



Fundación
Miguel Lillo
Tucumán
Argentina

doi

Micorriza arbuscular en dos especies de *Anemia* (Anemiaceae) con diferentes requerimientos ecológicos

Arbuscular mycorrhizas in two species of *Anemia* (Anemiaceae) with different ecological requirements

Grosso Dalúz, Luciano¹; Gabriela Romagnoli^{1*}; Marcelo Arana^{2,3}; Patricia Liliana Albornoz^{1,4}

¹ Facultad Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Universidad Nacional de Tucumán. San Miguel de Tucumán, Argentina.

² Instituto Criptogámico, Sección Pteridología, Fundación Miguel Lillo. San Miguel de Tucumán, Argentina.

³ Grupo GIVE, Departamento de Ciencias Naturales, Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales, Instituto ICBA (UNRC-CONICET), Universidad Nacional de Río Cuarto. Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

⁴ Instituto de Morfología Vegetal, Área Botánica, Fundación Miguel Lillo. San Miguel de Tucumán, Argentina.

* Autor correspondiente: <mgromagnoli@csnat.unt.edu.ar>

Resumen

De las 1200 especies de licofitas y helechos analizados hasta el momento, el 67% evidenciaron la presencia de micorriza arbuscular. Entre ellas, las pertenecientes a Anemiaceae presentan la máxima frecuencia de micorrización arbuscular a nivel mundial. En Argentina se reconocen siete especies de *Anemia*, entre ellas *A. australis* y *A. phyllitidis*, con diferentes nichos ecológicos. El objetivo de este trabajo fue documentar, caracterizar el tipo morfológico y determinar el porcentaje de colonización micorrízica arbuscular en *A. australis* y *A. phyllitidis* var. *phyllitidis*. Se colectaron sistemas radiculares de cinco individuos por especie en el Jardín Botánico Horco Molle (Tucumán); los mismos fueron tratados con técnicas convencionales. Ambos taxones evidenciaron la colonización de micorrizas arbusculares con los tipos morfológicos *Arum* y *Paris*. El porcentaje de colonización hifal fue superior al 90 % en ambas especies, siendo el arbuscular significativamente mayor en *A. phyllitidis* var. *phyllitidis* y el vesicular mayor en *A. australis*. Esto podría

► Ref. bibliográfica: Grosso Dalúz, L.; Romagnoli, G.; Arana, M.; Albornoz, P. L. 2025. Micorriza arbuscular en dos especies de *Anemia* (Anemiaceae) con diferentes requerimientos ecológicos. *Lilloa* 62 – Suplemento N° 2: "Interacciones biológicas en un mundo cambiante": 263-275. doi: <https://doi.org/10.30550/j.lil/2081>

► Recibido: 11 de diciembre 2024 – Aceptado: 9 de junio 2025 – Publicado: 27 de junio 2025.

► URL de la revista: <http://lilloa.lillo.org.ar>



► Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución – No Comercial – Sin Obra Derivada 4.0 Internacional.

reflejar los requerimientos de las especies debido a los distintos hábitats que ocupan las mismas. Asociados a los HMA se detectó la presencia de endófitos septados. Se describe por primera vez la presencia de micorrizas arbusculares para *A. australis* y *A. phyllitidis* var. *phyllitidis*.

Palabras clave: *Anemia australis*; *A. phyllitidis*; micorrizas; endófitos.

Abstract

Of the 1200 species of lycophytes and ferns analyzed to date, 67% showed the presence of arbuscular mycorrhizas. Among them, species belonging to Anemiaceae show the highest frequency of arbuscular mycorrhization worldwide. In Argentina, seven species of *Anemia* are recognized, including *A. australis* and *A. phyllitidis* which occupy different ecological niches. The aim of this work is to document, characterize the morphological type, and determine the percentage of arbuscular mycorrhizal colonization in *A. australis* and *A. phyllitidis* var. *phyllitidis*. Root systems from five individuals per species were collected from the Horco Molle Botanical Garden (Tucumán) and were processed using conventional techniques. Both taxa evidenced arbuscular mycorrhizal colonization with *Arum* and *Paris* morphological types. The percentage of hyphal colonization was over 90 % in both species, with arbuscular colonization being significantly higher in *A. phyllitidis* var. *phyllitidis* and vesicular colonization was higher in *A. australis*. This could indicate the specific physiological requirements of each species, given the diverse range of habitats they occupy. Septate endophytes were detected in association with AMF. This is the first report of the presence of arbuscular mycorrhizae in *A. australis* and *A. phyllitidis* var. *phyllitidis*.

Keywords: *Anemia australis*; *A. phyllitidis*; mycorrhizae; endophytes.

