

Referencia: REN2000-0372-P4-03



MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA
DIRECCION GENERAL DE INVESTIGACION

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO TECNOLÓGICO
MODALIDAD P4
PROYECTOS COORD. CONVOC. 1999**

INFORME FINAL

Investigador Principal:	Maria Victoria Estaún Morell
Título del Proyecto:	Revegetación y restauración ecológica de zonas degradadas por causas antropogénicas utilizando las simbiosis endo y ectomicorrícicas en flora mediterránea autóctona
Organismo:	IRTA
Centro:	Cabrils
Departamento:	Protección Vegetal
Fecha de Inicio:	7 Noviembre 2001
Fecha de Finalización:	31 Diciembre 2004

Fecha:

**Conforme el Representante
Legal**

del Organismo:

El Investigador Principal:

Fdo:

Fdo:

RELACIÓN DE PARTICIPANTES EN EL PROYECTO

Indicar: Centros Públicos, Centros Tecnológicos y Empresas participantes.

Institut de Recerca y Tecnologies Agroalimentàries (IRTA)

CESPA

Canteras de Lucas SA

Ilmo. Sr. Subdirector Gral. de Proyectos de Investigación
Paseo de la Castellana, 160. 28071 MADRID

INFORME FINAL

A. MEMORIA. Resumen de los resultados del proyecto en relación con los objetivos propuestos (máximo 2000 palabras).

Objetivo 1: Estudiar los ecosistemas de referencia y partida

Zonas de canteras: Actividad 1.1

Se han estudiado dos ecosistemas de referencia vecinos de dos actuaciones en cantera.

La primera zona se encuentra en la comarca del Alt Camp (Tarragona), se caracteriza por una vegetación de bosque mixto de pinos, con algunas encinas y robles proviniendo de una zona original de bosque de encinas degradado. Presenta un soto bosque abundante que en zonas deviene matorral de coscojas y jaras.

Para la realización de la restauración se incorporó encima de los estériles de margas y dolomitas una capa de suelo que se había apartado y apilado antes de iniciar la actividad minera. Esta capa tiene una profundidad media de 50 cm resultando en una textura franco-arcillosa con numerosos elementos gruesos.

En una segunda actuación en lugar de suelo apilado se incorporó compost procedente de residuos urbanos en una proporción de 3%

La segunda zona estudiada, en la comarca del Vallés Occidental (Barcelona), se caracteriza por una vegetación muy degradada de matorral de romero y brezo de invierno con algunos pinos replantados (*Pinus halepensis*, *Pinus pinea*) provenientes de una vegetación primitiva de encinar mediterráneo.

La restauración se ha realizado directamente sobre una capa de estériles de roca caliza.

Zona de taludes de carretera. Actividad 1.2

El estudio de la zona de taludes se ha realizado en un talud de pendiente 40° en una plaza de la ciudad de Badalona. Es un talud muy degradado, rellenado con materiales de desecho de obras de otros lugares de la ciudad.

Ver las caracterizaciones de los ecosistemas y composición química del compost añadido en el anexo 1

Objetivo 2: Evaluar las características ecofisiológicas de plantas en condiciones de baja fertilidad y riego. Actividad 2

*Ensayo 1: Determinación de características ecofisiológicas de plantas de *Rosmarinus officinalis* y *Lavandula sp.* en competencia en condiciones mediterráneas.*

Simulando las condiciones propias de una revegetación mediterránea se plantaron individuos de *Rosmarinus officinalis* y *Lavandula x heterophylla* en un suelo de reposición con una densidad muy baja de propágulos de hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA). Las plantas estaban previamente inoculadas o no con el HMA *Glomus intraradices*. Se observó que tanto *R. officinalis* como *L. x heterophylla* son plantas muy micorrízicas, estableciendo la simbiosis MA incluso en suelos con una baja densidad de propágulos como el que nos ocupa.

Se ha constatado que la disponibilidad de agua regula las interacciones competitivas entre estas dos especies. En condiciones de aporte de agua suficiente *L. x heterophylla* obtiene un mayor crecimiento y producción pero en el momento de déficit hídrico resulta más afectada que *R. officinalis*. Los mecanismos de evitación de la sequía son los mismos para las dos especies pero la tolerancia a la sequía es debida a procesos distintos, en el caso de *R. officinalis* mediante ajuste osmótico (Fig. 1) en cambio en el caso de *L. x heterophylla* mediante ajuste elástico (Fig. 2).

Se ha observado que la presencia de más de un HMA en las raíces de las plantas mejora la funcionalidad de la simbiosis en las plantas.

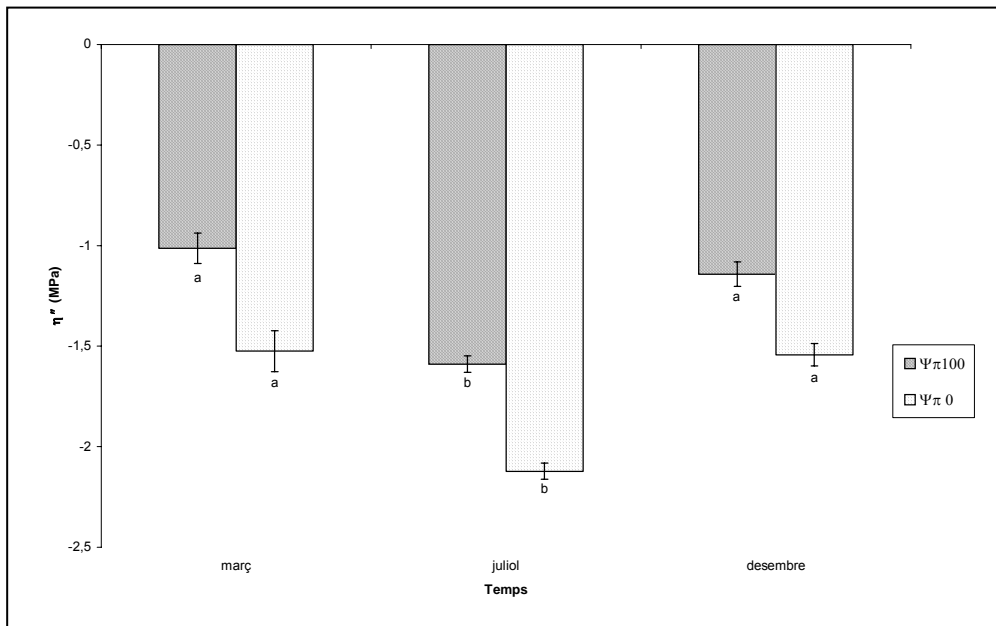


Figura 1. Potencial osmótico a saturación (ψ_{100}) y a pérdida de turgencia (ψ_0) del romero en las tres fechas de muestreo. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas para cada potencial osmótico ($P < 0,05$).

