plantació (RE MBeg). Aquest resultat concorda amb la literatura, perquè generalment, els cultius inoculats al moment de sembra tenen un major creixement i vigor (Baum *et al.*, 2015).

Per descartar la possibilitat de que no s'hagi fet una inoculació correcta, s'hauria de fer un anàlisi dels propàguls en el sòl i de les estructures que trobem en l'arrel per efecte de les micorrizes.

5.2. Paràmetres del sòl

En aquest projecte no s'ha pogut analitzar el contingut de nutrients que trobem en planta i per tant només disposem de l'anàlisi del sòl, el qual, tot i donar-nos molta informació, si no es té, és més complicat extreure'n conclusions fiables.

L'única diferència significativa la trobem entre reg òptim i reg deficitari en l'ió magnesi on la taula de resultats de les interaccions (Taula 4-7) ens mostra un valor p de 0,0364. Si comprovem les quantitats de cada un en la (Taula 4-9), trobem que hi ha una diferència de 24,56 mg/kg de Mg.

El magnesi és un macronutrient secundari. En un sòl de Catalunya de mitjana un 0,6% del total dels ions és de magnesi, on 225 mg/kg són extraïbles, 100 mg/kg els trobem en cations de canvi i 2 mg/kg els trobem dissolts (Villar Mir i Villar Mir, 2016). Per tant, en la parcel·la hi tenim uns nivells que tot i ser elevats estan per sota de la mitjana.

La planta no sembla que hagi tingut cap dificultat per aprofitar-lo, ja que una deficiència d'aquest tipus presentaria símptomes de carència com són la clorosis entre els nervis de les fulles, que dificultarien l'activitat fotosintètica del cultiu i per tant l'assoliment del màxim desenvolupament.

L'origen del magnesi és degut en gran part a la composició mineral dels sòls, però també depèn fortament de la qualitat de les aigües i de les aportacions fetes amb fertilitzants. Algunes aigües de reg poden provocar un augment del nivell de magnesi en el sòl (Villar Mir i Villar Mir, 2016).

La solució nutritiva que hem utilitzat no porta magnesi, ja que l'aigua del reg aportava un contingut de 35,62 mg/L. Si comparem les Taula 4-8 i Taula 4-9 podem veure les diferències que hi ha hagut entre l'inici i el final del cultiu. En reg deficitari hi ha hagut un augment de 0,55 mg/kg de magnesi, mentre que en reg òptim, hi ha hagut un augment major, de 20,33 mg/kg.

Per fer la interpretació dels valors de magnesi s'ha utilitzat la Taula 5-2.

Taula 5-2. Taula d'interpretació de nivells de Mg al sòl. Font: Villar Mir i Villar Mir (2016).

<i>Nivells de Mg al sòl (mg/kg)</i>	<i>Interpretació</i>
<i><100</i>	<i>Baix</i>
<i>100 - 175</i>	<i>Mitjà</i>
<i>175 - 250</i>	<i>Òptim</i>
<i>250 - 600</i>	<i>Alt</i>
<i>>600</i>	<i>Molt alt</i>

Ens mostra en la categoria "alt" que el rang va de 250 a 600 mg/kg. Això ens pot induir a pensar que el fet que en l'anàlisi estadístic hagi sortit significatiu és perquè el sòl de tota la parcel·la és molt homogeni per a aquest ió, però tenint en compte l'ampli rang de la categoria, no és realment una diferència important, ja que 24,56 mg/kg de diferència entre tractaments és una xifra que no té afectació al cultiu.

6. Conclusions

Al contrari del que s'esperava, els tractaments micorrizats no mostren un augment de rendiment de l'api. Ja sigui perquè no s'ha inoculat bé com perquè la inoculació no crea una diferència suficientment gran. Per fer una millor diagnosi s'haurien d'analitzar propàguls de micorriza al sòl de cada parcel·la i sobretot analitzar les arrels per tenir la certesa de que s'han fet estructures fong-arrel.

Si que hi ha diferències entre reg òptim i deficitari. L'efecte de la reducció d'aigua ha induït un major desenvolupament de l'arrel, i les plantes amb estrès hídric han mostrat un menor contingut d'aigua en els teixits i una menor producció de biomassa.

Pel que fa als paràmetres del sòl, no s'ha pogut veure que les micorrizes hagin generat alteracions significatives. S'hauria de fer un anàlisi per veure el contingut de nutrients de les fulles.

7. Bibliografia

Referències bibliogràfiques

ACA (2016) *Avaluació de la problemàtica originada per l'excés de nitrats d'origen agrari en les masses d'aigua subterrània a Catalunya*. Barcelona. Available at: https://aca.gencat.cat/web/.content/20_Aigua/04_estat_del_medi_hidric/04_zones_vulnerables_nitrats/01_Avaluacio_problematika_nitrats_DCQA_03_2016.pdf (Accessed: July 2, 2022).

