



## RESPUESTA DIFERENCIAL A LA MICORRIZACIÓN EN PLANTINES DE EUCALIPTO

Mónica B. SAGADIN<sup>1</sup>, Carla S. SALTO<sup>2</sup>, Leonel HARRAND<sup>2</sup>

### RESUMEN

Se ha demostrado que los eucaliptos forman relaciones simbióticas tanto con micorrizas arbusculares (HMA) como con ectomicorrizas (ECM) en experimentos de vivero. El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento de dos fuentes de semillas de *Eucalyptus grandis* ante la inoculación con endo y ectomicorrizas durante la producción de plantas. Los tratamientos consistieron en la aplicación simple y dual de dos inóculos mixtos de HMA (CB y PL) y un inóculo comercial de ECM. El mayor porcentaje de micorrización se encontró en la doble inoculación CB+ECM. Las plantas procedentes del huerto semillero de plantas (HSP) tuvieron mayor micorrización que las plantas del huerto semillero clonal (HSC). No se detectaron diferencias significativas para el diámetro al cuello y el peso seco aéreo para los factores evaluados, no obstante, si hubo diferencias significativas para altura total, peso fresco aéreo y radicular y peso seco radicular. La efectividad de los inóculos (es el potencial que tienen los HMA para mejorar el crecimiento del hospedante) empleados presenta comportamiento diferencial para las variables de crecimiento de *Eucalyptus grandis* que varía con la procedencia de la semilla.

**Palabras clave:** micorrizas arbusculares, ectomicorrizas, crecimiento, *Eucalyptus grandis*, vivero

### 1. INTRODUCCIÓN

*Eucalyptus* es uno de los géneros más cultivados a nivel mundial, y es conocido por su rápido crecimiento y adaptabilidad (Myburg et al., 2014; Vivas et al., 2019). En Argentina, la provincia de Entre Ríos ocupa el tercer lugar a nivel nacional en cuanto a la superficie de bosques cultivados y la especie predominante es *Eucalyptus grandis* representando aproximadamente el 78,8 % de las plantaciones entrerrianas (Dirección General de Estadísticas y Censos de Entre Ríos, 2021).

El establecimiento de una relación simbiótica en eucalipto juega un papel importante en la promoción del crecimiento de las plantas y el aumento de la productividad (Jiang et al., 2024). Algunos estudios indican la presencia de simbiosis entre *E. grandis*, y hongos ectomicorrícicos (ECM); sin embargo, este género también forma simbiosis con micorrizas arbusculares (HMA) o con los dos grupos a la vez tanto en suelos de plantaciones como en condiciones controladas (Brundrett et al., 1996; Oliveira et al., 1997; Adams et al., 2006; Escobar Rodríguez, 2007). Escobar Rodríguez (2007), menciona que las especies del género *Eucalyptus* tienen mejor respuesta a la micorrización en la etapa de viverización con especies del grupo de las endomicorrizas, no obstante, una vez establecidas en terreno estas plantas pueden asociarse también con especies del grupo de las ectomicorrizas.

Se debe tener presente que el tipo de micorrizas formadas puede influir significativamente en el crecimiento de las plantas; en este sentido, se ha demostrado que los hongos ECM aumentan en gran medida el crecimiento de las plántulas de eucalipto, mientras que los efectos de los HMA son menos claros (Adams et al., 2006; Pagano y Scotti, 2006).

En Argentina, no existen antecedentes de la aplicación de HMA en plantas de eucalipto. En este sentido, este trabajo tuvo como objetivo evaluar el comportamiento de dos fuentes semilleras de *Eucalyptus*

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Instituto de Fisiología y Recursos Genéticos Vegetales; Unidad de Estudios Agropecuarios, INTA-CONICET (UDEA). Córdoba, Argentina. Contacto: [sagadin.monica@inta.gob.ar](mailto:sagadin.monica@inta.gob.ar)

<sup>2</sup> Estación Experimental Agropecuaria Concordia, INTA. Concordia, Entre Ríos, Argentina.