INTRODUCCIÓN

Anemia Sw. (Anemiaceae) comprende alrededor de 115 especies de helechos con una distribución fundamentalmente gondwánica, siendo su centro de diversidad América tropical y subtropical, con escasos representantes en África (tropical y austral), Madagascar e India meridional (Labiak *et al.*, 2015; Mickel, 2016). Las especies de este género se caracterizan por los esporangios, que poseen un anillo de dehiscencia (annulus) subapical y esporas triletes, tetrahédricas, estriadas (Mickel, 2016). El género posee tres subgéneros, de los cuales en Argentina está presente únicamente *Anemia* subgénero *Anemia*, que morfológicamente se distingue porque sus rizomas poseen un indumento de tricomas de color naranja variando desde naranja rojizo hasta ocráceo y las frondes, que en general presentan pinnas hemidimorfás, con dos pinnas basales fértiles y erectas (Smith *et al.*, 2006; Labiak *et al.*, 2015). El subgénero está representado por siete especies (Ramos Gia-

cosa, 2016), entre las que se encuentran *A. australis* (Mickel), M. Kessler & A.R. Sm y *A. phyllitidis* (L.) Sw. La primera se distribuye en Perú, Bolivia y ambientes serranos del centro y noroeste de Argentina, mientras que *A. phyllitidis* se halla ampliamente distribuida desde México hasta el sur de Brasil, Uruguay, Paraguay y en Argentina principalmente, en el noroeste y noreste (Mickel, 2016; Ramos Giacosa, 2016). Esta especie posee cuatro variedades, de las cuales tres habitan en Argentina, mientras que *A. phyllitidis* var. *fraxinifolia* (Raddi) Hass., es endémica de Brasil (Mickel, 2016). De las tres variedades presentes en Argentina, sólo *A. phyllitidis* var. *phyllitidis* está presente en el Noroeste argentino, las otras dos variedades están restringidas al sector noreste del país (Mickel, 2016).

Anemia phyllitidis var. *phyllitidis* posee hábito herbáceo, de 20 a 70 cm de longitud, con rizoma corto cubierto de tricomas castaño-rojizos. Las frondes presentan láminas pinnadas, con las pinnas fértiles próximas a las estériles, sobrepasando la longitud de la lámina (Ramos Giacosa, 2016). En cambio, *Anemia australis* es un helecho herbáceo erguido, de hasta 50 cm de longitud, con rizoma horizontal, con tricomas color naranja-ocráceo (Luján *et al.*, 2000). Las frondes poseen láminas 2-pinnadas a 2-pinnado-pinnatifidas, con las pinnas fértiles erectas y distanciadas de las estériles (Ramos Giacosa, 2016).

Aunque estas especies habitan desde selvas y bosques húmedos o secos, roquedales, hasta estepas gramíneas de montaña (De la Sota, 1968, 1977); son frecuentes en áreas abiertas con suelos propensos a sequías periódicas. En estos ambientes se expresan una serie de caracteres xeromórficos, los cuales evidencian las adaptaciones morfo-anatómicas tendientes a reducir la pérdida de agua (Labiak *et al.*, 2015, Ribeiro *et al.*, 2019, Romagnoli *et al.*, 2021). Además, estas especies habitan en hábitats muy diferentes: *Anemia australis* crece en ambientes con estación seca muy marcada, habitando en roquedales y lugares abiertos como pastizales, con luz solar directa, mientras que *A. phyllitidis*, posee preferencia por el sotobosque húmedo y ambientes riparios, incluso de bosques en galería (Mickel, 2016; Romagnoli *et al.*, 2021). En los suelos de lugares que presentan una marcada estacionalidad de precipitaciones, las plantas asociadas a hongos micorrízicos arbusculares (HMA) incrementan la absorción y transporte de agua, debido a que las hifas generan redes de micelio que además mejoran la estructura del suelo (Marschner y Dell, 1994; Zhao *et al.*, 1999; Morte *et al.*, 2000). Por otra parte, la micorriza arbuscular desempeña un papel importante en el ciclado de nutrientes, ya que las conexiones hifales permiten el intercambio de elementos esenciales entre el hongo y las plantas (Smith y Read, 2008; Kottke *et al.*, 2008; Field *et al.*, 2015; van Der Heijden *et al.*, 2015).

Los HMA, pertenecen al Subphylum Glomeromycotina (Spatafora *et al.*, 2016), al colonizar las raíces de sus hospederos la micorriza arbuscular que forman puede exhibir dos tipos morfológicos: *Arum* y *Paris* (Dickson, 2004). Lehnert y Kessler (2016) y Lehnert *et al.* (2017) mencionan que de 1200 especies de licofitas y helechos analizados, un 67% evidencian este tipo

de asociación. Anemiaceae ha sido considerada como una familia con la máxima frecuencia de micorrización a nivel mundial (Lehnert *et al.*, 2017).

En lo que respecta a las especies de interés, se han documentado antecedentes de colonización micorrízica arbuscular solo para *Anemia phyllitidis* (Andrade *et al.*, 2000; Zubek *et al.*, 2010; Lara Pérez *et al.*, 2015), mientras que no existen registros para *A. australis*.