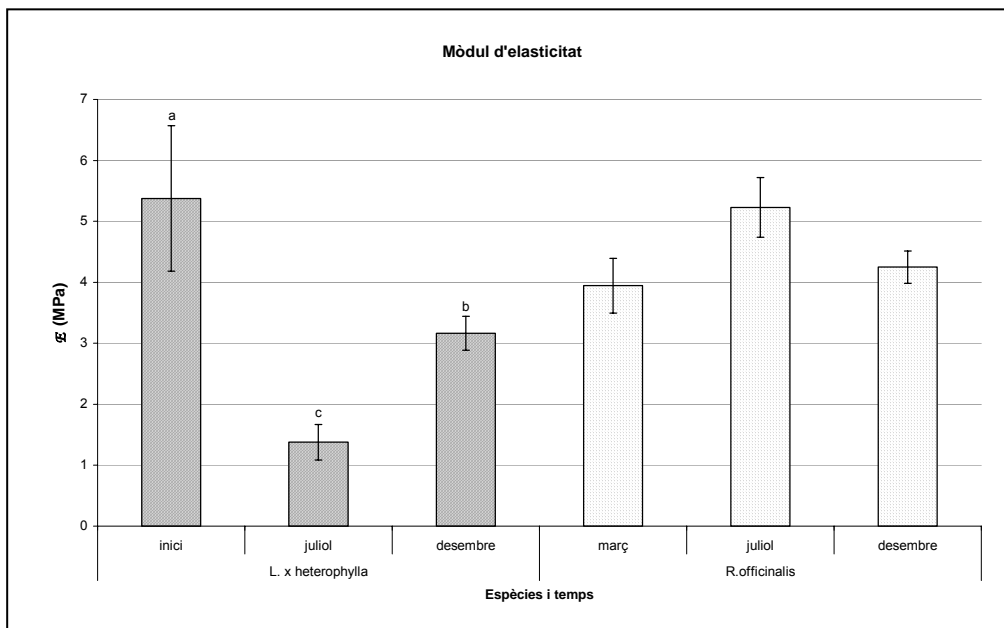
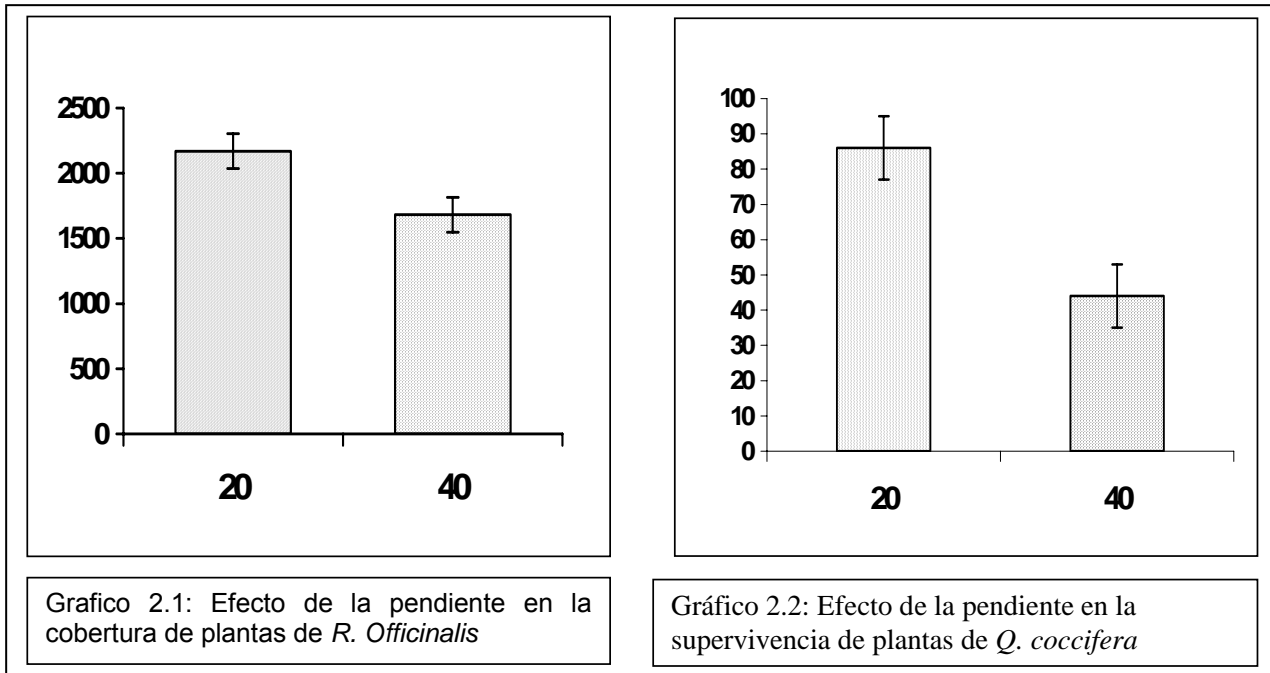


Figura 2. Módulo de elasticidad del romero y de la lavanda a lo largo del ensayo. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) dentro de cada especie.

Ensayo 2: Determinación del efecto de la pendiente en el establecimiento y crecimiento de plantas de Rosmarinus officinalis y Quercus coccifera

Se establecieron 8 parcelas distribuidas en dos pendientes de 20° y 40° en las que se establecieron plantas de *Rosmarinus officinalis* y *Quercus coccifera*, inoculadas o no con *Glomus intrradices* y *Pisolithus tinctorius* respectivamente (Figura 3 y 4).

La pendiente fue el factor principal de variación en el crecimiento de las dos especies de plantas.



En el caso de *Q. coccifera* la micorrización no tuvo efectos significativos ni en la supervivencia ni en el crecimiento.

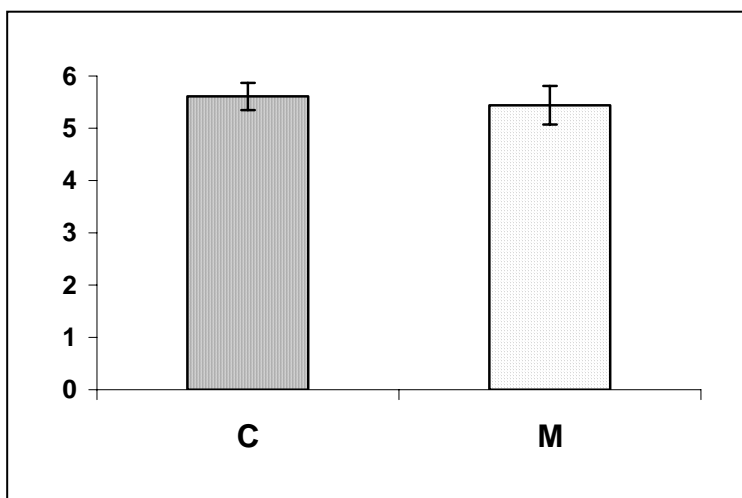


Figura 5. Efecto de la inoculación con *Pisolithus tinctorius* (M) en el crecimiento en diámetro (mm) de plantas de *Q. coccifera* en pendiente.

Sin embargo en el caso de *R. officinalis* las plantas micorrizadas tenían un crecimiento significativamente mayor que las no micorrizadas en los dos gradientes de pendiente estudiados (Fig. 6).

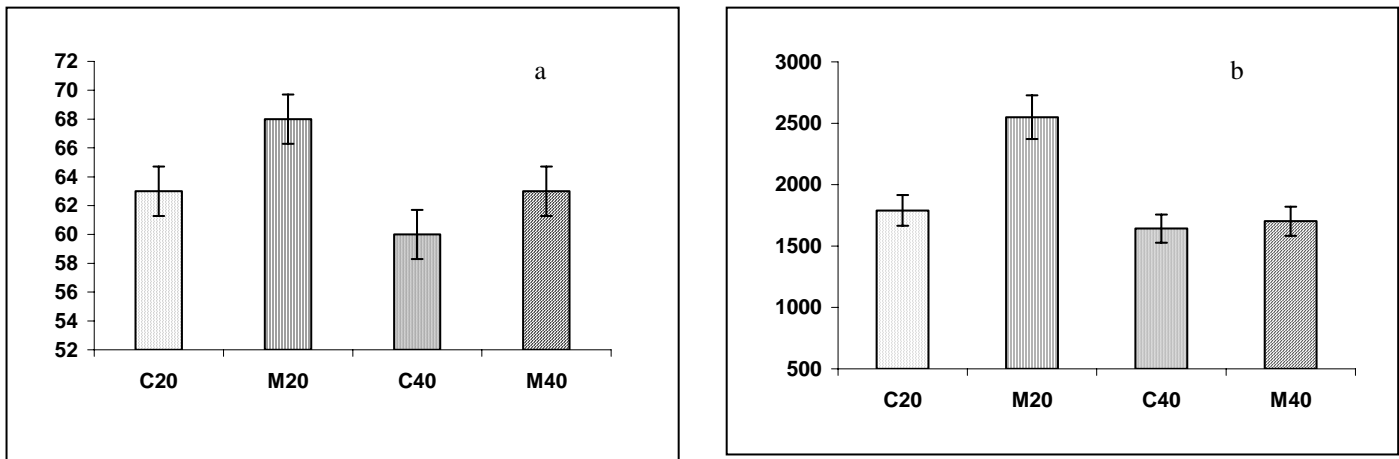


Figura 6. Altura (a) y cobertura (b) de plantas de *R. officinalis* establecidas en pendientes de 20 y 40 a los 12 meses de crecimiento.

La micorrización de plantas de *R. officinalis*, una de las plantas más utilizadas en revegetaciones de zonas semi-áridas, permite asegurar un mayor crecimiento, especialmente en pendientes moderadas.

Ensayo 3: Seguimiento de las características ecofisiológicas de Lavandula spica, Thymus vulgaris, Santolina chamaecyparissus y Juniperus phoenicea establecidas en un ensayo de revegetación en la cantera Dos Marías de Alcover (Tarragona).

Se muestrearon de forma periódica hojas de plantas inoculadas con *G.intraradices* y no inoculadas para observar la evolución del peso específico foliar. El peso específico es un parámetro que indica la respuesta de la planta a situaciones de estrés hídrico modificando o no la forma y peso de la hoja. En todas las especies estudiadas el paso del invernadero a condiciones de campo ha producido un incremento importante del peso específico foliar lo que indica una adaptación a condiciones más secas. La inoculación con un hongo MA no aporta diferencias significativas, aunque hay que tener en cuenta que todas las plantas estudiadas son extremadamente micótrofas y que a los seis meses de su establecimiento en campo las plantas no inoculadas presentaban también la simbiosis.

Objetivo 3: Optimización de los sistemas de inoculación y producción de planta micorrizada. Actividades 3.1, 3.2 y 3.4

a) Producción de plantas con ectomicorrizas.