*grandis* ante la inoculación micorrícica con endo y ectomicorrizas durante la producción de plantas en vivero.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en el vivero de la Estación Experimental Agropecuaria de Concordia de INTA, Entre Ríos. Se utilizaron semillas de *E. grandis* peletizadas procedentes de dos fuentes semilleras: huerto semillero de progenies (HSP) y huerto semillero clonal (HSC), ambos, producto del programa de mejoramiento genético del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). La siembra se realizó en tubetes cónicos de 100 cm<sup>3</sup> de capacidad y se colocaron tres pellets por cavidad que luego fueron raleados para dejar una plántula por envase. El sustrato utilizado fue corteza de pino compostada.

Los tratamientos de inoculación consistieron en el agregado de dos inóculos de hongos formadores de micorrizas arbusculares: CB conformado por *Rhizophagus clarus*, *Funneliformis mosseae*, *Claroideoglossum etunicatum*, *Septoglossum constrictum* y *Rhizophagus intraradices* y PL por *C. etunicatum*, *F. mosseae*, *R. intraradices*, *Claroideoglossum claroideum* y *Diversispora spurca* obtenidos por Sagadin et al. (2018). El inóculo se constituyó como una mezcla de las raíces micorrizadas de las plantas trampas, esporas, hifas y el sustrato utilizado para el crecimiento, en una dosis de 20 g a los dos meses de la siembra. Además, se inocularon plantas con ectomicorrizas de una marca comercial constituido por *Suillus bovinus*, *Pisolithus tinctorius* y *Scleroderma geoster*, con una dosis de 10 ml de solución por planta (0,1 % según recomendación del prospecto). También se incluyeron tratamientos con inoculación dual (HMA + ECM) y plantines control sin inoculación. Durante todo el proceso de producción se realizó la fertilización a media dosis del esquema completo que normalmente se aplica en el vivero.

El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar con tres repeticiones y parcelas de 15 plantas. Al finalizar el ciclo productivo en vivero (a los seis meses), se realizó un muestreo destructivo considerando 5 plantas por cada tratamiento. Se determinaron variables relacionadas al crecimiento vegetativo de los plantines: porcentaje de micorrización en raíces, diámetro al cuello, altura total, peso fresco y seco tanto aéreo como radicular.

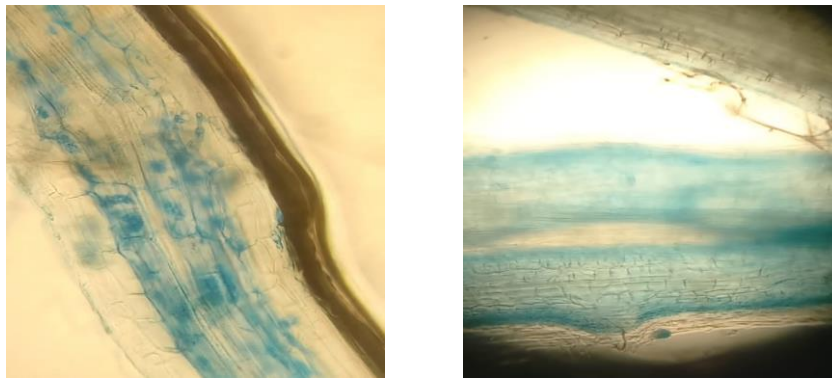
Para la determinación del porcentaje de micorrización se realizó la tinción de las raíces tanto para los tratamientos con HMA como para ectomicorrizas, según la metodología propuesta por Phillips y Hayman (1970). Los preparados para cada planta se hicieron por triplicado y se observaron en microscopio óptico, y la determinación de la colonización micorrícica se realizó mediante la técnica de McGonigle et al. (1990).

Para el análisis estadístico se utilizó el programa de Infostat (Di Rienzo et al., 2020) y cuando se detectaron diferencias significativas las medias fueron comparadas por Test LSD Fisher ( $p < 0,05$ ).