Coexistiendo con la MA, es frecuente observar también hongos endófitos septados oscuros (ESO), pertenecientes a los Ascomycetes dematiáceos, que colonizan el tejido cortical (Jumpponen, 2001) y pueden formar asociaciones mutualistas similares a los HMA facilitando la absorción de nutrientes y la protección contra varios factores de estrés en las plantas hospedadoras (Valdez Nuñez *et al.*, 2022). Además, se ha sugerido que la melanización de las hifas de estos hongos podría contribuir a la adaptación de la planta hospedadora a condiciones adversas, ya que la melanina jugaría un rol importante en la eliminación de radicales libres que se generan bajo estrés abiótico (Redman *et al.*, 2002).

El objetivo de este trabajo fue documentar, caracterizar y comparar el tipo morfológico de micorriza arbuscular en *Anemia australis* y *A. phyllitidis* var. *phyllitidis*, así como determinar el porcentaje de colonización micorrízica arbuscular en estas especies de helechos que cohabitan, pero que tienen requerimientos ecológicos diferentes por lo que se esperaría encontrar diferencias en la colonización micorrízica y los hongos septados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Los ejemplares de *Anemia australis* y *A. phyllitidis* var. *phyllitidis* (Fig. 1A, B) fueron colectados en el Jardín Botánico Horco Molle (JBHM), perteneciente a la Facultad de Ciencias Naturales e IML de la UNT (Yerba Buena, Tucumán), depositándose un ejemplar de referencia de cada especie en el herbario LIL (Thiers, 2024). La región presenta un clima templado con una temperatura media anual entre 18°C y 20°C, de inviernos tenues y secos, y veranos cálidos y lluviosos, con precipitaciones anuales entre 600-1000 mm (Mendoza y González, 2011). El Jardín constituye un espacio de recuperación del ambiente original representativo del distrito de las Selvas de Transición, provincia biogeográfica Yungas. Este distrito ocupa las llanuras al pie de las montañas y los cerros bajos, posee una estación seca muy marcada que coincide con el invierno y con precipitaciones menores y mayores temperaturas que otras áreas. Se caracteriza por la dominancia de especies arbóreas como *Anadenanthera colubrina* var. *cebil* (Griseb.) Altschul y *Tipuana tipu* (Benth.) Kuntze (Fabaceae) *Calycophyllum multiflorum* Griseb. (Rubiaceae), *Cedrela balansae* C. DC. (Meliaceae) y *Phyllostylon rhamnoides* (J. Poiss.) Taub. (Ulmaceae), en general de hoja caduca (Arana *et al.*, 2021). El relieve se caracteriza por zonas de laderas con pendientes pronunciadas, con densa



Fig. 1. Esporofitos. A) *Anemia australis*, hábito. B) *Anemia phyllitidis* var. *phyllitidis*, hábito. Escalas= A-B: 5 cm.

Fig. 1. Sporophytes. A) *Anemia australis*, habit. B) *Anemia phyllitidis* var. *phyllitidis*, habit. Scales= A-B: 5 cm.

cobertura vegetal y suelos poco profundos (Quiroga, 2020), con perfiles tipo A/Bt/C, con importante aporte orgánico en los horizontes superficiales y procesos de eluviación/iluviación de arcillas (Puchulu y Fernández, 2014).

Ejemplares de referencia

Anemia australis: Argentina, Tucumán, Depto Yerba buena, Jardín botánico Horco Molle, 26°47'34"S, 65° 18'55"O, 604 m snm, 10-VI-2024, M. Romagnoli & M. Arana 30 (LIL618266).

Anemia phyllitidis var. *phyllitidis*: Argentina, Tucumán, Depto Yerba buena, Jardín botánico Horco Molle, 26°47'34"S, 65°18'55"O, 604 m snm, 10-VI-2024, M. Romagnoli & M. Arana 31 (LIL618267).

Tratamiento de raíces

Se colectó material fresco de sistemas radiculares de 5 individuos por especie, los que se trataron con la técnica de Grace y Stribley (1991). Las raíces se clarificaron con KOH al 10% durante 3 días a temperatura ambiente, posteriormente para acelerar la clarificación se sometieron durante 2 horas a 90° C en baño maría. Luego de la clarificación las raíces fueron tratadas con H₂O₂ de 20 volúmenes a baño maría por una hora para terminar de remover los compuestos fenólicos que quedaban en las paredes de algunas células. Las raíces fueron enjuagadas tres veces con agua destiladas y acidificadas con HCL al 2%. Finalmente, se tiñeron con azul de anilina 0,05%.