Pinus halepensis, *Quercus coccifera* y *Cistus albidus* se cultivaron en contenedores forestales de 200cm³, en un sustrato de turba/vermiculita. Los hongos *Pisolithus tinctorius* y *Scleroderma verrucosum* se inocularon incorporando al sustrato, un preparado que contenía 2.10⁷ esp/plta en el caso de *P. tinctorius* y 2.10⁷ esp/plta en el caso de *S.verrucosum*. Las inoculaciones con *Rhizopogon roseolus* se realizaron aplicando una suspensión acuosa de esporas a una concentración de 5.10⁶ esp./plta. La inoculación de *Q. ilex* con *Tuber melanosporum* se realizó mediante una suspensión acuosa de esporas 4.10⁵ esp/plta.

b) Producción de plantas con micorrizas arbusculares.

Rosmarinus officinalis, *Santolina chamaeciparissus*, *Lavandula spica*, *Juniperus phoeniceae* y *Thymus vulgaris* se cultivaron en contenedores forestales con un sustrato mezcla de turba TKS1 con Terragreen (attapulgitra calcinada) en contenedores forestales de 300 cm³. Las plantas se produjeron por estaquillado y se inocularon en el momento del trasplante con 10 ml de inóculo bruto de *G. Intraradices*, cantidad suficiente para establecer la simbiosis.

c) Puesta a punto de sistemas de inoculación para zonas de difícil acceso:

Hidrosiembra: Los sistemas de hidrosiembra son una alternativa a tener en cuenta para establecer vegetación en zonas degradadas y de difícil acceso

Se realizaron tres actuaciones. En todos los casos se utilizó la misma mezcla de semillas: 60% gramíneas y 40 % leguminosas.

Al hacer las aplicaciones se reservó una cantidad de cada depósito que se vertió a presión en un contenedor para hacer una evaluación del proceso en condiciones controladas. La observación al microscopio confirmó que la mezcla con inóculo de micorrizas había sido efectiva en promover el establecimiento de la simbiosis.

Así mismo se observó una mayor producción en biomasa de los tratamientos con inóculo, que se reflejaba especialmente en un incremento de la cantidad de leguminosas. Al determinar los pesos de raíz se observó una mayor cantidad de raíces en los tratamientos con micorrizas

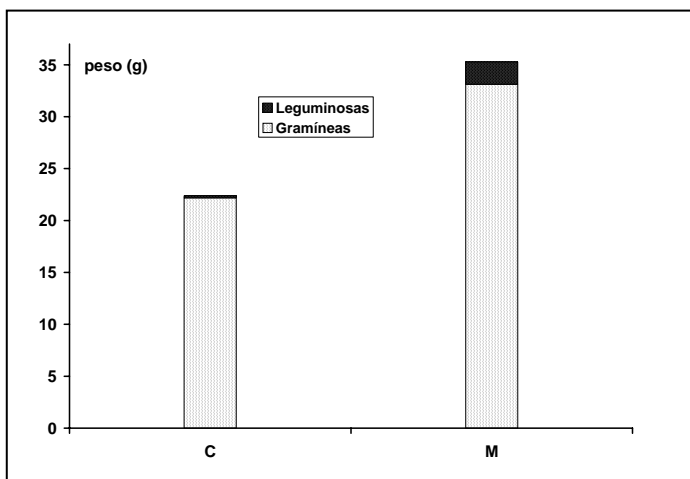


Figura 7. Crecimiento (peso fresco) de las herbáceas cosechadas a las 9 semanas de la hidrosiembra. Crecimiento en condiciones controladas

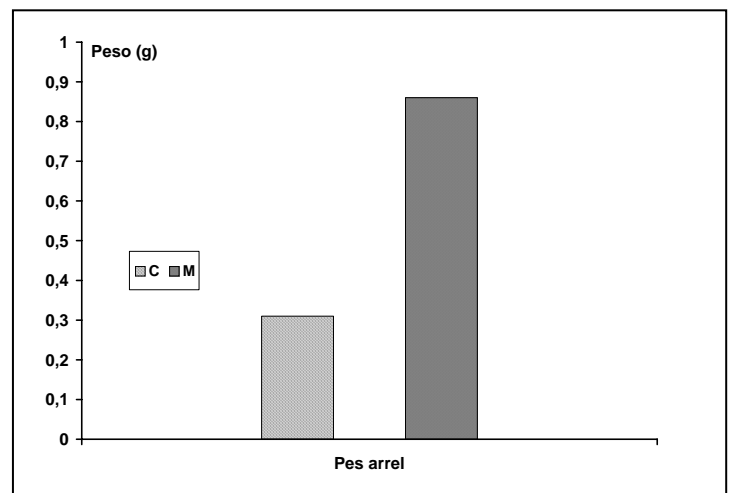


Figura 8. Peso de las raíces extraídas de una superficie de 24cm². En condiciones controladas

Objetivo 4: Verificación de los efectos de las micorrizas en la restauración y revegetación de las distintas zonas escogidas.

Zona de canteras con reposición edáfica (Cantera Dos Marías)

En esta zona de canteras se hicieron dos actuaciones.

En la primera (Alcover 1) el horizonte edáfico se repuso utilizando suelo apartado y apilado antes de iniciar la actividad minera. Esta capa tiene una profundidad media de 50 cm con una textura franco-arcillosa con numerosos elementos gruesos.

Se establecieron ensayos con *Q. ilex*, *Q. coccifera*, *P. halepensis* y *C. albidus* inoculadas o no con hongos ectomicorrícicos y con las plantas formadoras de micorrizas arbusculares, *J. phoeniceae*, *L. spica*, *Th. vulgaris* y *S. chamaecyparissus*. Periódicamente se midieron parámetros de crecimiento, ecofisiológicos, y de colonización radical.

Se observó que las plantas con ectomicorrizas tenían una mayor supervivencia al trasplante que las plantas no inoculadas. En el caso de las plantas con micorrizas arbusculares no se observaron diferencias en este parámetro.

En cuanto al crecimiento, las plantas de *P. halepensis* inoculadas con *Rhizopogon roseolus* presentaron diferencias significativas en el crecimiento que fueron disminuyendo de rango, probablemente debido a que los árboles no inoculados presentaban la simbiosis a los 6 meses de su establecimiento en campo.

Para las plantas formadoras de micorrizas arbusculares no se observaron diferencias significativas entre las plantas inoculadas y las no inoculadas. A los seis meses de su plantación las plantas no inoculadas habían establecido la simbiosis. El peso específico foliar aumentó en todos los tratamientos indicando una adaptación a las condiciones de sequía de la zona. La tendencia indica un incremento mayor para aquellas plantas control, en que el hongo simbionte era el endófito nativo. Para comprobar estos resultados se han inoculado plantas con el hongo nativo aislado de la zona, y se han establecido (Noviembre 2004) en una zona sin reposición edáfica. Los resultados se determinarán a final de los dos periodos de crecimiento del año 2005.

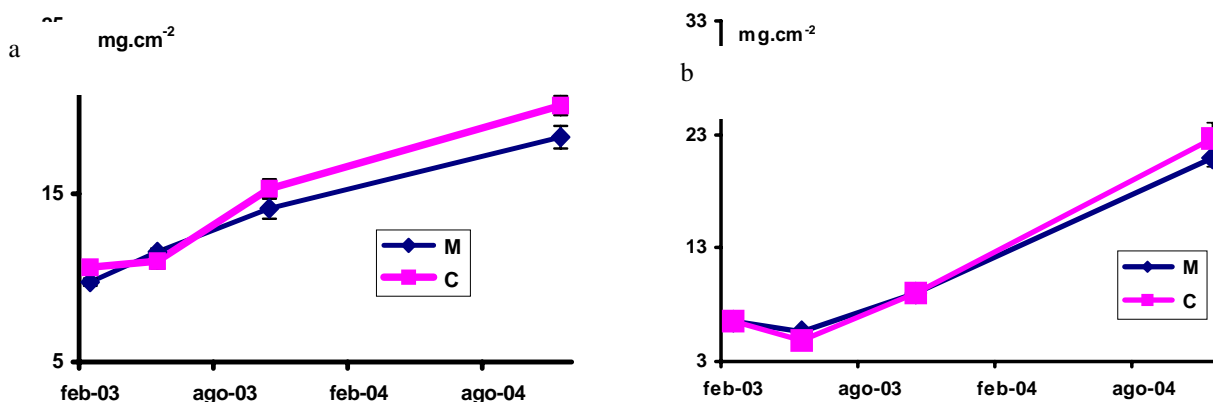


Figura 9. Peso específico foliar de *L. spica* (a) y *Th. vulgaris* (b) a lo largo del ensayo Alcover1

En una segunda actuación (Alcover 2) se mezcló 3% de compost de residuos urbanos para incrementar la proporción de materia orgánica. El diseño de la parcela fue un "split-plot" en el que se valoraba el efecto de la adición de compost de residuos urbanos en el crecimiento y supervivencia de *Quercus ilex* y *Pinus halepensis*. En el caso de *Quercus ilex* el hongo fue *Tuber melanosporum* y los arbustos *Santolina chamaecyparissus* inoculada con *Glomus intraradices*. En el caso de *Pinus halepensis* el hongo fue *Scleroderma verrucosum* y los arbustos fueron *Quercus coccifera* y *Cistus albidus* micorrizadops también con *Scleroderma verrucosum* y *Santolina chamaecyparissus* con *G. Intraradices*. Se midió la supervivencia a los 3 y a los 8 meses de la plantación.