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La colonización por las micorrizas (tanto endo como ectomicorrizas) en las raíces de *E. grandis* se presentó en todos los tratamientos inoculados (Figura 1). Los mayores porcentajes de micorrización se encontraron en la inoculación dual (endo más ectomicorrizas) y, el tratamiento de CB + ECM fue el de mayor porcentaje (Figura 2A). En las plantas que tenían la aplicación de ambos tipos de inóculo (Endo+Ecto). La participación de los HMA en el porcentaje de micorrización fue mayor que la de su combinación con ECM, pero con una menor participación de estos últimos en el porcentaje total (Figura 2B). Las plantas con el agregado del inóculo comercial de ectomicorrizas fueron las que presentaron el menor porcentaje de micorrización independientemente de la procedencia de la semilla (Figura 2A).

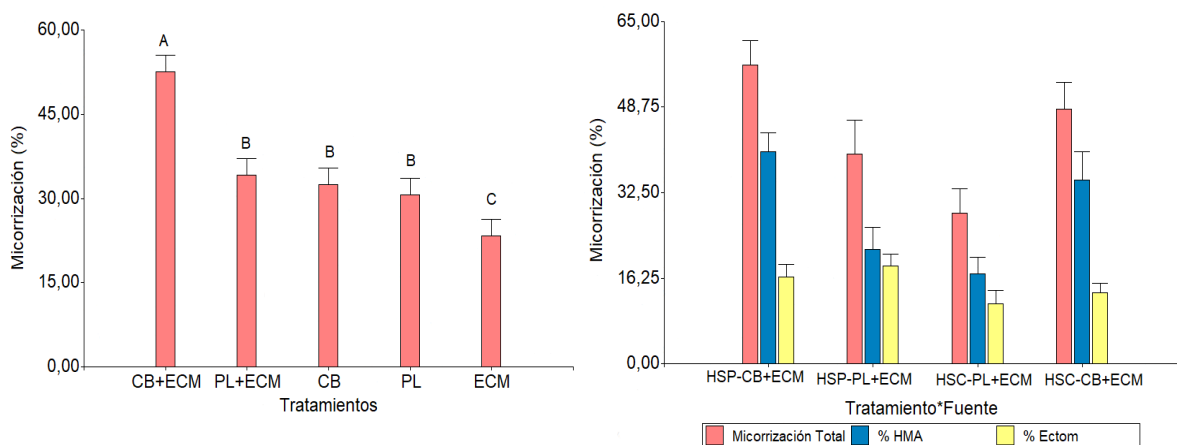
Las plantas procedentes del huerto semillero de plantas (HSP) presentaron mayor porcentaje de micorrización (37,7 %) con respecto a las plantas procedentes del huerto semillero clonal (HSC) (31,7 %).



**Figura 1.** Raíz de *Eucalyptus grandis* micorrizada con: A) hongos micorrícicos arbusculares y B) ectomicorrizas (Fotos: Mónica B. Sagadin).

Nuestros resultados no son coincidentes con lo indicado por Santos et al. (2001) quienes sugieren una sucesión en la inoculación dual, donde el aumento de la colonización por ECM está acompañado por una disminución de la colonización por parte de los HMA. Por su parte, Malajczuk et al. (1981) y Lapeyrie y Chilvers (1985), demostraron que las micorrizas vesículo arbusculares están presentes en los sistemas radiculares de las plántulas de eucalipto; sin embargo, cuando la planta crece, estas micorrizas se eliminan o disminuyen gradualmente y son reemplazadas por ectomicorrizas en el campo.

Para *E. grandis* se cita valores de porcentaje de colonización dual de 86,8 %; sin embargo, las especies de *Eucalyptus* difieren en cuanto al periodo de tiempo necesario para el establecimiento de las asociaciones micorrícicas y en la proporción máxima de sistema radicular que puede ser colonizado (Santos et al., 2001). De acuerdo con Adams et al. (2006), la colonización de ECM y HMA oscila entre el 10 % y el 95 % y la formación de ECM en *E. grandis* generalmente es menor en los plantines que en los árboles adultos. Por el contrario, las plantas cultivadas en suelos forestales en invernáculos tienden a ser moderadamente micorrícicas arbusculares con niveles variables de formación de micorriza (Adams et al., 2006). Las diferencias observadas en el porcentaje de raíces colonizadas tanto por HMA como por ECM pueden deberse a la competencia entre ambos (Chilvers et al., 1987). A pesar de que el porcentaje de micorrización de las plantas inoculadas con PL y PL+ECM ha sido menor que en aquellas inoculadas con CB (Figura 1), su efectividad es más importante. El inóculo de PL sólo o acompañado por ECM presentó mayor efectividad en la mayoría de las variables medidas.