Para la estimación de la colonización micorrízica, se utilizó la técnica del microscopio compuesto (McGonigle *et al.*, 1990). Se examinaron 150 intersecciones por individuo por especie, para un total $n=450$ (por especie), con un microscopio óptico a un aumento de 200x. En cada intersección de la raíz con la retícula vertical del ocular, se registró la presencia o ausencia de arbusculos, vesículas e hifas. La colonización arbuscular, vesicular e hifal se calculó como la proporción de la longitud de la raíz que contenía cada una de estas estructuras fúngicas. Se obtuvieron los siguientes porcentajes: colonización hifal, vesicular y arbuscular. En todos los casos se estimó la media (\bar{x}) y el error standard, salvo la frecuencia de los tipos morfológicos, que se estimó por observación directa. Para la cuantificación de los ESO, se registró el número de puntos de colonización y se identificaron estructuras características (hifas oscuras, hifas hialinas y microesclerocios). Posteriormente, se estimó la frecuencia de colonización en el sistema radicular ($F\%$), definida como el porcentaje de fragmentos de raíz observados que presentan cualquier estructura micorrízica (Trouvelot *et al.*, 1986). Para la medición de las hifas y vesículas se tomó, al azar, la medida de 5 hifas y vesículas por preparado y se obtuvo un promedio de las mismas. Las observaciones se realizaron con microscopio óptico (Carl Zeiss, Axiostar Plus, Göttingen, Alemania). Las microfotografías se tomaron con cámara digital (Olympus SP350, 8.0MP, Tokio, Japón). Todas las mediciones se realizaron con la reglilla incluida en el ocular micrométrico, realizándose las conversiones pertinentes dependiendo del aumento en el que se tomó la medición.

Para el análisis estadístico de los datos se aplicó la prueba No Paramétrica de Kruskal Wallis (Zar, 1996). Cuando se encontraron diferencias significativas se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Dunn (Zar, 1996).

RESULTADOS

Anemia australis y *A. phyllitidis* var. *phyllitidis* evidenciaron la presencia de micorriza arbuscular con los tipos morfológicos *Arum* y *Paris*, siendo la morfología *Arum* la más frecuente. En ambos taxones el grosor de las hifas fue similar para cada tipo morfológico; en la morfología *Arum* las hifas intercelulares presentaron un grosor de 1,3-2,6 μm , con arbusculos intracelulares (Fig. 2A-C); mientras que en *Paris* las hifas intracelulares formaron circunvoluciones con arbusculos y presentaron de 3,9-5,2 μm de grosor (Fig. 2D, E). La morfología *Arum* fue la más frecuente. Se evidenciaron vesículas intercelulares esféricas (19 \times 18 μm) y elipsoidales (36 \times 22,5 μm), además de esporas adheridas a las raíces (34,5 \times 22,5 μm) (Fig. 2F, G).