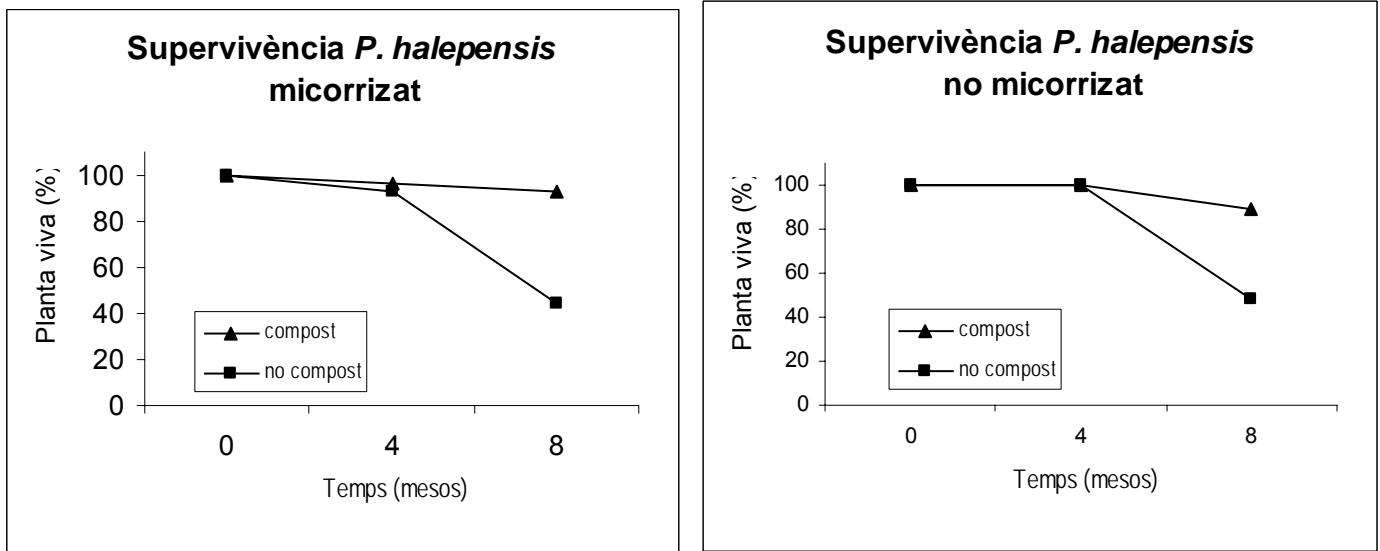


Figura 10. Supervivencia de *Pinus halepensis* micorrizado con *Escleroderma verrucosum* y control, con y sin compost.

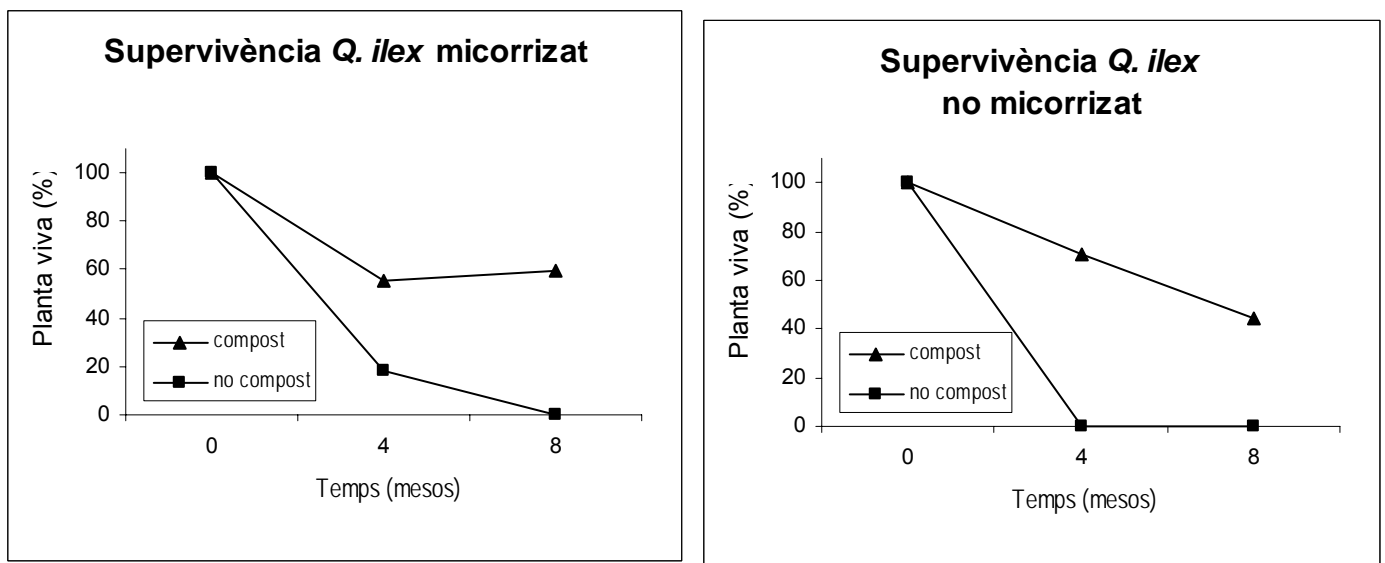


Figura 11. Supervivencia de *Quercus ilex* micorrizado con *Tuber melanosporum* y control, con y sin compost

Los resultados, muestran la importancia de la adición del compost en la supervivencia de los árboles estudiados.

En el caso de *Quercus ilex*, la mejor estrategia es la combinación de micorrización y adición de compost.

En el caso de *P. halepensis* no se observan diferencias entre plantas micorrizadas y no micorrizadas. Sin embargo la adición de compost sí que mejora la supervivencia de los árboles. En este caso la mejor estrategia es la adición de compost.

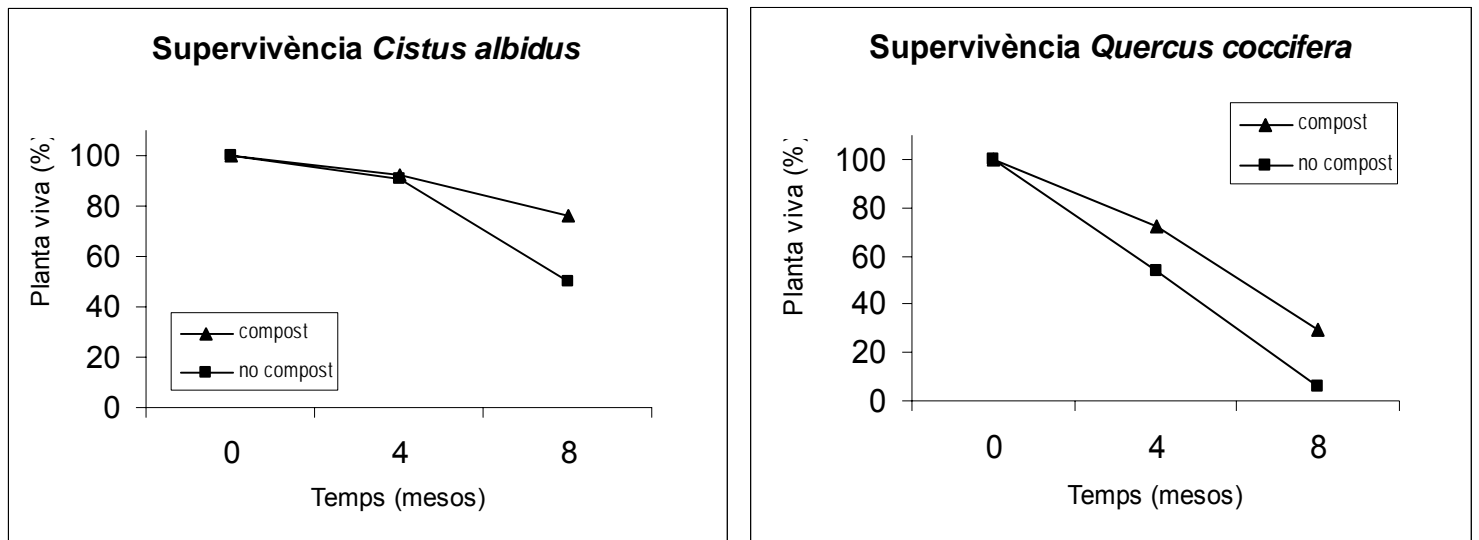


Figura 12. Supervivencia de *Cistus albidus* y *Quercus coccifera* micorrizados con *Escleroderma verrucosum* y control, con y sin compost