**Figura 2.** A) Porcentaje de micorrización en plantines de *Eucalyptus grandis*-sin discriminar fuente semillera- de los tratamientos con hongos micorrícicos arbusculares (HMA: CB y PL) y ectomicorrizas (ECM) comercial. B) Conformación del porcentaje de micorrización en los tratamientos duales, para ambas fuentes semilleras evaluadas.

Del análisis de la variancia se desprende que para el diámetro del cuello y el peso seco aéreo no se presentaron diferencias significativas para ambos factores (Cuadro 1). Existe diferencias significativas



a nivel de fuente de semilla para el peso fresco y seco radicular, donde los mayores valores se encontraron en las plantas de HSC. El factor Inoculación fue significativo solamente en la variable peso seco (aéreo y radicular), comportándose mejor el tratamiento PL+ECM, siendo los de menor valor los testigos sin inocular y los inoculados con las ectomicorrizas (Cuadro 1).

La variable Altura Total, fue la única que presentó diferencias significativas en la interacción de los factores inoculación y fuente de semillas. El tratamiento que sobresalió es de las plantas inoculadas con PL sobre plantas del HSC (Cuadro 1).

Mason et al. (2000) registraron una relación negativa entre el diámetro del tallo, el peso seco del tallo y la infección micorrícica, independientemente de las condiciones utilizadas para criar las plántulas. Es importante considerar que una alta colonización micorrícica no siempre se traduce en un mejor desarrollo del huésped (Faye et al., 2013), lo cual ocurrió en nuestro ensayo ya que las plantas con mayor infectividad (capacidad del hongo para penetrar e invadir la raíz y explorar el suelo) no tuvieron un mejor comportamiento en las variables de crecimiento.

**Cuadro 1.** Parámetros de crecimiento de plantas de *Eucalyptus grandis* micorrizadas de 6 meses. Entre paréntesis el error estándar. DAC: diámetro del cuello, HT: altura, PFA: peso fresco aéreo, PFR: peso fresco radicular, PSA: peso seco aéreo, PSR: peso seco radicular. Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

