Ecología Austral 36:431-437 Diciembre 2026 *Debate*
Asociación Argentina de Ecología

Pensar las micorrizas: Debates filosóficos sobre la mesada

Sofía Crescio[1,✉]; Natalia V. Fernández[1]; M. Cecilia Mestre[1] & Gabriela R. Klier[2]

[1] *IPATEC (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas-Universidad Nacional del Comahue). Bariloche, Río Negro.* [2] *Universidad Nacional de Río Negro-Instituto CITECDE (CONICET- UNRN). Bariloche, Río Negro.*

Resumen

1. Una práctica biológica habitual para el estudio de los hongos del suelo consiste en su aislamiento in vitro. Sin embargo, esta metodología presenta dificultades cuando se trata de hongos formadores de ectomicorrizas (HFE). Sucesivos intentos fallidos mostraron una ventana epistemológica y ontológica que expone los límites de prácticas científicas basadas en la separación y abstracción de lo vivo.

2. Este trabajo propone una reflexión interdisciplinaria sobre los supuestos que orientan nuestras prácticas científicas. Para ello, se realizó una revisión historiográfica y filosófica sobre los conceptos de individuo y simbiosis usados a menudo. La revisión fue contrastada con las experiencias de laboratorio propias y de otros investigadores en la temática, recopiladas a partir de una encuesta.

3. La revisión nos permitió ver que las problemáticas asociadas a la definición de individuo no son nuevas y que los organismos que participan de la simbiosis se podrían considerar como una totalidad (holobionte) indivisible.

4. Las respuestas de especialistas en la temática sugieren que la dificultad de aislar HFE es persistente y podría responder tanto a cuestiones técnicas como al carácter relacional de la simbiosis.

5. Implicancias. Las dificultades experimentales poseen valor epistemológico más allá del problema técnico. Esto nos invita a revisar la aplicación de ciertas metodologías cuando se trata con organismos muy interdependientes, así como a pensarlos desde perspectivas relacionales. De esta manera, proponemos reconocer las discusiones interdisciplinarias como guía para nuevas prácticas científicas y epistemológicas, ya que habilitan nuevos horizontes de trabajo y podrían ser la clave hacia nuevas formas de estudio de lo viviente.

[Palabras clave: filosofía de la biología, holobionte, individuo biológico, resultados negativos, simbiosis]

Abstract. Thinking through mycorrhizae: Philosophical debates at the lab bench

1. A common approach for studying soil fungi involves in vitro isolation and culture. However, these attempts frequently fail when dealing with ectomycorrhiza-forming fungi (EMFF). Successive failed attempts have revealed an epistemological and ontological window that exposes the limitations of scientific practices based on the separation and the abstraction of living organisms.

2. This study proposes an interdisciplinary analysis of the assumptions guiding our scientific practices. A historiographical and philosophical review of frequently used concepts of the individuals and symbiosis was conducted and contrasted with the laboratory experiences of the authors and other researchers in the field, gathered through a survey.

3. The review revealed that the issues surrounding the definition of the individual are not new and that the organisms participating in the symbiosis could be considered an indivisible whole (holobiont).

4. Responses from specialists in the field suggest that the difficulty of isolating EMFF is persistent and may stem not only from technical issues, but also from the relational nature of the symbiosis.

5. Implications. Experimental difficulties hold epistemological value that extends beyond the technical problem. This prompts us to re-examine the application of certain methodologies when dealing with highly interdependent organisms, as well as to consider them from a relational perspective. Thus, we propose recognizing interdisciplinary discussions as a guide for new scientific and epistemological practices, as they open new horizons for inquiry and could hold the key to new ways of studying living systems.

[Keywords: biological individual, holobiont, negative results, philosophy of biology, symbiosis]

Editor asociado: Roberto Fernández
✉ sofiacrescio@comahue-conicet.gob.ar

Recibido: 20 de Enero de 2026
Aceptado: 22 de Septiembre de 2026

Introducción

Las ectomicorrizas son asociaciones mutualistas entre hongos del suelo y raíces de especies vegetales, en las que ambos organismos establecen una interacción estrecha e integrada estructuralmente (Smith and Read 2008; Lewis 2016). Una de las tareas habituales en el estudio de los hongos formadores de ectomicorrizas (HFE) involucra su aislamiento y cultivo in vitro. Sin embargo, este procedimiento suele presentar dificultades y tasas de éxito bajas, algo que experimentamos en nuestro propio equipo de trabajo (Mallerman et al. 2025; Fernández et al. 2013; Mestre 2011).

