

## Micorrización de *Lupinus* spp. en vivero, para mejorar el desarrollo de plantas en estrategias de restauración ecológica

Rufino Sandoval-García<sup>1</sup>

Eduardo Alanís-Rodríguez<sup>2</sup>

Claudia Cecilia Astudillo-Sánchez<sup>3</sup>

Arturo Mora-Olivo<sup>3,§</sup>

1 Departamento Forestal-Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. CP. 25315. Tel. 951 2404608 (rufino.sandoval.garcía@gmail.com).

2 Facultad de Ciencias Forestales-Universidad Autónoma de Nuevo León. Carretera Linares-Cd. Victoria km 145, Linares, Nuevo León, México. CP. 67700. Tel. 821 1182009. (eduardoforestal@gmail.com).

3 Facultad de Ingeniería y Ciencias-Universidad Autónoma de Tamaulipas. Centro Universitario Victoria, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. CP. 87149. Tel. 834 2754902. (ccastudillo@docentes.uat.edu.mx).

Autor para correspondencia: amorao@docentes.uat.edu.mx.

### Resumen

Las especies de género *Lupinus* se consideran de gran importancia ecológica y nutrimental, debido a su capacidad de fijación de nitrógeno atmosférico al suelo y al alto contenido de proteínas (semillas), fibras (hojas), azúcares (hojas) y minerales (semillas). El objetivo del presente estudio fue evaluar el desarrollo de *Lupinus montanus* y *L. campestris* como respuesta a la micorrización de las semillas. Se realizó la inoculación con *Rhizophagus irregularis*-BIOFertilizante INIFAP®. Los tratamientos fueron 400 plantas inoculadas (200 por especie) y 400 sin inoculación que se consideraron como testigo. Las variables evaluadas fueron crecimiento en diámetro basal (mm), altura total (cm) y producción de nódulos a un año de su establecimiento. El experimento se desarrolló en el mes de enero de 2022 en el vivero de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, en Linares, Nuevo León, México. El crecimiento promedio en las plantas con micorrización presentó una diferencia de 20% en diámetro basal y 14% en altura en *L. montanus*, mientras que en *L. campestris* fue de 5% en diámetro basal y 4% en altura. En la producción de nódulos se observó una diferencia del 12.5% en *L. montanus* y de 28% en *L. campestris* con respecto a las semillas sin inocular (testigo). La micorrización de las semillas incidió significativamente ( $p < 0.001$ ) en el desarrollo de *Lupinus* y sus características de crecimiento a un año de su establecimiento. Tanto *L. campestris* como *L. montanus* son idóneas para usarse en estrategias de restauración ecológica, debido a que generan microhábitats benéficos para las especies asociadas.

### Palabras clave:

*Rhizophagus irregularis*, fijación de nitrógeno, plantas nodrizas, simbiosis.

El género *Lupinus* destaca por la capacidad de su sistema radical para fijar nitrógeno atmosférico y mejorar la fertilidad del suelo (Weisany *et al.*, 2013). Este proceso sucede a través de la simbiosis entre raíces y bacterias nativas del género *Rhizobium* (Masson-Boivin y Sachs, 2018). Adicional a esta capacidad, sobresale su alto contenido de proteínas, minerales y vitaminas principalmente en sus semillas (Sujak *et al.*, 2006; Pablo-Pérez *et al.*, 2013, 2015). Además, contiene metabolitos secundarios, principalmente flavonoides y alcaloides quinolizidínicos, de suma importancia por sus aplicaciones farmacológicas y agrícolas (Zamora-Natera *et al.*, 2019).

En México se han registrado más de 100 especies del género *Lupinus*, las cuales se distribuyen en zonas templadas y frías, así como en regiones húmedas o secas, desde Baja California hasta Chiapas, a lo largo de las cadenas montañosas y en altitudes que van desde el nivel del mar hasta por encima de los 3 700 msnm en bosques subalpinos (Bermúdez *et al.*, 2000; Águila *et al.*, 2018). Algunas especies como *Lupinus montanus* y *L. campestris* tienen una amplia distribución en el territorio mexicano, principalmente en terrenos perturbados por la actividad humana, donde desempeñan un papel importante en el ciclo del nitrógeno (Rzedowski y Rzedowski, 2005).