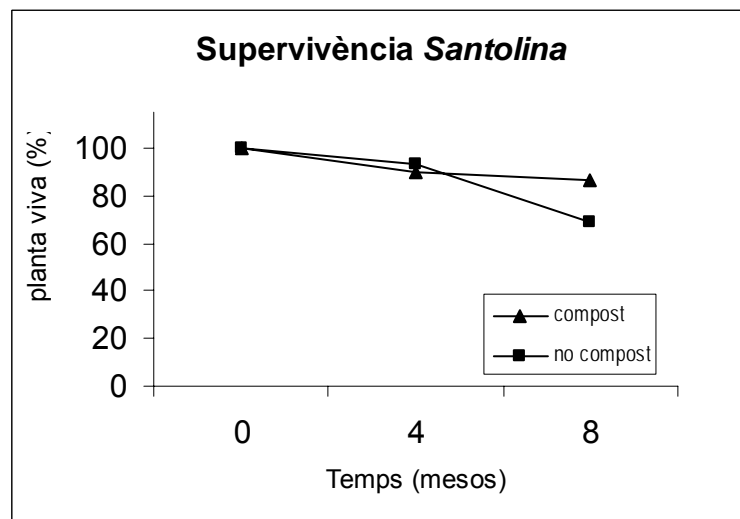


Figura 13. Supervivencia de *Santolina chamaecyparissus* micorrizada con *Glomus intraradices* y control, con y sin compost

La plantación de especies de *Quercus* puede ser interesante sobretodo si se confirma la permanencia a largo plazo del hongo introducido (*Tuber melanosporum*), en dicho caso se debería de combinar la plantación de *Quercus* micorrizados con un aporte de compost.

Ensayos en cantera sin reposición edáfica

Se han realizado en una cantera localizada en Castellar del Vallés. Se han establecido plantas de *R.officinalis*, *L. spica*, *S. chamaecyparissus* y *A. cytisoides* inoculadas o no con *G. intraradices*. Para todas las especies se observa una mejor respuesta de las plantas inoculadas a las condiciones de estrés existentes en la zona de la cantera.

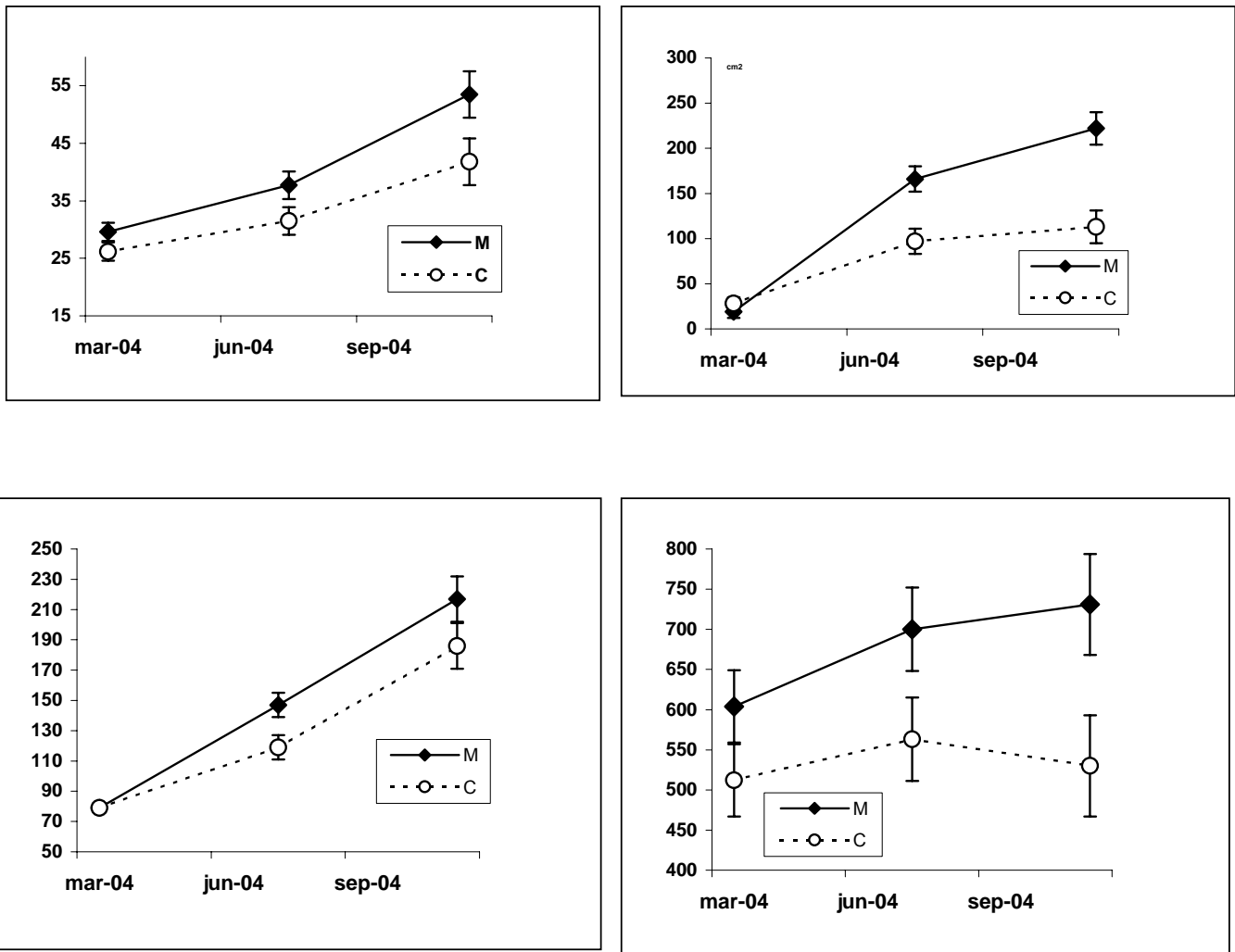


Figura 14. Evolución de la cobertura de *A. cytisoides* (a), *S. chamaecyparissus* (b), *R. officinalis* (c) y *L. spica* (d), inoculados con *G. intraradices* (M) o no (C) en la cantera sin reposición

Ensayos en ajardinamientos urbanos

a) Primera actuación: En noviembre 2001 se inició una primera actuación en un talud de la Plaza de la Amistad de Badalona.

b)

En esta primera actuación no se disponían de plantas previamente micorrizadas por lo que se inocularon en el momento de su trasplante a la zona estudiada.

El seguimiento de la parcela evidenció una baja supervivencia de todas las plantas en general. Las numerosas bajas no se pueden relacionar estrictamente con mortalidad ya que no se encontró la parte muerta de las plantas y hay indicios de que algunas fueron sustraídas. A los 34 meses del establecimiento de la plantación tan solo 4 especies se pueden considerar significativamente establecidas: *Rosmarinus officinalis*, *Santolina chamaecyparissus*, *Anthyllis citisoides* y *Cupressus sempervirens*.

Planta	Zona inoculada	Zona no inoculada
<i>Pinus pinea</i>	83%	100%
<i>Cupressus sempervirens</i>	58%	92%
<i>Nerium oleander</i>	11%	33%
<i>Salvia mycrophylla</i>	46%	25%
<i>Lavandula semidentata</i>	15% (60%)	33%
<i>Rosmarinus officinalis</i>	55%	40%
<i>Santolina chamaecyparissus</i>	45%	20%
<i>Anthyllis citisoides</i>	30% (60%)	40%
<i>Thymus serpyllum</i>	0%	13%
<i>Coprosma kirkii</i>	25% (50%)	68%

Supervivencia de plantas en el ensayo 1 de revegetación de taludes a los 18 meses de su establecimiento (Plaza Amistad –Badalona)

Planta	Zona inoculada	Zona no inoculada
<i>Pinus pinea</i>	16%	16%
<i>Cupressus sempervirens</i>	50%	33%
<i>Nerium oleander</i>	0%	0%
<i>Salvia mycrophylla</i>	0%	0%
<i>Lavandula semidentata</i>	15% (60%)	33%
<i>Rosmarinus officinalis</i>	55%	40%
<i>Santolina chamaecyparissus</i>	45%	20%
<i>Anthyllis citisoides</i>	30% (60%)	40%
<i>Thymus serpyllum</i>	0%	0%
<i>Coprosma kirkii</i>	0%	0%

Supervivencia de plantas en el ensayo 1 de revegetación de taludes a los 34 meses de su establecimiento (Plaza Amistad –Badalona)

b) Segunda actuación en la plaza de la amistad de Badalona

Para minimizar el efecto de la pérdida de plantas, se optó por un diseño de fácil plantación y seguimiento. Las plantas se micorrizaron previamente en el IRTA y estableció la plantación en primavera.