Tratamiento	DAC (mm)	HT (cm)	PFA (g)	PFR (g)	PSA (g)	PSR (g)
<b>Fuente</b>						
HSC	3,21 (0,06)	34,47 (0,53)	4,59 (0,12)	3,08 (0,11)	A 1,52 (0,05)	0,64 (0,02) A
HSP	3,20 (0,06)	32,90 (0,53)	4,53 (0,12)	2,75 (0,11)	B 1,46 (0,05)	0,56 (0,02) B
<b>Inoculación</b>						
PL	3,21 (0,11)	35,36 (0,58)	4,68 (0,23)	AB 3,05 (0,28)	AB 1,57 (0,09)	0,61 (0,05)
CB	3,25 (0,09)	34,73 (0,90)	4,78 (0,25)	AB 2,84 (0,18)	AB 1,52 (0,09)	0,58 (0,03)
ECM	3,06 (0,06)	32,70 (0,83)	4,23 (0,15)	B 2,76 (0,11)	B 1,42 (0,06)	0,59 (0,02)
PL + ECM	3,37 (0,10)	33,72 (0,92)	4,92 (0,14)	A 3,26 (0,15)	A 1,60 (0,06)	0,69 (0,04)
CB + ECM	3,24 (0,12)	32,30 (0,75)	4,66 (0,22)	AB 3,05 (0,19)	AB 1,51 (0,09)	0,60 (0,04)
Testigo	3,07 (0,10)	33,30 (1,36)	4,09 (0,26)	B 2,54 (0,19)	B 1,32 (0,09)	0,54 (0,04)
<b>Fuente x Inoculación</b>						
HSC PL	3,22 (0,16)	38,58 (0,82)	A 4,65 (0,33)	3,04 (0,39)	1,49 (0,13)	0,59 (0,07)
HSC CB	3,22 (0,13)	36,32 (1,27)	AB 4,70 (0,35)	2,76 (0,26)	1,49 (0,13)	0,57 (0,04)
HSC ECM	3,14 (0,08)	33,98 (1,17)	BCD 4,36 (0,22)	3,08 (0,15)	1,49 (0,09)	0,68 (0,03)
HSC PL + ECM	3,24 (0,15)	31,88 (1,31)	CD 4,62 (0,20)	3,30 (0,21)	1,58 (0,09)	0,72 (0,06)
HSC CB + ECM	3,34 (0,16)	30,98 (1,05)	D 4,96 (0,31)	3,52 (0,27)	1,62 (0,13)	0,68 (0,06)
HSC Testigo	3,12 (0,15)	35,06 (1,92)	ABCD 4,28 (0,37)	2,80 (0,26)	1,43 (0,13)	0,60 (0,06)
HSP PL	3,20 (0,16)	32,14 (0,82)	CD 4,72 (0,33)	3,06 (0,39)	1,64 (0,13)	0,62 (0,07)
HSP CB	3,28 (0,13)	33,14 (1,27)	BCD 4,86 (0,35)	2,92 (0,26)	1,55 (0,13)	0,59 (0,04)
HSP ECM	3,04 (0,08)	31,42 (1,17)	D 4,10 (0,22)	2,44 (0,15)	1,35 (0,09)	0,51 (0,03)
HSP PL + ECM	3,50 (0,15)	35,56 (1,31)	ABC 5,22 (0,20)	3,22 (0,21)	1,63 (0,09)	0,67 (0,06)
HSP CB + ECM	3,14 (0,16)	33,62 (1,05)	BCD 4,36 (0,31)	2,58 (0,27)	1,40 (0,13)	0,52 (0,06)
HSP Testigo	3,02 (0,15)	31,54 (1,92)	CD 3,90 (0,37)	2,28 (0,26)	1,21 (0,13)	0,47 (0,06)
<b>Factores</b>						
Fuente	ns	*	ns	*	ns	*
Inoculación	ns	*	**	*	ns	ns
Fuente x Inoculación	ns	***	ns	ns	ns	ns

#### 4. CONCLUSIONES

Las plantas de *Eucalyptus grandis* se micorrizaron con la aplicación de HMA y tuvieron buena respuesta en las variables de crecimiento. Los inóculos de los HMA presentaron un mayor porcentaje de



micorrización y el mismo aumentó cuando se encontraba asociado a las ECM.

Los inóculos empleados tienen distinto comportamiento al ser aplicados en plantas de *Eucalyptus grandis*. Las plantas HSP presentaron mayor porcentaje de micorrización por ende mayor infectividad pero esto no se vio reflejado en la efectividad de los inóculos ya que las plantas HSC tuvieron mejores valores en altura total, peso fresco y peso seco.

La aplicación dual de inóculos de hongos micorrícicos arbusculares y de ectomicorrizas brindan beneficios a las plantas de *Eucalyptus grandis*.