Por otro lado, se ha probado que las especies del género *Lupinus* pueden ser especies nodrizas, ya que, por su rápido desarrollo, proveen sombra, humedad y nutrientes, lo cual aumenta la supervivencia de las especies de interés ecológico establecidas bajo su protección (Ramírez-Contreras y Rodríguez-Trejo, 2009). Dentro de la aplicación agrícola, se han utilizado especies de *Lupinus* en asociación con diversos cultivos de importancia económica para mejorar su rendimiento, como es el caso de *L. mutabilis* Sweet con maíz (Rodas *et al.*, 2001), *L. albus* L. y *L. angustifolius* L. con el cultivo de trigo (Barrientos *et al.*, 2002). Mientras que especies como *L. montanus* L. se han utilizado con *Pinus hartwegii* Lindl. (Ramírez-Contreras y Rodríguez-Trejo, 2009).

Diversos estudios han demostrado una mayor supervivencia y desarrollo en plantas inoculadas con micorrizas, como las investigaciones desarrolladas en pinos (Montes-Rivera *et al.*, 2001; Gómez-Romero *et al.*, 2013) y leguminosas (Liriano *et al.*, 2012; Trejo *et al.*, 2021), siendo de suma importancia profundizar en el conocimiento del potencial que tienen las asociaciones micorrízicas para ser utilizadas en programas de restauración ecológica (Carrillo-Saucedo *et al.*, 2022).

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar el desarrollo de *Lupinus montanus* y *L. campestris* como respuesta a la inoculación con *Rhizophagus irregularis*-BIOFertilizante INIFAP® a 12 meses de su establecimiento. La hipótesis es que la micorrización de *Lupinus* contribuyó en el desarrollo general de la planta (diámetro basal y altura total), así como en la producción de nódulos en los cuales se presenta la interacción entre las raíces y bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico, para su uso en la restauración ecológica de ecosistemas forestales degradados.

El sitio experimental se estableció en el vivero de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, localizado en el km 145 de la carretera nacional # 85, Linares, NL, entre las coordenadas geográficas 24° 47' latitud norte y 99° 32' longitud oeste, a una altitud de 379 m. La precipitación anual en Linares, NL fluctúa entre los 500 y los 1 100 mm, mientras que la temperatura varía de los 14 a los 24 °C.

La colecta del germoplasma se llevó a cabo en bosques de pino-encino en el estado de Oaxaca. Se colectaron ejemplares de *Lupinus campestris* en la comunidad de Santiago Laxopa (latitud norte, 17° 13.038', longitud oeste 96° 18.882', 1 854 msnm) y de *Lupinus montanus* en Teococuilco de Marcos Pérez (latitud norte 17°19.890', longitud oeste 96° 398.688', 2 127 msnm). La colecta se realizó durante los meses de noviembre y diciembre de 2021, mediante la selección de individuos con características fenotípicas adecuadas como diámetro y altura superiores, separadas a una distancia mínima de 10 m (Figura 1).



Figura 1. A) ejemplares de *Lupinus montanus* y B) *L. campestris*.



Las vainas colectadas se colocaron en bolsas de papel kraft, etiquetadas y clasificadas por especie, posteriormente expuestas al sol, para su apertura gradual (Sujak *et al.*, 2006; Pablo-Pérez *et al.*, 2013). Se seleccionaron semillas de tamaño y color similar, al depurar las semillas que no alcanzaron su maduración completa, para garantizar una mayor germinación.

Se establecieron unidades experimentales de 50 plantas distribuidas al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron 400 plantas inoculadas (200 por especie) y 400 sin inoculación que se consideraron como testigo. El proceso de inoculación consistió en impregnar las semillas con la mezcla adherente y aplicar 5 g de micorrizas en polvo (*Rhizophagus irregularis*-BIOFertilizante INIFAP®) a cada semilla. La siembra se realizó el 10 de enero de 2022, mediante charolas de germinación y se colocaron en el vivero con una malla sombra del 40%.