Supervivencia a los 6 meses de la plantación

Planta	Zona Inoculada	Zona No Inoculada
<i>Cupressus sempervirens</i>	100%	100%
<i>Eryocephalus africanus</i>	90%	65%
<i>Salvia microphylla</i>	45%	60%
<i>Coprosma kirkii</i>	90%	70%

Porcentaje de colonización radical de las plantas a los 6 meses de la plantación

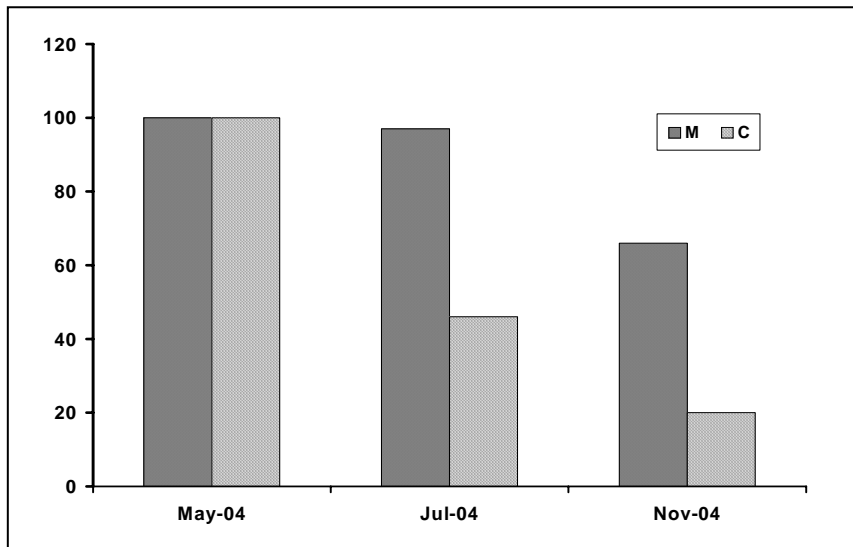
Planta	Zona Inoculada	Zona No Inoculada
<i>Cupressus sempervirens</i>	63%	40%
<i>Eryocephalus africanus</i>	35%	9%
<i>Salvia microphylla</i>	28%	12%
<i>Coprosma kirkii</i>	60%	40%

Supervivencia a los 18 meses de la plantación

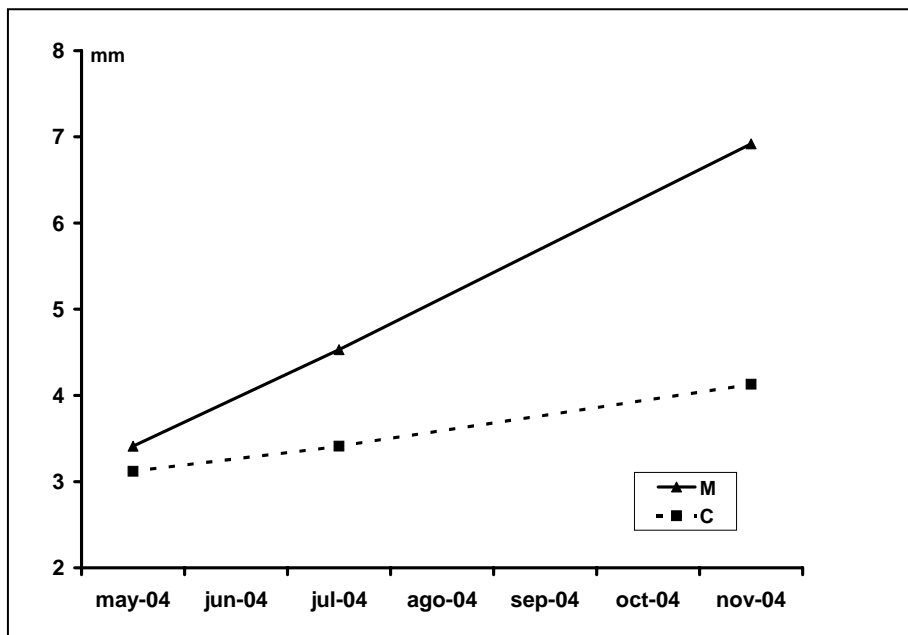
Planta	Zona Inoculada	Zona No Inoculada
<i>Cupressus sempervirens</i>	40%	40%
<i>Eryocephalus africanus</i>	85%	60%
<i>Salvia microphylla</i>	20%	5%
<i>Coprosma kirkii</i>	0%	0%

Los resultados de esta actuación muestran que en el caso de *Cupressus sempervirens* la micorrización no aporta ventajas significativas a los árboles, sin embargo en el caso de *Eryocephalus africanus* y de *Salvia microphylla* las plantas micorrizadas sobreviven de forma significativamente superior a las plantas no micorrizadas. La especie *Coprosma kirkii*, aunque muy utilizada en jardinería de zonas secas no se adaptó a las condiciones del talud revegetado.

c) Tercera actuación en la Plaza de la Amistad de Badalona: se establecieron dos parcelas, una para cada tratamiento de inoculación: plantas inoculadas con *G. intraradices*, plantas no inoculadas. Cada parcela contaba con 300 plantas de *Rosmarinus officinalis*. El efecto de las micorrizas fue determinante para incrementar tanto la supervivencia como el crecimiento de las plantas.



Supervivencia de *Rosmarinus officinalis*, micorrizado y control 2, 4 y 8 meses después del transplante en el talud de la Plaza de la Amistad de Badalona



Crecimiento en diámetro del tallo de *Rosmarinus officinalis* micorrizado y control en el talud de la Plaza de la Amistad de Badalona

Conclusiones: Análisis coste-beneficio de la inoculación con micorrizas en las distintas situaciones estudiadas.

Los beneficios de la inoculación con micorrizas pueden percibirse de forma distinta según los ámbitos de aplicación de esta simbiosis. En su utilización en restauraciones ha de considerarse además de su efecto intrínseco sobre las plantas los posibles efectos derivados sobre el suelo y el resto de la flora. En el caso de las actuaciones de ajardinamiento el beneficio a considerar se valorará en términos de efectividad económica..

En estas conclusiones se expone un ejemplo de cada una de las situaciones estudiadas.

- Análisis de la efectividad de la inoculación de *P. halepensis* en la cantera con reposición edáfica de suelo apilado.

En este caso no se valorará el efecto económico de la inoculación sino que se utilizará lo que se denomina “utilidades esperadas” (UE) como un parámetro subjetivo. Los valores de probabilidad y de “UE” se pueden definir de la siguiente forma:

P_2 probabilidad de supervivencia sin inocular le corresponde UE =1 no hay gastos añadidos a la restauración. Es la mejor opción.

P_1 probabilidad de supervivencia inoculando con micorrizas, a esta probabilidad se le puede atribuir un valor de UE = 0.9, un valor más bajo que para P_2 porque hay gastos de inoculación, sin embargo también hay que considerar un valor añadido a nivel de suelo con el establecimiento de la micorriza.

$1-P_1$ probabilidad de que todas las plantas inoculadas mueran, le corresponde un valor de UE= 0 es el peor resultado.

$1-P_2$ probabilidad de que todas las plantas no inoculadas mueran, le corresponde un valor de UE = 0.1, es un resultado malo pero al no haber gastos de inoculación su repercusión no es tan negativa como en el caso anterior.

Al hacer una matriz de análisis obtenemos que para que la inoculación sea recomendable desde un punto de vista de efectividad de su coste

$$0,9P_1 > 0,1 + 0,9 P_2.$$

En el caso que nos ocupa $P_2 = 0,77$

Por lo que P_1 debería de ser superior a 0,88, es decir la supervivencia de las plantas inoculadas ha de ser superior a 88%. En nuestro ensayo la supervivencia de las plantas de *P. halepensis* inoculadas fue de 90% por lo que se aconseja la inoculación.

- Análisis de la efectividad de la inoculación *S. chamaecyparissus* en la cantera sin reposición edáfica.

En este caso no se puede utilizar la supervivencia como parámetro ya que todas las plantas sobrevivieron al trasplante. Se puede emplear la dependencia micorrízica expresada como incremento (o decremento) de un determinado parámetro :

$$DM = (\text{Crecimiento con MA} - \text{Crecimiento sin MA}) / \text{Crecimiento con MA}.$$

En el caso de *S.chamaecyparissus* , la cobertura tiene un valor de $DM= 0,49= 49\%$.