En este escrito proponemos considerar la dificultad como una oportunidad para reflexionar acerca de los supuestos que orientan nuestras prácticas experimentales, y no solo como un problema técnico o metodológico. Nos preguntamos qué implica aislar organismos cuya biología depende de la interrelación y qué puede revelar la dificultad de aislamiento acerca de los abordajes conceptuales y prácticos con que estudiamos a los organismos simbiontes. No buscamos reformular las nociones filosóficas de individuo que están en juego ni resolver los debates en torno a la individualidad biológica (temas que se pueden abordar en Booth 2014; Molter 2019; Marín and Suárez 2024; Yilmaz and Dupré 2025); pretendemos recuperar algunos conceptos filosóficos para pensar sobre los interrogantes que surgen de la actividad en laboratorio y compartirlos en una revista orientada a estudios biológicos y ecológicos. Para ello, articulamos una revisión historiográfica de los conceptos y las definiciones en simbiosis, simbiogénesis, individuo y holobiontes, con nuestros resultados experimentales y una encuesta realizada a investigadores de distintas partes del mundo. A partir de estos elementos, analizamos cómo lo observado puede poner en tensión ciertos supuestos epistemológicos y metodológicos de nuestras prácticas científicas, transformando la experiencia fallida en una oportunidad para dar valor epistémico a los resultados negativos que suelen ser poco mencionados en las producciones científicas (Mallerman et al. 2025; Wood 2020; Bespalov et al. 2019; Fanelli 2012).

Breve historiografía de la simbiosis

El estudio de las relaciones simbióticas se remonta a 1873 con Anton De Bary, quien contempló la simbiosis antagonista, mutualista y comensalista sin definir límites concretos entre categorías. Posteriormente Frank, en 1885, fue el primero en referirse a las micorrizas como "la estructura que no es ni la raíz del árbol ni el hongo solo, sino que recuerda al talo de un liquen, como la unión de dos organismos distintos en uno" (Margulis 1997; Trappe 2005; Gontier 2016). Hoy, la definición de simbiosis continúa siendo objeto de debate y no existe un consenso único; podemos decir que se refiere al fenómeno por el cual organismos con "historias genealógicas y evolutivas distintas viven en asociación íntima" (Aschenbrenner et al. 2016; Gontier 2016).

Gran parte del desarrollo de la biología moderna se apoyó en el estudio de los organismos como entidades discretas e identificables (Shapin and Feito 2000; Leff 2004), una aproximación que permitió avances conceptuales y metodológicos. Sin embargo, en paralelo se desarrollaron perspectivas que enfatizaron el papel ecológico y evolutivo de las interacciones entre organismos, en particular, las relaciones simbióticas. Estas perspectivas adquirieron renovada relevancia a partir de la década de 1960 con los trabajos de la bióloga Lynn Margulis y, luego, de la bióloga y filósofa Donna Haraway (Margulis 1991, 2002; Haraway et al. 2008, 2019). Margulis (1991) amplió la noción de simbiosis al definir el término evolutivo simbiogénesis, proponiendo que nuevos tejidos, organelas, órganos e, incluso, especies pueden formarse a través de asociaciones simbióticas estables. Por su parte, Haraway (2019) recuperó el concepto de simpoiesis para describir sistemas complejos producidos de manera colectiva, sin límites espaciales o temporales definidos, dando lugar a la comprensión de los seres vivos por sus configuraciones relacionales.

La revalorización de lo relacional fue acompañada de una reformulación del concepto de individuo biológico, ampliamente abordado desde las ciencias biológicas y la filosofía (Clarke 2010; Gilbert et al. 2012; Pradeu 2012; Suárez and Stencel 2020). Aunque distintas disciplinas utilizan diferentes criterios de individuación, históricamente, el individuo fue concebido como un organismo autónomo y autosuficiente (Maturana and Varela 1980; Mayr 1982). En este marco emerge el concepto de holobionte, acuñado por Adolf Meyer en 1943 (Gilbert et al. 2012; Gontier 2016) y después popularizado por Margulis (Margulis 1997; Baedke 2020).

Este concepto expresa que las características morfológicas, químicas y comportamentales de un individuo no se pueden comprender de forma aislada, sino que son resultan de interacciones simbióticas complejas y de la expresión combinada tanto del genoma del hospedador como de la microbiota asociada (Simon et al. 2019). De este modo, el concepto de holobionte resalta la naturaleza ubicua de las simbiosis y su rol central en la biología de los organismos, su ecología y evolución (Simon et al. 2019).