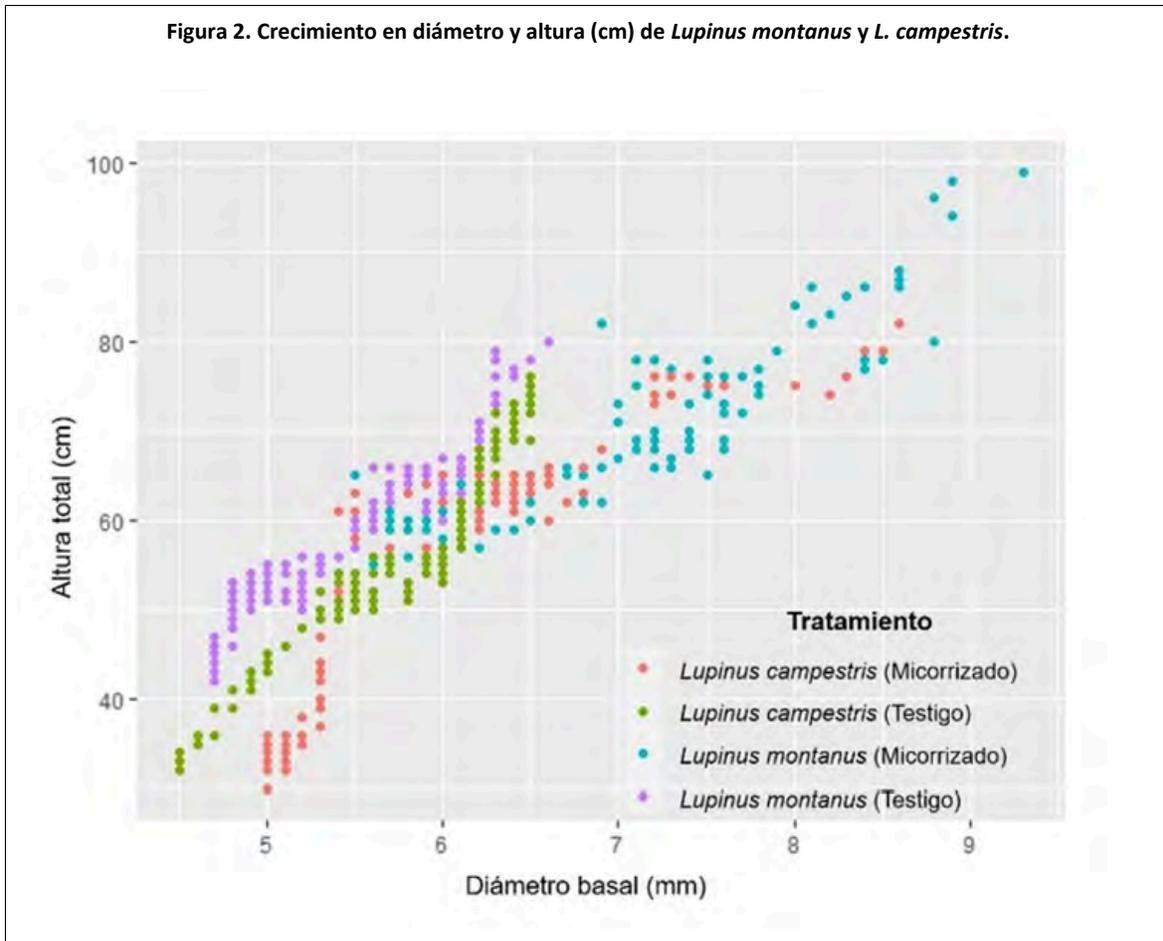
A los 30 días se llevó a cabo el trasplante en bolsas de polietileno negras de 23 x 30 cm, se utilizó como sustrato una mezcla de peat moss, arena, limo y arcilla y se ubicaron a cielo abierto en las instalaciones del vivero. Las variables evaluadas fueron: crecimiento en diámetro basal (mm), altura total (cm) y producción de nódulos a 12 meses del establecimiento. Las variables de crecimiento en diámetro y altura se evaluaron con un vernier digital y un flexómetro, mientras que el conteo de nódulos se realizó de manera manual en cada individuo.

Los datos se sometieron a un análisis de varianza y una comparación de medias mediante la prueba Tukey con un nivel de confianza de 95%, en el Software R-project (R Core Team, 2023). El conjunto de datos presentó normalidad de acuerdo con las pruebas de Shapiro-Wilk. Las plántulas de *Lupinus montanus* iniciaron su emergencia a partir de los seis días, con una germinación total del 85% a los 20 días; mientras que *L. campestris* lo hizo a partir de los ocho días, con una germinación de 92% a 20 días de su establecimiento.

A los 12 meses, *L. montanus* presentó un crecimiento promedio de 6.9 mm de diámetro basal y 69 cm de altura total, mientras que su testigo alcanzó 5.5 mm y 59 cm, respectivamente. Por otro lado, *L. campestris* tuvo un promedio de 6.0 mm de diámetro basal y 56 cm de altura total, mientras que su testigo contó con 5.7 mm y 54 cm en las variables correspondientes (Figura 2).



Figura 2. Crecimiento en diámetro y altura (cm) de *Lupinus montanus* y *L. campestris*.