Para un parámetro de crecimiento con un valor N para las plantas no micorrizadas las plantas micorrizadas tendrán un valor de $N_1= N+ DM.N$. La UE para N es igual a 1 y para N_1 es igual a 0,9 como en el apartado anterior.

Para que sea efectiva la inoculación $0,9 N_1 > N$ por lo tanto $0,9(N+ DM N) > N$ lo cual resulta en $DM > 0,11$. Es decir que para que se contemple la inoculación como una práctica efectiva hay que obtener un incremento en el crecimiento expresado como DM de al menos 11%, por lo que en el caso de *S. chamaecyparissus* en la cantera sin reposición edáfica la inoculación es una práctica efectiva.

- Análisis de la efectividad de la inoculación de *R. officinalis* en un ajardinamiento urbano

Para valorar este caso determinaremos en primer lugar los costes de la actuación:

Coste de la plantación (incluyendo la preparación del terreno) 690€

Coste de las plantas 150€

Coste de replantar 300€

Coste del inóculo y de la inoculación 160€

En este caso la ecuación de coste/beneficio, utilizando la iteración anterior y un valor arbitrario de $P_2=0,5$ (50% de supervivencia de las plantas control) P_1 tendría que ser superior a 0,96, es decir que la inoculación se justificaría con un incremento del 46% de la supervivencia.

En nuestro caso a los cuatro meses la supervivencia de *Rosmarinus officinalis* era de 46% para las plantas control y de 97% para las plantas inoculadas. A los nueve meses los valores eran de 20% y 66% para plantas control e inoculadas respectivamente, por lo que la inoculación ha de considerarse como una práctica recomendable en este caso.

Otras especies estudiadas, en las que la inoculación tiene efectos positivos, asumiendo los mismos costes de plantación e inoculación, no se aconsejaría la inoculación en actuaciones puramente comerciales debido a su coste. En el caso que nos ocupa para que un incremento del 20% en supervivencia sobre la supervivencia de las plantas control sea rentable, con los datos económicos apuntados, el precio del inóculo debería de ser inferior a 90€..

B. RESULTADOS MÁS RELEVANTES ALCANZADOS EN EL PROYECTO

1. CIENTÍFICOS

Este proyecto tiene una vocación más tecnológica que científica ya que su objetivo principal es la aplicación de una biotecnología bien estudiada en sistemas controlados de mesocosmos, pero que sin embargo no se ha estudiado suficientemente en el ámbito de la restauración a nivel de campo.

Como aportaciones científicas más destacables ha de mencionarse la determinación de la capacidad para establecer micorrizas de las plantas mediterráneas más utilizadas para proyectos de restauración y de jardinería sostenible. Así mismo se ha determinado la compatibilidad de la aplicación de compost de residuos urbanos con el establecimiento y el desarrollo de la simbiosis arbuscular y ectomicorrícica. Finalmente se ha evaluado el efecto de la simbiosis arbuscular en parámetros ecofisiológicos.

2. TECNOLÓGICOS

Las mejoras tecnológicas alcanzadas en el desarrollo de este proyecto se pueden encuadrar en tres ámbitos:

En el ámbito de cultivos en vivero se ha desarrollado un sistema con contenedores tipo forestal con un sustrato lo suficientemente ligero para hacer factible el transporte, y además permitir el establecimiento y un buen desarrollo de la simbiosis arbuscular junto con un buen crecimiento de las plantas.

En el ámbito de la restauración ecológica: se ha determinado en qué situaciones la inoculación con micorrizas aporta mejoras que aconsejen su utilización.

En el ámbito de jardinería urbana: Se ha determinado qué plantas son las que responden mejor a condiciones de estrés extremo y se ha valorado también la efectividad de la inoculación en términos económicos.

C. RESUMEN DE LOS RESULTADOS DEL PROYECTO

(A cumplimentar por cada grupo investigador)

1. Formación del personal Nº
- Personal Formado (2)
- Personal formado o en formación que se ha transferido al sector industrial:
- Doctores () Titulados Superiores (1) Técnicos ()

2. Tesis doctorales	(1)	en curso		
3. Artículos científicos en revistas	()	nacionales	(1)	internacionales
4. Artículos de divulgación en revistas	(2)	nacionales	()	internacionales
5. Artículos de revisión en revistas	()	nacionales	()	internacionales
6. Libros, capítulos de libros y monografías	()	nacionales	(2)	internacionales
7. Conferencias en congresos (por invitación)	()	nacionales	()	internacionales
8. Patentes y otros títulos de propiedad industrial	()	registrados	()	en explotación
	()	España	()	extranjero
9. Nuevos/mejoras de productos	()			
10. Nuevos/mejoras de procesos	()			

1. FORMACIÓN DE PERSONAL EN RELACIÓN AL PROYECTO, describir brevemente.

Ramón Martín Dómech ha realizado una tesis de master Universidad-Empresa en Biotecnología con título "utilització de la doble simbiosis micorriza arbuscular-rhizobium com a eina biològica per a millorar el desenvolupament sostenible dels recursos forestals en l'àrea de la mediterrànea" presentada en la Universidad Central de Barcelona, por la que obtuvo una calificación de 9/10

Sonia Vicente Delgado ha realizado su Proyecto Final de Carrera para obtener el título de Ingeniero Agrónomo, Superior en aspectos englobados en este proyecto. El título de su trabajo es: "Establiment de la simbiosis micorriza i estudi dels seus efectes en el creixement de plantes herbàcies utilitzades en revegetació" que obtuvo la calificación de Excelente en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad de Lérida. Sonia trabaja actualmente en la Conselleria de Agricultura de la Generalitat de Catalunya.

2. TESIS DOCTORALES REALIZADAS TOTAL O PARCIALMENTE EN EL PROYECTO (adjuntar resumen)

Indicar: Título, nombre del doctorado, Universidad, Facultad o Escuela, fecha de comienzo, fecha de lectura, calificación y director.

Tesis doctoral en curso (Inicio del 3 año). Título tentativo: Coevolución de las poblaciones de hongos endosimbiontes y de plantas arbustivas en procesos de restauración. Doctorando: Marta Busquets . Universidad Autónoma de Barcelona. Fecha tentativa de lectura: Diciembre 2006.

3. ARTICULOS CIENTÍFICOS EN REVISTAS (adjuntar separatas)

Indicar: Autor(es), título, referencia de la publicación.

Estaún V. Camprubí A. Calvet C. Pinochet J. 2003. Nursery and field response of olive trees inoculated with two arbuscular mycorrhizal fungi, *Glomus intraradices* and *Glomus mosseae*. *Journal of the American Society of Horticultural Science*. 128: 767-775

Se están preparando dos artículos que recogen los resultados obtenidos en el proyecto: Uno para Ciencia Horticulturae y un segundo para Ecological Restoration

4. ARTÍCULOS DE DIVULGACIÓN EN REVISTAS (adjuntar separatas).

Indicar: Autor(es), título, referencia de la publicación.

Estaún V. Camprubí A. Calvet C. 2001: Les micorizes, part integrant de les plantes. *Barcelona Verda* 78 pp30-31.

Vicente S, Estaún V, Camprubí A, Calvet C. 2002: Establecimiento de la simbiosis micorriza y estudio de sus efectos en el crecimiento de plantas herbáceas utilizadas en revegetación. Nutri-fitos pp169-171

5. ARTÍCULOS DE REVISIÓN (adjuntar separatas)

Indicar: Autor(es), título, referencia de la publicación.

6. LIBROS, CAPÍTULOS DE LIBROS Y MONOGRAFÍAS.

Indicar: Autor(es), título, referencia de la publicación.

Estaún V, Camprubi A, Joner E.J. 2002 Selecting arbuscular mycorrhizal fungi for field application En: Mycorrhizal Technology in Agriculture Ed S. Gianinazzi, H Schüepp, J.M. Barea & K. Haselwandter. Birkhauser Verlag Switzerland

Calvet C, Estaún V, Camprubí A, y J. Pinochet 2002 Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and non-symbiotic beneficial microbiota En: Arbuscular mycorrhizae Interactions in Plants, rhizosphere and Soils Ed A.K.Sharma & B.N. Johri Scinece Publishers Inc Enfield USA

7. CONFERENCIAS EN CONGRESOS, SIMPOSIOS Y REUNIONES (POR INVITACIÓN)

Indicar: Autor(es), nombre del congreso, lugar de celebración, año.