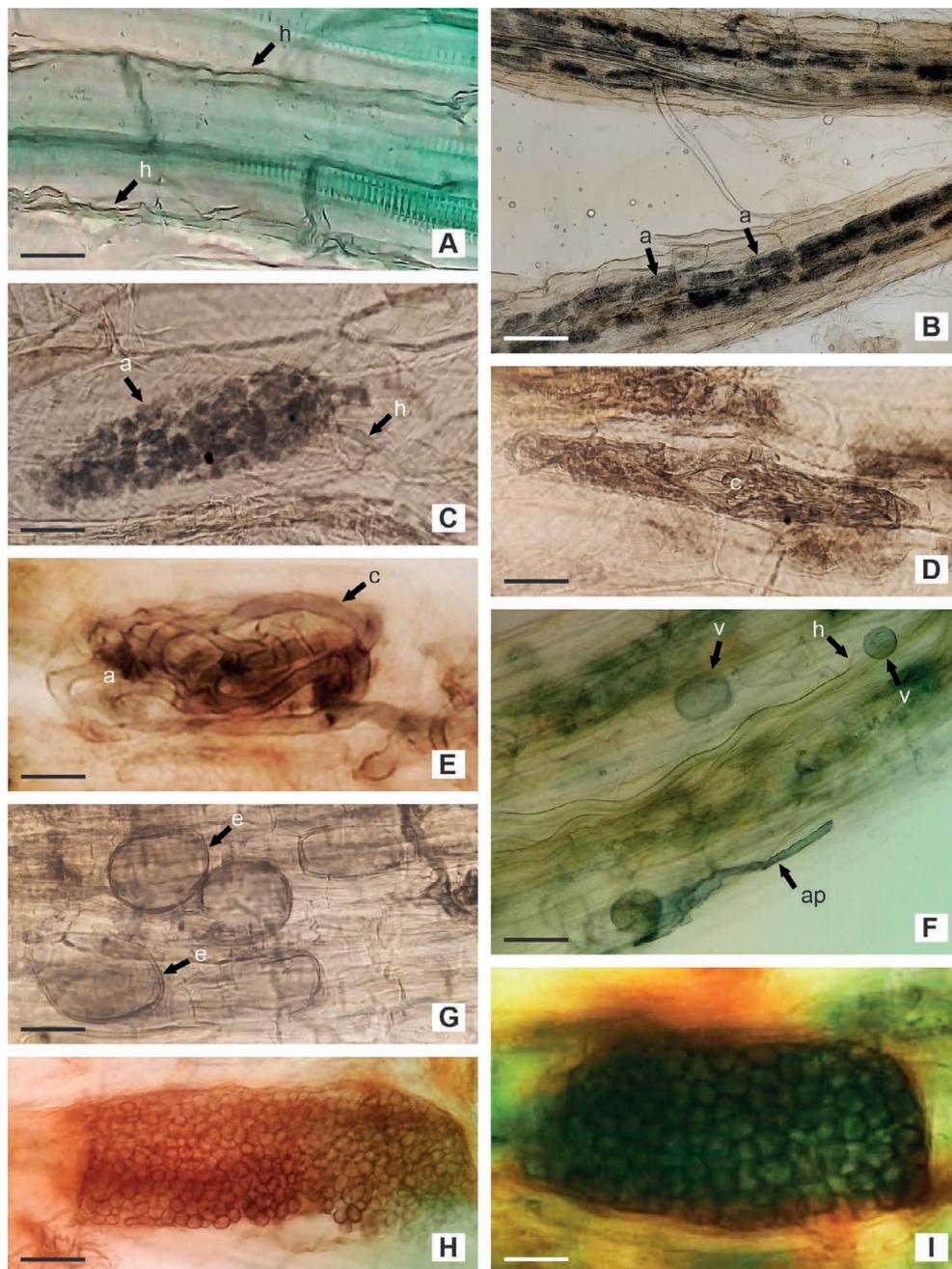


Fig. 2. Endófitos fúngicos. A-G) Micorrizas arbusculares. A-C) Morfología *Arum*. D, E) Morfología *Paris*. F) Vesículas. G) Esporas de Glomeromycotina. H) Esclerocios de endófitos septados oscuros. I) Esclerocios de otros hongos septados. Abreviaturas= a: arbúsculos; ap: apresorio; c: circunvolución; e: espora; h: hifa; v: vesícula. Escalas= A-D: 25 μm ; B: 150 μm ; C-E-F: 30 μm ; G-H-I: 20 μm .

Fig. 2. Fungal endophytes. A-G) Arbuscular mycorrhiza. A-C) *Arum* morphology. D, E) *Paris* morphology. F) Vesicles. G) Glomeromycotina spores. H) Sclerotia of dark septate endophytes. I) Sclerotia of other septate fungi. Abbreviations= a: arbuscules; ap: appressorium; c: coil; e: spore; h: hypha; v: vesicle. Scales= A-D: 25 μm ; B: 150 μm ; C-E-F: 30 μm ; G-H-I: 20 μm .

Tabla 1. Porcentaje de colonización micorrizica arbuscular en *Anemia australis* y *A. phyllitidis* var. *phyllitidis* colectadas en el Jardín Botánico Horco Molle.

Table 1. Percentage of arbuscular mycorrhizal colonization in *Anemia australis* and *A. phyllitidis* var. *phyllitidis* collected at the Horco Molle Botanical Garden.

Especies	% HMA		
	Hifal	Arbuscular	Vesicular
<i>Anemia australis</i>	91,24±1,67a	33,41±1,28a	5,58±0,79b
<i>Anemia phyllitidis</i>	90,81±1,14a	43,59±0,81b	2,70±0,66a

En la Tabla 1 se muestra la colonización por MA en las especies estudiadas; con respecto a la colonización hifal, la misma fue elevada, no evidenciando diferencia entre las especies; la colonización arbuscular fue significativamente mayor en *Anemia phyllitidis* var. *phyllitidis* (43,59%), mientras que la colonización vesicular fue mayor en *A. australis* (5,58%).

Además, se encontraron otros endófitos coexistiendo con los HMA. Por un lado, los ESO con hifas intercelulares melanizadas y microesclerocios intracelulares ($96 \times 31,5 \mu\text{m}$), los cuales no presentaron diferencias significativas en su colonización, que fue del 7% *Anemia australis* y del 4% en la *A. phyllitidis* var. *phyllitidis* (Fig. 2H). Por el otro, la presencia de otros hongos septados con microesclerocios intracelulares ($76 \times 48 \mu\text{m}$) (Fig. 2I).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los sistemas radicales de *Anemia australis* y *A. phyllitidis* var. *phyllitidis*, evidenciaron un alto porcentaje de colonización por micorrizas arbusculares, con la presencia simultánea de los tipos morfológicos *Arum* y *Paris*. Estos resultados difieren de lo reportado por Andrade *et al.* (2000) y Lara Pérez *et al.* (2015), quienes identificaron sólo la morfología *Paris* en individuos de *A. phyllitidis* recolectados en bosques de araucaria en Brasil y en bosques caducifolios de México, respectivamente. Por otra parte, Zubek *et al.* (2010) registraron una elevada riqueza arbuscular en individuos de la misma especie provenientes del bosque húmedo de Honduras, aunque no diferenciaron entre tipos morfológicos. En el presente estudio, sin embargo, la morfología *Arum* resultó ser la más frecuente en los taxones analizados.

La morfología *Paris* ha sido considerada predominante en comunidades naturales de plantas terrestres (Brundrett y Kendrick, 1990), especialmente en licofitas y helechos (Smith y Smith, 1997). De acuerdo con Dickson (2004) y Dickson *et al.* (2007) el tipo morfológico que es posible observar en las raíces que presentan la simbiosis micorrizica puede estar influenciada por múltiples factores, incluidos el tipo de hongo micorrizico arbuscular involucrado en la asociación, la especie hospedadora y las condiciones edáficas.