La superioridad en el crecimiento en altura de *Lupinus montanus*, está relacionado con su adaptación a las condiciones microclimáticas, debido a que es una especie que se distribuye desde los 2 500 msnm en bosques de *Quercus-Pinus*, hasta los 4 100 msnm en praderas alpinas (Rzedowski y Rzedowski, 2005), mientras que *L. campestris* se encuentra de los 2 400 a los 3 200 msnm (Pablo-Pérez *et al.*, 2013).

El análisis Anova ( $\alpha= 0.05$ ) indica que *Lupinus montanus* con micorrización presenta una diferencia significativa en crecimiento en altura con el resto de los tratamientos ( $F= 32.782$ ,  $p< 0.001$ ). Con respecto al diámetro basal *L. montanus* se diferencia del resto de los tratamientos; no obstante, no hay diferencia significativa entre *L. montanus* testigo con *L. campestris* con micorrización y *L. campestris* testigo ( $F= 70.0387$ ,  $p< 0.001$ ). En cuanto a la producción de nódulos, la diferencia es entre *L. montanus* y los demás tratamientos ( $F= 27.774$ ,  $p< 0.000$ ); sin embargo, no existe diferencia significativa entre *L. campestris* con micorrización y *L. montanus* testigo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Parámetros estadísticos de los tratamientos.

| Especie              | Tratamiento   | # nódulos | Modelo $f=$<br>$y_0+a*x+b*x^2$                 | $R^2$  | Shapiro-Wilk |
|----------------------|---------------|-----------|--|--------|--------------|
| <i>L. montanus</i>   | Micorrización | 32        | $y_0= 96.619$ $a=$<br>$-17.286$ $b= 1.881$     | 0.818  | 0.9749       |
| <i>L. campestris</i> | Micorrización | 25        | $y_0= -230.288$ $a=$<br>$77.3723$ $b= -4.8704$ | 0.8906 | 0.9069       |

| Especie              | Tratamiento | # nódulos | Modelo f=<br>$y_0+a*x+b*x^2$             | R <sup>2</sup> | Shapiro-Wilk |
|----------------------|-------------|-----------|--|----------------|--------------|
| <i>L. montanus</i>   | Testigo     | 28        | $y_0= 69.1809$ a=<br>-19.2035 b= 3.1288  | 0.9225         | 0.9887       |
| <i>L. campestris</i> | Testigo     | 18        | $y_0= 79.3889$ a=<br>-28.6283 b = 4.2373 | 0.9391         | 0.9805       |

El rápido crecimiento está estrechamente relacionado con una simbiosis eficiente entre las raíces y nódulos bacterianos durante las primeras etapas de crecimiento (Zamora-Natera *et al.*, 2019). *Lupinus campestris* tuvo una mejor respuesta a la micorrización de semillas con un aumento del 28% en comparación con *L. montanus* que presentó el 12.5% en incremento en la producción de nódulos. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Águila *et al.* (2018) quienes obtuvieron como resultado una capacidad de fijación de nitrógeno alta en *L. campestris* en comparación con *Pisum sativum* L. y *Trifolium* spp.

El nitrógeno atmosférico fijado por *L. montanus* y *L. campestris*, beneficia significativamente a especies que se desarrollan en asociación con ellas, debido a que el nitrógeno es un elemento esencial para las plantas, como parte de las proteínas, ácidos nucleicos y clorofila, que se requieren principalmente en los tejidos vegetales en crecimiento (Ferrari y Wall. 2004); tal como lo documentaron Zamora-Natera *et al.* (2019), en su análisis con *Lupinus exaltatus* Zucc., *L. mexicanus* Cerv. ex Lag. y *L. rotundiflorus* M. E. Jones, donde concluyen que la contribución de nitrógeno fue superior en comparación con otras leguminosas, lo cual, está estrechamente relacionado con la producción de nódulos fijadores de nitrógeno.

De acuerdo con Ferrari y Wall (2004), la ventaja de esta simbiosis planta-hongo es que *L. montanus* y *L. campestris* pueden autoabastecerse de nitrógeno, lo cual eleva considerablemente su contenido de proteínas, y aporte de nitrógeno a un cultivo asociado, así como la posibilidad de dejar nitrógeno disponible en el suelo por la incorporación de la materia seca.

La implementación de *L. montanus* y *L. campestris* como plantas nodrizas, permitirá una disminución del estrés hídrico y radiación solar, debido al rápido desarrollo del área foliar, y esto contribuye en la supervivencia de especies de interés ecológico establecidas bajo su protección (Ramírez-Contreras y Rodríguez-Trejo, 2009).