Gilbert y colaboradores (2012) sostienen que las ciencias biológicas se transformarían radicalmente si, como rutina, se considerara a los seres vivos como complejos simbióticos y no como individuos entendidos como identidades aisladas (Gilbert et al. 2012). Esta reconfiguración conceptual se profundiza con la propuesta de Suárez y Stencel (2020) sobre una ontología dependiente de las partes, la cual postula que la individualidad biológica no es simétrica ni del todo fija. Con esta lente, los holobiontes podrían ser, en simultáneo, individuos biológicos y comunidades ecológicas (Suárez and Stencel 2020). Así, la individualidad se puede entender no como una propiedad absoluta, sino dependiente del criterio considerado y de las relaciones que constituyen al organismo.

Las Micorrizas y los bordes del individuo

La forma cooperativa e interdependiente de vida que muestran las relaciones simbióticas introduce una gran complejidad a la hora de definir los límites de la individualidad biológica. ¿Qué entendemos por 'individuo biológico'? ¿Se puede sostener esa categoría en un mundo vivo conformado por interdependencias?

Algunos investigadores sostienen que no hay una manera unívoca de clasificar el mundo en individuos biológicos, sino muchas maneras legítimas de hacerlo (Santelices 1999; Margulis 2002; Gilbert et al. 2012; Cárdenas 2021; Wilson and Barker 2024). Por lo general, se consideraron diferentes criterios para definir a los individuos: genéticos, inmunológicos, del desarrollo, anatómicos, fisiológicos y evolutivos, entre otros (Santelices 1999; Fonturbel and Barriga 2009; Gilbert et al. 2012; Cárdenas 2021). Cada uno de estos criterios responde a una subdisciplina biológica, y todos ellos tienen en común que definen límites espaciales y temporales para los individuos biológicos.

En nuestro caso de estudio, los HFE ponen en juego los conceptos de holobionte y organismos simpoiéticos de Margulis y Haraway. Su vida está íntimamente entrelazada con la de los árboles con los que forman micorrizas. Las descripciones clásicas sobre los HFE explican su forma de crecimiento en asociación con la raíz de un árbol hospedador, aclarando que el hongo no completa su ciclo de vida en el suelo si no se encuentra —al menos por un determinado período— asociado a las raíces (Smith and Read 2008). El establecimiento de la simbiosis da lugar a una nueva estructura denominada micorriza, del griego myco (hongo) y rhiza (raíz). Así, la micorriza no es ni el hongo, ni el árbol, ni la mera suma de ambos, sino el resultado del encuentro entre estos organismos (Frank 1885; Smith and Read 2008). Las ectomicorrizas presentan estructuras morfoanatómicas características en los ápices radicales denominadas ectomorfotipos (Figura 1); esta estructura se suele utilizar para aislar el HFE asociado. Además, las hifas extrarradicales de estos hongos pueden interconectar plantas de la misma e incluso de diferentes especies (Molina and Horton 2015;

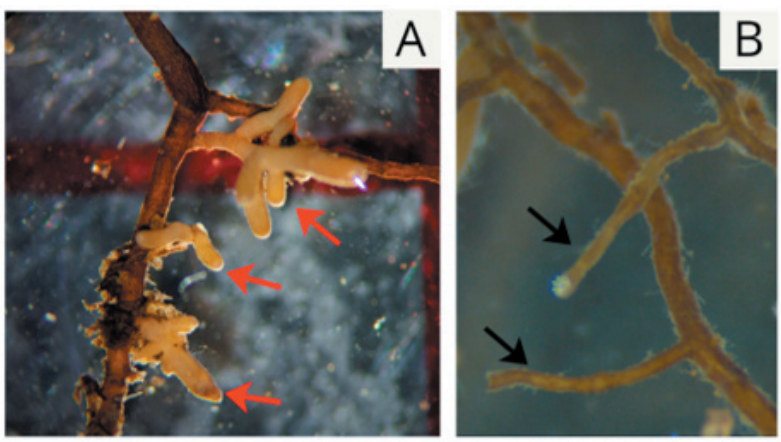


Figura 1. A) Raíz de lenga en simbiosis con hongos formadores de ectomicorrizas: ectomorfotipos (flechas rojas). B) Raíces sin colonizar (flechas negras). Autora: Sofía Crescio.

Figure 2. A) Lenga root with ectomycorrhiza-forming fungi in symbiosis: ectomorphotypes (red arrows). B) Non-colonized roots (black arrows). Author: Sofía Crescio.