## 5. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- ADAMS F., REDDELL P., WEBB M.L., SHIPTON W. 2006 Arbuscular mycorrhizas and ectomycorrhizas on *Eucalyptus grandis* (Myrtaceae) trees and seedlings in native forests of tropical north-eastern Australia. *Australian Journal of Botany* 54(3) 271-281 <https://doi.org/10.1071/BT05028>
- BRUNDRETT M, BOUGHER N, DELL B, GROVE T, MALAJCZUK N. 1996. Working with mycorrhizas in forestry and agriculture. Canberra, ACT, Australia: Australian Centre for International Agricultural Research, 1–374.
- CHILVERS G.A, LAPEYRIE F.F., HORAN D.P. 1987. Ectomycorrhizal vs. endomycorrhizal fungi within the same root system *New Phytol.*, 107 (1987), pp. 441-448.
- DI RIENZO J.A., CASANOVES F., BALZARINI M.G., GONZALEZ L., TABLADA M., ROBLEDO C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- SANTOS V. L., MUCHOVEJ R. M., CHAER BORGES A., L. NEVES J. C., KASUYA M. C. 2001. Vesicular-arbuscular-/ecto-mycorrhiza succession in seedlings of eucalyptus spp. *Brazilian Journal of Microbiology* (2001) 32:81-86 ISSN 1517-8382. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822001000200002>
- ESCOBAR RODRIGUEZ, R. 2007. Manual de viverización. *Eucalyptus globulus* a raíz cubierta. INNOVA Chile – INFOR. 230 p.
- FAYE, A.Y., DALPÉ, K. NDUNG'U-MAGIROI, J. JEFWA, I. NDOYE, M. DIOUF, D. LESUEUR, 2013. Evaluation of commercial arbuscular mycorrhizal inoculants. *Canadian Journal of Plant Science* 93: 1201-1208. Doi: 10.4141/cjps2013-326
- LAPEYRIE, F.F. AND CHILVERS, G.A., 1985. An endomycorrhiza-ectomycorrhiza succession associated with enhanced growth of *Eucalyptus dumosa* seedlings planted in a calcareous soil. *New Phytol.*, 100: 93-104. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1985.tb02761.x>
- MALAJCZUK, N., LINDERMAN, R.G., KOUGH, J. AND TRAPPE, J.M., 1981. Presence of vesicular-arbuscular mycorrhizae in *Eucalyptus* spp. and *Acacia* sp., and their absence in *Banksia* sp. after inoculation with *Glomus fasciculatus*. *New Phytol.*, 87: 567-572. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1981.tb03227.x
- MASON, P. A, IBRAHIM K., INGLEBY K., MUNRO R.C, WILSON J. 2000. Mycorrhizal development and growth of inoculated *Eucalyptus globulus* (Labill.) seedlings in wet and dry conditions in the glasshouse *Forest Ecology and Management*. Volume 128, Issue 3, Pages 269-277 [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00155-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00155-3)
- MYBURG, A., GRATAPAGLIA, D., TUSKAN, G. et al. The genome of *Eucalyptus grandis*. *Nature* 510, 356–362 (2014). <https://doi.org/10.1038/nature13308>
- PHILIPS J.M., HAYMAN D.S., 1970. Improved procedures for clearing rots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Brit. Mycol. Soc.*, 5:158-161. [https://doi.org/10.1016/s0007-1536\(70\)80110-3](https://doi.org/10.1016/s0007-1536(70)80110-3)
- VIVAS M, ROLO V, WINGFIELD MJ, SLIPPERS B. 2019. Maternal environment regulates morphological and physiological traits in *Eucalyptus grandis*. *Forest Ecology and Management* 432: 631–636. DOI:10.1016/j.foreco.2018.10.016
- DIRECCIÓN GENERAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS. Ministerio de Economía, Hacienda y Finanzas. Gobierno de Entre Ríos. 2021. Informe del sector forestal Entre Ríos. 14 p. Disponible en: <https://www.entrerios.gov.ar/dgec/wp-content/uploads/2022/12/Informe-forestal-2021.pdf>
- SAGADIN, M. B.; MONTEOLIVA M. I.; LUNA C. M. Y CABELLO M. N. 2018. Diversidad e infectividad de hongos micorrícicos arbusculares nativos provenientes de algarrobales del Parque Chaqueño argentino con características edafoclimáticas contrastantes. *Agriscientia* 35(2): 19-33. DOI: <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v35.n2>
- JIANG, Y., MO, X.Y, LIU, L.T, LAI, G.Z., QIU, G.W. 2024. Changes in the arbuscular mycorrhizal fungal community in the roots of *Eucalyptus grandis* plantations at different ages in Southern Jiangxi, China. *J. Fungi* 10(6), 404. <https://doi.org/10.3390/jof10060404>