Las plantas nodrizas desarrollan microhábitats, lo cual se puede demostrar con trabajos realizados por Aerts *et al.* (2007) con plántulas de *Olea europaea* L., las cuales presentaron una mayor supervivencia bajo la cubierta de arbustos en comparación a aquellas establecidas en parches de suelo desnudo y por Mendoza-Hernández *et al.* (2013) quienes obtuvieron como resultado que la densidad de plantas y la riqueza de especies fue significativamente mayor bajo las copas de *Buddleja cordata*, *Ageratina glabrata* (Spreng.) R. M. King & H. Rob. y *Sedum oxypetalum* Kunth en comparación con sitios abiertos.

## Conclusiones

La aplicación de micorrizas (*Rhizophagus irregularis* - BIOFertilizante INIFAP®) en semillas de *L. montanus* y *L. campestris* contribuye significativamente en el crecimiento en altura y diámetro, así como en la producción de nódulos en los cuales se presenta la interacción entre las raíces y bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico. La simbiosis entre hongo, raíz y bacterias contribuye de manera importante en el desarrollo de estas dos especies debido al crecimiento (diámetro y altura) y producción de raíces (producción de nódulos), que permiten aprovechar de una manera eficiente el agua y nutrientes disponibles en el suelo, mientras que las bacterias fijan el nitrógeno atmosférico para mejorar la fertilidad del suelo, por lo cual, pueden ser utilizadas como plantas nodrizas en estrategias de restauración ecológica.

## Bibliografía

- 1 Aerts, R.; Negussie, A.; Maes, W.; November, E.; Hermy, M. and Muys, B. 2007. Restoration of dry afro-montane forest using pioneer shrubs as nurse-plants for *Olea europaea* ssp. *cuspidata*. *Restoration Ecology*. 15(1):129-138. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1526-100X.2006.00197.x>
- 2 Águila, S. I.; Vázquez, C. O.; López, U. J.; López, L. A.; Martínez, R. E.; García, G. E. y Zamora, C. E. M. 2018. Variación morfológica y reproductiva de nueve poblaciones naturales de *Lupinus campestris* Schldl. & Cham., de la región centro oriente de Puebla, México. *Revista Científica Biológico-Agropecuaria Tuxpan*. 6(2):89-95. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v6i2.Especial.261>.
- 3 Barrientos, D. L.; Montenegro, B. A. y Pino, N. I. 2002. Evaluación de la fijación simbiótica de nitrógeno de *Lupinus albus* y *L. angustifolius* en un Andisol Vilcun del sur de Chile. *Terra Latinoamericana*. 20(1):39-44. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57320107>.
- 4 Bermúdez, T. K.; Robledo, Q. N.; Martínez, H. J.; Andreas, T. and Wink, M. 2000. Biodiversity of the genus *Lupinus* in Mexico. *In: Van Santen, E. M.; Wink, S. Weissmann y Römer, P. Ed. In: Proceedings 9<sup>th</sup> International Lupin Conference*. International Lupin Association. Klink/Mürtz, Germany. 294-296 pp.
- 5 Carrillo-Saucedo, S. M.; Puente-Rivera, J.; Montes-Recinas, S.; Cruz-Ortega, R. 2022. Las micorrizas como una herramienta para la restauración ecológica. *Acta Botánica Mexicana*. 129:1-27. [Doi.org/ 10.21829/abm129.2022.1932](https://doi.org/10.21829/abm129.2022.1932).
- 6 Ferrari, A. E. y Wall, L. G. 2004. Utilización de árboles fijadores de nitrógeno para la revegetación de suelos degradados. *Revista de la Facultad de Agronomía*. 105(2):63-87. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2007388>.
- 7 Gómez-Romero, M.; Villegas, J.; Sáenz-Romero, C. y Lindig-Cisneros, R. 2013. Efecto de la micorrización en el establecimiento de *Pinus pseudo-strobus* en cárcavas. *Madera y Bosques*. 19(3):51-63. <https://doi.org/10.21829/myb.2013.193327>.
- 8 Liriano, G. R.; Núñez, S. D. B. y Barceló, D. R. 2012. Efecto de la aplicación de *Rhizobium* y Mycorrizas en el crecimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L) variedad CC-25-9 negro. *Centro Agrícola*. 39(4):17-20.
- 9 Masson-Boivin, C. and Sachs, J. L. 2018. Symbiotic nitrogen fixation by rhizobia-the roots of a success story. *Current Opinion in Plant Biology*. 44:7-15. [Doi.org/ 10.1016/j.pbi.2017.12.001](https://doi.org/10.1016/j.pbi.2017.12.001).
- 10 Mendoza-Hernández, P. E.; Orozco-Segovia, A.; Meave, J. A.; Valverde, T. and Martínez-Ramos, M. 2013. Vegetation recovery and plant facilitation in a human-disturbed lava #eld in a megacity: searching tools for ecosystem restoration. *Plant Ecology*. 214:153-167. <http://dx.doi.org/10.1007/s11258-012-0153-y>.
- 11 Montes-Rivera, G.; Solís-González, S.; Quintos-Escalante, M. 2001. Efecto del inoculante comercial BURIZE® (*Glomus intraradices*) sobre el desarrollo de *Pinus engelmannii* Carr. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 7(2):123-126.
- 12 Pablo-Pérez, M.; Lagunes-Espinosa, L. C.; López-Upton, J.; Ramos-Juárez, J. y Aranda-Ibáñez, E. 2013. Morfometría, germinación y composición mineral de semillas de *Lupinus silvestres*. *Bioagro*. 25(2):101-108. <http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci-arttext&pid=S1316-33612013000200003>.
- 13 Pablo-Pérez, M.; Lagunes-Espinosa, L. C.; López-Upton, J.; Aranda-Ibáñez, E. M. y Ramos-Juárez, J. 2015. Composición química de especies silvestres del género *Lupinus* del estado de Puebla, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 38(1):49-55.
- 14 R Core Team. 2023. R: a language and environment for statistical computing. R. Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <https://www.r-project.org/>.