Vicente S, Estaún V, Calvet C y A. Camprubí 2002 : Establishment and development of the AM symbiosis in plants used for revegetation purposes In: AM Research in Europe. The dawning of a new millennium. Pisa (Italia) 10-12 octubre 2002

Ibrahim Ortas, Yoram Kapulnik and Victoria Estaun 2003: Scientific strategy for implementing Mycorrhizal research in the Mediterranean Region In : COST 8.38 7th Management Committee meeting Nicosia (Chipre) 20-22 Noviembre 2003

Estaun V, Pera J, Parladé, Calvet C, Camprubí A y C. Biel 2004 : Les Micorrizas en revegetació: Quan y com. Jornadas Técnicas del Mercado de la Flor. Vilassar de Mar (Barcelona) Mayo 2004

Biel C, de Herralde F, Evans RY, Pera J, Parladé J y R. Savé . Caracterización hídrica e hidráulica de Cistus albidus y Quercus coccifera micorrizados en vivero . VI simposium Hispano-Portugués. Relaciones Hídricas en las plantas.

8. PATENTES Y OTROS TÍTULOS DE PROPIEDAD INDUSTRIAL.

Indicar: Autor(es), título , registro, entidad titular de la patente, año, países, clase.

9. NUEVOS/MEJORAS DE PRODUCTOS

Indicar sus aspectos más relevantes.

10. NUEVOS/MEJORAS DE PROCESOS

Indicar sus aspectos más relevantes.

D. COLABORACIONES Y PARTICIPACIÓN EN PROGRAMAS INTERNACIONALES.

1. Si el proyecto ha dado lugar a colaboraciones con otros grupos de investigación, no participantes inicialmente en el proyecto coméntelas brevemente.

En caso contrario, indicar qué dificultades han encontrado.

2. Si han participado en proyectos del Programa Marco de I+D de la UE y/o en otros programas internacionales en temáticas relacionadas con las de este proyecto, indique programa, tipo de participación y beneficios para el proyecto.

Mencione las solicitudes presentadas al Programa Marco de la UE durante la ejecución del proyecto, aunque no hayan sido aprobadas.

E. COORDINACIÓN

1. Describa el desarrollo de la coordinación entre los participantes en el proyecto y los resultados de dicha coordinación en relación a los objetivos globales del mismo.

La coordinación dentro del grupo de distintos investigadores ha sido excelente y se plasmará en publicaciones científicas de los resultados obtenidos. La coordinación con las empresas ha sido muy buena lo que nos ha permitido realizar más ensayos de los que inicialmente se habían previsto.

2. Describa, si procede, las transferencias realizadas al sector industrial de los resultados obtenidos, indicando el carácter de la transferencia y el alcance de su aplicación.
3. Indique si esta colaboración ha dado lugar a la presentación de nuevos proyectos o si se tiene la intención de continuarla en el futuro. En caso afirmativo, describa brevemente cómo va a concretarse.

La colaboración con las canteras va a seguir de momento hasta finalizar el periodo vegetativo de este año para poder valorar los resultados finales.

A partir de los resultados ya obtenidos se ha presentado un nuevo proyecto al MEC, en el que seguiré el estudio de estrategias de restauración pero además se quiere ampliar el ámbito de aplicación a zonas contaminadas con metales pesados ya que en estudios preliminares se ha observado la efectividad de la combinación plantas autóctonas-micorrizas para establecer una cobertura vegetal en zonas degradadas.

4. Si el proyecto ha dado lugar a otras colaboraciones con el entorno socioeconómico (industrial, administrativo, de servicios, etc.), no previstas inicialmente en el proyecto, descríbalas brevemente.

Debido a los buenos resultados obtenidos y al interés que ha despertado esta iniciativa se ha establecido una colaboración con una cantera inicialmente no incluida en el proyecto: Cantera de Vallsallent (Castellar del Vallés). En este caso las condiciones de restauración son extremas ya que no se ha contado con reposición.

G. RESUMEN DE GASTO DEL PROYECTO

1. Gastos de personal (indicar datos personales, situación laboral y función desempeñada)

Total

—

2. Material inventariable (describir brevemente el material adquirido)

Total

—

3. Material fungible (describir brevemente el tipo de material)

Total

—

4. Viajes y dietas (describir brevemente)

Total

5. Otros gastos (describir brevemente)

Total

—

6. Costes indirectos.

Total

–

7. En caso de que exista algún remanente de consideración, indique su cuantía y las previsiones de gasto.

–

CON ESTE INFORME DEBERÁ ADJUNTARSE:

Organismos sujetos al control del tribunal de Cuentas y de la Intervención General de la Administración del Estado

- **Certificado de Gerencia o Servicio de Contabilidad** de la entidad participante (nombre, cargo, fecha, firma y sello) en el que se especifiquen los gastos efectuados con cargo a la subvención recibida.

Entidades restantes:

- **Certificado de la Gerencia o Servicio de Contabilidad** de la entidad participante (nombre, cargo, fecha, firma y sello) en el que se especifiquen los gastos efectuados con cargo a la subvención recibida acompañado de los justificantes de los gastos realizados.

Anexos a la memoria del proyecto P4: REN2000-0372-P4-03

Revegetación y restauración ecológica de zonas degradadas por causas antropogénicas utilizando las simbiosis endo y ectomicorrícicas en flora mediterránea autóctona

Anexo 1: Características de los suelos de las distintas zonas de ensayo

Características de los ecosistemas estudiados (Actividades 1.1 & 1.2)

Zona de canteras 1	Ecosistema problema	Ecosistema de referencia
	Cantera Dos Marias	Zona de bosque no explotada colindante con la cantera
Localización	Municipio Mont-Ral Comarca del Alt Camp Provincia de Tarragona	
pH suelo	8,3	7, 8
Carbonatos (%)	26	12
Flora dominante	-	Pinus silvestris, Pinus halepensis, Pinus nigra, Quercus coccifera, Ulex parviflorus,
Propagulos de endomicorrizas	2/100ml suelo	760/100ml suelo
Aislados de hongos endomicorrícico	-	Glomus ambisporum
Aislados de hongos ectomicorrícicos	-	-

Zona de canteras 2 (restauración sin reposición)	Ecosistema problema	Ecosistema de referencia
	Cantera Vallsallent	Zona de bosque no explotada colindante con la cantera
Localización	Municipio Castellar del Vallés Comarca Vallés Occidental Provincia de Barcelona	
pH suelo	8,9	8,3
Carbonatos (%)	50	12
Flora dominante		
Propagulos de endomicorrizas	0/100ml suelo	
Aislados de hongos endomicorrícico	-	Glomus sp.

Zona de Talud	Ecosistema problema
	Talud Plaza de la Amistad
Localización	Municipio Badalona Comarca Barcelonés Provincia de Barcelona
pH suelo	8
Carbonatos (%)	19
Fosforo (P ppm)	39
Potasio (K ppm)	> 600
Propagulos de endomicorrizas	4,5/100ml suelo
Aislados de hongos endomicorrícico	-

Anexo 2: Imágenes de los ensayos

Cantera Dos Marias: Con reposición edáfica de suelo apilado

Aspecto inicial



Reposición de suelo



Plantación



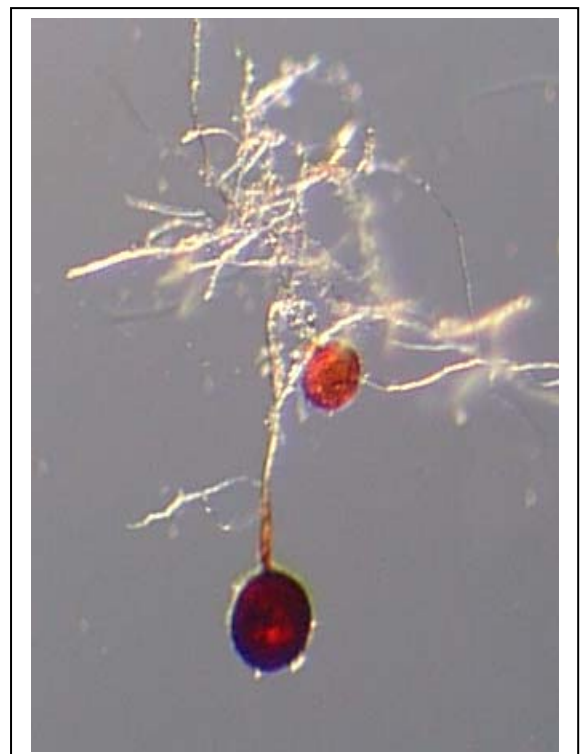
A los 12 meses



A los 18 meses



Endófito nativo: *Glomus ambisporum*



Cantera DosMarias con adición de compost de residuos urbanos



Cantera Dosmarías sin reposición de suelo (ensayo iniciado octubre 2004)



Cantera de Vallsallent sin reposición de suelo



1^{era} actuación con inoculación in situ



2^{da} actuación con plantas previamente inoculadas



Vista general a los 30 meses del primer ensayo



Ensayos de ajardinamiento urbano: 3^{era} actuación con *R. officinalis* micorrizado

Establecimiento de las parcelas



A los 8 meses del establecimiento

- A) Plantas micorrizadas
- B) Plantas no inoculadas