Además, se ha observado que los patrones de colonización micorrízica pueden variar, incluso dentro de la misma especie, en diferentes sitios y se ha sugerido que esto estaría relacionado con las condiciones ambientales de cada lugar (Muthukumar y Prabha, 2013).

La colonización arbuscular fue significativamente mayor en *Anemia phyllitidis* var. *phyllitidis* mientras que, la colonización vesicular fue mayor en *A. australis*.

Dado que los arbuscúlos son estructuras efímeras asociadas que actúan principalmente como estructuras de intercambio de nutrientes, mientras que las vesículas se consideran estructuras de almacenamiento (Parniske, 2008); la mayor colonización arbuscular en *A. phyllitidis* podría indicar que esta especie posee un intercambio de agua y nutrientes más activo, al vivir en ambientes de sotobosque más húmedo. Por otra parte, la mayor colonización vesicular en *Anemia australis* podría indicar que las plantas colonizadas de esta especie, al vivir en lugares con mayor estrés hídrico y luminosidad plena, generan una cantidad significativamente alta de vesículas que permiten el almacenamiento, particularmente de agua y nutrientes.

Además de los HMA, se observaron otros hongos conocidos como ESO. Estos fueron citados por Zubek *et al.* (2010) y Lara Pérez *et al.* (2015) en *A. phyllitidis*. Según Treu *et al.* (1995) los ESO no forman micorrizas; sin embargo, Jumpponen (2001) sugiere que, bajo ciertas condiciones, podrían funcionar como este tipo de asociación; aunque su papel fisiológico y ecológico en los ecosistemas es desconocido (Jumpponen y Trappe 1998). Currah y Van Dyk (1986) observaron que los ESO se dan en suelos pobres en materia orgánica, por lo que podría inferirse que el bajo porcentaje de ESO, en las especies analizadas, probablemente se pueda atribuir a la alta cantidad de materia orgánica presente en el suelo del JBHM.

De acuerdo con Lara Pérez *et al.* (2017), el conocimiento sobre la interacción biológica entre los sistemas radicales de helechos con hongos Glomeromycotina permitirán a futuro tomar decisiones para la propagación y conservación de este grupo de plantas, que a su vez, debido a su rol como plantas colonizadoras, pueden ser útiles en la restauración de ecosistemas, como las actividades que se están llevando a cabo en el Jardín Botánico Horco Molle; ya que el estudio de la simbiosis micorriza arbuscular puede ser utilizado como un índice de restauración para ecosistemas con diferentes niveles de degradación, debido a su rol en la agregación de los suelos (Rillig *et al.*, 2002), particularmente en ambientes riparios (Pagano *et al.*, 2022). El presente trabajo da a conocer, por primera vez, las interacciones simbióticas fúngicas de los helechos *Anemia australis* y *A. phyllitidis* var. *phyllitidis*, evidenciando la presencia, el tipo morfológico y la cuantificación de la micorriza arbuscular, además de la coexistencia con otros endófitos septados.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses financieros en competencia o relaciones personales entre autores que pudieran haber influido en el trabajo presentado en este artículo.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, A. C. S., Queiroz, M. H., Hermes, R. A. L. y Oliveira, V. L. (2000). Mycorrhizal status of some plants of the Araucaria forest and the Atlantic rainforest in Santa Catarina, Brazil. *Mycorrhiza* 10: 131-136. <https://doi.org/10.1007/s005720000070>
- Arana, M. D., Natale, E. S., Ferretti, N. E., Romano, G. M., Martínez, G., Posadas, P. y Morrone, J. J. (2021). Esquema biogeográfico de la República Argentina. *Opera Lilloana* 56: 1-240.
- Brundrett, M. y Kendrick, B. (1990). The roots and mycorrhizas of herbaceous woodland plants: II. Structural aspects of morphology. *New Phytologist* 114 (3): 469-479. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1990.tb00415.x>
- Currah, R. S. y Van Dyk, M. (1986). A survey of some perennial vascular plant species native to Alberta for occurrence of mycorrhizal fungi. *Canadian field-naturalist* 100 (3): 330-342.
- De la Sota, E. R. (1968). Sinopsis de las especies argentinas del género *Anemia* Swartz (Schizaeaceae). *Revista del Museo de La Plata* 61 (11): 133-152.
- De la Sota, E. R. (1977). Pteridophyta. En: A. L. Cabrera (Eds.), *Flora de la provincia de Fujuy, República Argentina, parte 2, colección científica del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria* (pp 1-275). Buenos Aires: INTA.
- Dickson, S. (2004). The *Arum-Paris* continuum of mycorrhizal symbioses. *The New Phytologist* 163 (1): 187-200.
- Dickson, S., Smith, F. A. y Smith, S. E. (2007). Structural differences in arbuscular mycorrhizal symbioses: more than 100 years after Gallaud, where next?. *Mycorrhiza* 17: 375-393. <https://doi.org/10.1007/s00572-007-0130-9>
- Field, K. J., Leake, J. R., Tille, S., Allinson, K. E., Rimington, W. R., Bidartondo, M. I. y Cameron, D. D. (2015). From mycoheterotrophy to mutualism: mycorrhizal specificity and functioning in *Ophioglossum vulgatum* sporophytes. *New Phytologist* 205 (4): 1492-1502. <https://doi.org/10.1111/nph.13263>
- Grace, C. y Stribley, D. P. (1991). A safer procedure for routine staining of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycological research* 95 (10): 1160-1162. [https://doi.org/10.1016/S0953-7562\(09\)80005-1](https://doi.org/10.1016/S0953-7562(09)80005-1)
- Jumpponen, A. (2001). Dark septate endophytes - are they mycorrhizal?. *Mycorrhiza* 11: 207-211. <https://doi.org/10.1007/s005720100112>