Guy et al. 2022; Teste et al. 2009). De esta forma, plantas que aparentan ser independientes se encuentran interconectadas por redes de hifas que se extienden por debajo del suelo; estas redes han sido denominadas wood-wide-web (Molina and Horton 2015; Simard 2018).

En un bosque donde los árboles se encuentran conectados a través de estas redes subterráneas de hifas, lo que existe por encima del suelo está lejos de ser árboles individuales. Por el contrario, evolucionaron de manera tal de vivir cooperativamente, en relaciones de interdependencia mantenidas a través de una comunicación subterránea (Teste et al. 2009; Simard et al. 2012; Gorzelak et al. 2015; Simard 2018). Esto demuestra una 'inteligencia colectiva' similar a la de una colonia de insectos (Tibbet and Sanders 2002; Nara 2005; Margulis 2002).

En este sentido, los planteamientos de Haraway sobre ontologías relacionales resultan en especial pertinentes. Haraway propone que la realidad no está compuesta por individuos independientes, sino por 'redes de relaciones' (Haraway 2019) en las que los límites entre entidades son siempre fluidos y co-constituidos (Barad 2007; Haraway 2008). Pensando en los bosques, esto implica que los árboles, los HFE y otros organismos del suelo no solo interactúan, sino que se constituyen mutuamente: el ser de cada uno se define en la medida en que participa de la red de interacciones. Así, la mirada relacional nos permite pensar en un bosque como un entramado de procesos y relaciones, más que como la suma de entidades, desplazando la atención desde el objeto hacia la interacción misma. Intentar aislar a estos hongos en condiciones de laboratorio, separándolos de sus relaciones, presupone que pueden existir como entidades independientes. Esta podría ser la raíz de los problemas empíricos que emergen al momento de intentar el aislamiento de los HFE y se convierte en un punto de inflexión epistemológico desde donde revisar nuestras nociones de individuo y nuestros modos de hacer ciencia.

Indagación sobre la experiencia en el laboratorio

La experiencia propia nos llevó a preguntarnos si nuestra problemática se repetía en otros grupos de investigación. Para ello realizamos una encuesta descriptiva y abierta dirigida a investigadores, estudiantes de grado, de doctorado y de postdoctorado de todo el mundo dedicados al estudio de HFE. Difundimos la encuesta entre noviembre de 2024 y enero de 2025 a través de la red Micorrizas de América Latina, de la red del SPUN (Society for the Protection of Underground Networks) y de listas de correo vinculadas a instituciones científicas. Las preguntas y las respuestas de la encuesta figuran en el Material Suplementario.

Recibimos un total de 15 respuestas provenientes de la Argentina (1), Bolivia (2), Brasil (3), Chile (1), Colombia (1), Estados Unidos (2), India (1), México (1), República Checa (2) y Uruguay (1). De los 15 encuestados, 13 intentaron o intentan aislar HFE y conservarlos in vitro. Quienes lograron aislar hongos con éxito (6 de 13 in vitro encuestados) coincidieron en destacar que la tasa de aislamiento fue baja en relación con los recursos, el tiempo invertido y el esfuerzo de muestreo. A su vez, de los resultados exitosos, 4 mencionaron que los cultivos terminaron perdiendo viabilidad dados lo costoso de su mantenimiento (en tiempo y esfuerzo). Tanto quienes lograron aislar como quienes no lo lograron mencionaron como posibles causas de las dificultades al carácter de simbiontes obligados y a la dificultad de suplir los requerimientos nutricionales, además del lento crecimiento y la fácil contaminación (Material Suplementario-Tabla S1). Incluso, un encuestado argumentó que no todos los hongos ectomicorrícicos pueden ser aislados, ya que dependen tanto de su interacción con la planta como también de otras bacterias y hongos presentes en la rizósfera. En general, fue recurrente la mención de la ausencia de la planta simbionte en el diseño del aislamiento o en el posterior mantenimiento de los cultivos como causante de la baja tasa de éxito (Material Suplementario-Tabla S2). Estos resultados nos permiten sostener la premisa de que la dificultad técnica podría ser un reflejo de un marco epistemológico que insiste en separar lo inseparable, que se hace visible con el desafío metodológico en el laboratorio.

Consideraciones finales

Este trabajo surgió a partir de la repetida dificultad en el laboratorio para aislar HFE. Lejos de considerarla solo un problema metodológico, utilizamos la experiencia como punto de partida para reflexionar sobre los supuestos que orientan las prácticas experimentales en biología y, en particular,

aquellas asociadas al estudio de los hongos formadores de ectomicorrizas.