- 15 Ramírez-Contreras, A. y Rodríguez-Trejo, D. A. 2009. Plantas nodriza en la reforestación con *Pinus hartwegii* Lindl. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 15(1):43-48. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62916073010>.
- 16 Rodas, C. A.; Núñez, E. R.; Espinoza, H. V. y Alcantar, G. G. 2001. Asociación lupino-maíz en la nutrición fosfatada en un andosol. Terra. 19(2):141-154. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57319205.pdf>.
- 17 Rzedowski, G. C. y Rzedowski, J. 2005. Flora fanerogámica del Valle de México. 2ª Ed. Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán, México, DF. 1404 p.
- 18 Sujak, A.; Kotlarz, A. and Strobel, W. 2006. Compositional and nutritional evaluation of several lupin seeds. Food Chemistry. 98(4):711-719. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.06.036>.
- 19 Trejo, D.; Hernández-Acosta, E.; Baeza-Guzmán, Y.; Pérez-Toledo, G.; Morgado-Viveros, E. and Bañuelos, J. 2021. Efectividad de los hongos micorrízicos arbusculares introducidos y nativos en seis leguminosas coberteras. Scientia. 51:1-13. <https://doi.org/10.33885/sf.2021.51.1320>.
- 20 Weisany, W.; Raei, Y. and Allahverdipoor, K. H. 2013. Role of some of mineral nutrients in biological nitrogen fixation. Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences. 2(4):77-84. Doi.org/ 10.1016/B978-0-443-18675-2.00004-3.
- 21 Zamora-Natera, J. F.; Zapata-Hernández, I. y Villalvazo-Hernández, A. 2019. Fijación biológica del nitrógeno en tres especies silvestres del género *Lupinus* (Leguminosae, Papilionoideae) en México. Acta Botánica Mexicana. 126:e1543. <http://dx.doi.org/10.21829/abm126.2019.1543>.



## Micorrización de *Lupinus* spp. en vivero, para mejorar el desarrollo de plantas en estrategias de restauración ecológica

|  |
|--|
| Journal Information  |
| Journal ID (publisher-id): remexca   |
| Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas                                      |
| Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc  |
| ISSN (print): 2007-0934  |
| Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias |

|                                       |
|---------------------------------------|
| Article/Issue Information             |
| Date received: 01 December 2024       |
| Date accepted: 01 February 2025       |
| Publication date: 16 April 2025       |
| Publication date: Feb-Mar 2025        |
| Volume: 16                            |
| Issue: 2                              |
| Electronic Location Identifier: e3504 |
| DOI: 10.29312/remexca.v16i2.3504      |

### Categories

Subject: Nota de investigación

### Palabras clave:

**Palabras clave:**

Rhizophagus irregularis  
fijación de nitrógeno  
plantas nodrizas  
simbiosis

### Counts

Figures: 2  
Tables: 1  
Equations: 0  
References: 21  
Pages: 0