- Jumpponen, A. y Trappe, J. M. (1998). Dark septate endophytes: a review of facultative biotrophic root-colonizing fungi. *New Phytologist* 140 (2): 295-310. <https://doi:10.1046/j.1469-8137.1998.00265.x>
- Kottke, I., Haug, I., Setaro, S., Suárez, J. P., Weiß, M., Preußing, M. y Oberwinkler, F. (2008). Guilds of mycorrhizal fungi and their relation to trees, ericads, orchids and liverworts in a neotropical mountain rain forest. *Basic and Applied Ecology* 9 (1): 13-23. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2007.03.007>
- Labiak, P. H., Mickel J. T. y Hanks J. G. (2015). Molecular phylogeny and character evolution of Anemiaceae (Schizaeales). *Taxon* 64 (6): 1141-1158. <https://doi.org/10.12705/646.3>
- Lara Pérez, L. A., Zulueta Rodríguez, R. y Andrade Torres, A. (2017). Micorriza arbuscular, Mucoromycotina y hongos septados oscuros en helechos y licofitas con distribución en México: una revisión global. *Revista de Biología Tropical* 65 (3): 1062-1081. <https://doi.org/10.15517/rbt.v65i3.29443>
- Lara Pérez, L.A., Valdés Baizabal, M.D., Noa Carrazana, J.C., Zulueta Rodríguez, R., Lara Capistrán, L. y Andrade Torres, A. (2015). Mycorrhizal associations of ferns and lycopods of central Veracruz, Mexico. *Symbiosis* 65: 85-92. <https://doi.org/10.1007/s13199-015-0320-8>
- Lehnert, M. y Kessler, M. (2016). Mycorrhizal relationships in Lycophytes and ferns. *Fern gazette* 20 (3): 101-116. <https://doi.org/10.5167/uzh-124998>
- Lehnert, H., Serfling, A., Enders, M., Friedt, W. y Ordon, F. (2017). Genetics of mycorrhizal symbiosis in winter wheat (*Triticum aestivum*). *New Phytologist* 215 (2): 779-791. <https://doi.org/10.1111/nph14595>
- Luján, M. C., Barboza, G. E., Weler de Serra, S. y Ariza Espinar, L. (2000). Control de calidad en dos helechos medicinales y su inserción en el mercado local. *Studia Botánica* 19: 75-94.
- Marschner, H. y Dell, B. (1994). Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant Soil* 159: 89-102. <https://doi.org/10.1007/BF00000098>
- McGonigle, T. P., Miller, M. H., Evans, D. G., Fairchild, G. L. y Swan, J. A. (1990). A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular - arbuscular mycorrhizal fungi. *New phytologist* 115 (3): 495-501. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1990.tb00476.x>
- Mendoza, E. A. y González, J. A. (2011). Las ecorregiones del noroeste argentino basadas en la clasificación climática de Köppen. *Series Conservación de la Naturaleza* 19: 3-41.
- Mickel, J. T. (2016). *Anemia* (Anemiaceae). *Flora Neotropica* 118: 1-182.
- Morte, A., Lovisolo, C. y Schubert, A. (2000). Effect of drought stress on growth and water relations of the mycorrhizal association *Helianthemum almeriense* - *Terfezia clavervyi*. *Mycorrhiza* 10: 115-9. <https://doi.org/10.1007/s005720000066>