ACA (2018) *Determinació de l'origen dels nitrats: tècniques isotòpiques, traçadors microbiològics i anàlisi de pressions*. Salamanca. Available at: https://aca.gencat.cat/web/.content/20_Aigua/04_estat_del_medi_hidric/04_zones_vulnerables_nitrats/03_Estudi_Origen_Nitrats_2018.pdf (Accessed: July 2, 2022).

ACA (2021) *Zones vulnerables a la contaminació per nitrats procedents de fonts agràries*. Barcelona. Available at: https://aca.gencat.cat/web/.content/20_Aigua/04_estat_del_medi_hidric/04_zones_vulnerables_nitrats/02_Fitxes_Zones_Vulnerables.pdf (Accessed: July 2, 2022).

Aguilera Gómez, L.I. *et al.* (2006) "Micorrizas arbusculares," *Ciencia Ergo Sum*, 14(3), pp. 300–306. Available at: <https://www.redalyc.org/pdf/104/10414307.pdf> (Accessed: May 13, 2022).

Badr, M.A. *et al.* (2020) "Deficit Irrigation and Arbuscular Mycorrhiza as a Water-Saving Strategy for Eggplant Production," *Horticulturae*, 6(3), p. 45. Available at: <https://doi.org/10.3390/horticulturae6030045>.

Baum, C., El-Tohamy, W. and Gruda, N. (2015) "Increasing the productivity and product quality of vegetable crops using arbuscular mycorrhizal fungi: A review," *Scientia Horticulturae*, 187, pp. 131–141. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.03.002>.

Biel, C. *et al.* (2021) "On-farm reduced irrigation and fertilizer doses, and arbuscular mycorrhizal fungal inoculation improve water productivity in tomato production," *Scientia Horticulturae*, 288, p. 110337. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110337>.

Candido, V. *et al.* (2015) "Growth and yield promoting effect of artificial mycorrhization on field tomato at different irrigation regimes," *Scientia Horticulturae*, 187, pp. 35–43. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.02.033>.

EEA (2020) *Las aguas europeas están cada vez más limpias, pero subsisten grandes desafíos*. Copenhagen. Available at: <https://www.eea.europa.eu/es/highlights/las-aguas-europeas-estan-cada> (Accessed: July 2, 2022).

Fonts, A., Cami, B. and Calvet, C. (2020) *Destió del reg i micorrizació en cultius hortícoles*. Available at: https://grupsoperatius.cat/fitxes/2017_2_38.pdf (Accessed: July 8, 2022).

Fracasso, A. *et al.* (2020) "Physiological Beneficial Effect of Rhizophagus intraradices Inoculation on Tomato Plant Yield under Water Deficit Conditions," *Agronomy*, 10(1), p. 71. Available at: <https://doi.org/10.3390/agronomy10010071>.

IRTA (2017) *INTEGRACIÓ DE RECURSOS BIOLÒGICS EN LA PRODUCCIÓ HORTÍCOLA*. Available at: https://grupsoperatius.cat/fitxes/2015_2_46.pdf (Accessed: July 8, 2022).

Plenchette, C. *et al.* (2005) "Managing arbuscular mycorrhizal fungi in cropping systems," *Canadian Journal of Plant Science*, 85(1), pp. 31–40. Available at: <https://doi.org/10.4141/P03-159>.

Reguant, F. (2020) *El regadiu com a eina del segle XXI*. Barcelona. Available at: https://ruralcat.gencat.cat/article-tecnic/-/journal_content/2002/20181/7973466/el-regadiu-com-a-eina-del-segle-xxi (Accessed: July 2, 2022).

Servei Meteorològic de Catalunya (2019) *Climatologia. El Maresme*. Available at: <https://static-m.meteo.cat/wordpressweb/wp-content/uploads/2014/11/13083422/Maresme.pdf> (Accessed: July 2, 2022).

Szczałba, M. *et al.* (2019) "Comprehensive insight into arbuscular mycorrhizal fungi, *Trichoderma* spp. and plant multilevel interactions with emphasis on biostimulation of horticultural crops," *Journal of Applied Microbiology*, 127(3), pp. 630–647. Available at: <https://doi.org/10.1111/jam.14247>.

Villar Mir, P. and Villar Mir, J. (2016) *Guia de la fertilitat dels sòls i la nutrició vegetal en producció integrada*. Lleida. Available at: http://agricultura.gencat.cat/web/.content/de_departament/de10_publicacions_dar/de10_a02_04_guies/enllacos-documentos/fitxers-binariis/2016_Guia-fertilitat-sols-nutricio-vegetal-produccio-integrada.pdf (Accessed: July 2, 2022).