- Muthukumar, T. y Prabha, K. (2013). Asociaciones fúngicas de micorrizas arbusculares y endófitos septados en licofitas y helechos del sur de la India. *Simbiosis* 59: 15-33. <https://doi.org/10.1007/s13199-012-0185-z>
- Pagano, M. C., Correa, E. J. A., Lugo, M. A. y Duarte, N. F. (2022). Diversity and Benefits of Arbuscular Mycorrhizae in Restored Riparian Plantations. *Diversity* 14 (11): 938. <https://doi.org/10.3390/d14110938>
- Parniske, M. (2008). Arbuscular mycorrhiza: The mother of plant root endosymbioses. *Nature Reviews Microbiology* 6 (10): 763-775. <https://doi.org/10.1038/nrmicro1987>
- Puchulu, M. E. y Fernández, D. S. (2014). Características y distribución espacial de los suelos de la provincia de Tucumán. En: S. Moyano, M. E. Puchulu, D. Fernández, G. Aceñolaza, M. E. Vides, S. Nieva (Eds.), *Geología de Tucumán* (pp. 1-17). San Miguel de Tucumán: Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán.
- Quiroga, P. A. (2020). Plan de Manejo del Jardín Botánico Horco Molle de la Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo (Tesis Magister), Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.
- Ramos Giacosa, J. P. (2016). Anemiaceae. En: M. M. Ponce, M. D. Arana (Coords.), *Flora Vascular de la República Argentina, Vol. 2: Licofitas, Helechos y Gymnospermae* (pp. 47-52). Buenos Aires: Estudio Sigma.
- Redman, R. S., Sheehan, K. B., Stout, R. G., Rodriguez, R. J y Henson, J. M. (2002). Thermo tolerance generated by plant/fungal symbiosis. *Science* 298: 1581-1584. <https://doi.org/10.1126/science.1078055>
- Ribeiro Wetzell, M. L., Guerra Santos, M., Barros Barros C. F. y Gonçalves Costa C. (2019). Leaf anatomy of two fern species and a hybrid of *Anemia* (Anemiaceae). *American Fern Journal* 109 (1): 44-53. <https://doi.org/10.1640/0002-8444-109.1.44>
- Rillig, M. C., Wright, S. F. y Eviner, V. T. (2002). The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: Comparing effects of five plant species. *Plant Soil* 238: 325-333.
- Romagnoli, M. G., Hernández, M. A. y Albornoz, P. L. (2021). Anatomy of the sporophyte of *Anemia phyllitidis* var. *phyllitidis* (Anemiaceae) from a riparian forest (Tucumán, Argentina). *Acta Botánica Mexicana* 128: e1830. <https://doi.org/10.21829/abm128.2021.1830>
- Smith, F. A. y Smith, S. E. (1997). Structural diversity in (vesicular)-arbuscular mycorrhizal symbioses. *New Phytol* 137 (3): 373-388. <https://doi:10.1046/j.1469-8137.1997.00848.x>
- Smith, S. E. y Read D. J. (2008). *Mycorrhizal symbiosis*. (3^o Ed). Londres Academic Press.
- Smith, A. R., Pryer, K. M., Schuettpelz, E., Korall, P., Schneider, H. y Wolf, P. G. (2006). A classification for extant ferns. *Taxon* 55 (3): 705-731. <https://doi.org/10.2307/25065646>

- Spatafora, J. W., Chang, Y., Benny, G. L., Lazarus, K., Smith, M. E., Berbee, M. L., ... Stajich, J. E. (2016). A phylum-level phylogenetic classification of zygomycete fungi based on genome-scale data. *Mycologia* 108 (5): 1028-1046. <https://doi.org/10.3852/16-042>
- Thiers, B. (2024). Index Herbariorum: a global directory of public herbaria and associated staff. New York Botanical Garden's Virtual Herbarium. Recuperado de <http://sweetgum.nybg.org/ih>
- Treu, R., Laursen, G. A., Stephenson, S. L., Landolt, J. C. y Densmore, R. (1995). Mycorrhizae from Denali national park and preserve, Alaska. *Mycorrhiza* 6: 21-29. <https://doi.org/10.1007/s005720050101>
- Trouvelot, A., Kough, J. y Gianinazzi-Pearson, V. (1986). Evaluation of VAM infection levels in root systems. Research for estimation methods having a functional significance. En: Gianinazzi-Pearson, V., Gianinazzi S. (Eds.), *Physiological and Genetical Aspects of Mycorrhizal* (pp. 217-221). Paris: INRA Press.
- Valdez Núñez, R. A., Rojas García, J. C. y Bedmar, E. J. (2022). Dark septate endophytes: A review. *Mol* 22: 1-13.
- van Der Heijden, M. G., Martin, F. M., Selosse, M. A. y Sanders, I. R. (2015). Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future. *New phytologist* 205 (4): 1406-1423. <https://doi.org/10.1111/nph.13288>
- Zar, J. D. (1996). *Bioestatistical analysis*. Tercera edición. Prentice Hall Inc., New Jersey.
- Zhao, Y. J., Guo, S. X. y Gao, W. W. (1999). The symbiosis of endopytic fungi with *Cymbidium goeringii* and its effects on the mineral nutrition absorption. *Acta Horticulturae Sinica* 26 (2): 110-5.
- Zubek, S., Piątek, K., Naks, P., Heise, W., Wayda, M. y Mleczko, P. (2010). Fungal root endophyte colonization of fern and lycophyte species from the Celaque National Park in Honduras. *American Fern Journal* 100 (2): 126-136. <https://doi.org/10.1640/0002-8444-100.2.126>