El recorrido histórico nos permitió indagar acerca de los sesgos que heredamos en nuestras prácticas biológicas y reconocer otras corrientes más recientes e igualmente válidas, que sugieren miradas relacionales de los organismos vivos. La aproximación sobre los conceptos de individuo y holobionte nos permitió reconocer que si bien empleamos con frecuencia la noción de individuo en el campo práctico, en ciertas áreas de la biología —y, sobre todo, desde la filosofía de la biología—, estos conceptos son muy problemáticos. En este sentido, es interesante recalcar el valor que ofrecen los trabajos interdisciplinarios al promover el encuentro entre diferentes áreas del conocimiento sobre un mismo objeto. De manera intencional preferimos usar lenguajes puente que salgan de la especialización disciplinar para acercar las problemáticas filosóficas a las biológicas y viceversa.

Incorporar la dimensión filosófica dio lugar para revisar los criterios con los que interpretamos nuestros resultados experimentales. En nuestro caso, la dificultad de aislamiento de HFE fue acompañada por la aparición de hongos considerados contaminantes, como se reportó también en los resultados de la encuesta. Inicialmente, nuestra respuesta consistió en descartar esos aislamientos, pero, al considerar este enfoque filosófico, surgió la posibilidad de conservar algunos de ellos, sobre todo aquellos que desde el aspecto morfológico no tuvieran una contaminación. Estos hongos, considerados no-micorrícicos, abren nuevas preguntas acerca de los organismos asociados a los ectomorfotipos, un área poco explorada frente a los estudios centrados en la relación mutualista HFE-árbol.

Desde este enfoque, es fundamental destacar que incluso los intentos fallidos producen conocimiento, pasando de ser solo un resultado negativo a una fuente de información capaz de ampliar nuestro horizonte de conocimiento. Queremos manifestar el valor de la filosofía de la biología como herramienta para la reflexión crítica sobre nuestras prácticas científicas. Nos permitió pensar sobre qué consideramos un individuo y cómo esos criterios se ajustan a nuestros simbiontes en estudio, y explorar interpretaciones alternativas frente a una dificultad experimental persistente.

Incluir las observaciones de otros grupos de investigación nos muestra que nuestra dificultad es una experiencia generalizada más que aislada. La posibilidad de aislar los HFE está determinada por el contexto y, sin limitarse al aislamiento inicial, se extiende a la viabilidad de los cultivos obtenidos. Esto sugiere que los desafíos asociados a la biología de estos organismos exceden a la obtención puntual del aislamiento. La dificultad de mantener vivos a los organismos sin sus simbiontes revela una tensión entre organismos de naturaleza relacional y metodologías que pretenden separar a los componentes. En determinados casos, ese abordaje es útil, pero para obtener cultivos in vitro de HFE parece necesario un sistema que contemple la interacción simbiótica con la planta y, quizás, también con otros microorganismos del suelo, incluidos los asociados a la ectomicorriza. Si estos organismos existen como parte de un entramado simbiótico complejo, su separación artificial puede fallar técnicamente y revelarse como inadecuada en términos epistemológicos, señalando los límites de algunos marcos conceptuales e invitándonos a incorporar la dimensión relacional en nuestras prácticas científicas.

Referencias

Baedke, J. 2020. The holobiont concept before Margulis. J Exp Zool (Mol Dev Evol) 334:149-155. https://doi.org/10.1002/jez.b.22931.

Barad, K. 2007. Encontrando el universo a medio camino: Física cuántica y el entrelazamiento de la materia y el significado. Durham y Londres: Duke University Press. https://doi.org/10.1215/9780822388128.

Bespalov, A., T. Steckler, and P. Skolnick. 2019. Be positive about negatives-recommendations for the publication of negative (or null) results. European Neuropsychopharmacology 29(12):1312-1320. https://doi.org/10.1016/j.euroneuro.2019.10.007.

Booth, A. 2014. Populations and individuals in heterokaryotic fungi: A multilevel perspective. Philosophy of Science 81(4):612-632. https://doi.org/10.1086/677953.

Cárdenas, F. J. 2021. Individualidad biológica en la práctica científica: criterios de individuación y objetivos epistémicos. Revista Culturas Científicas 2(1):56-74. https://doi.org/10.35588/cc.v2i1.4880.

Clarke, E. 2010. The Problem of Biological Individuality. Biological Theory 5(4):312-325. https://doi.org/10.1162/BIOT_a_00068.

Fanelli, D. 2012. Negative results are disappearing from most disciplines and countries. Scientometrics 90(3):891-904.

https://doi.org/10.1007/s11192-011-0494-7.

Fernández, N. V., P. Marchelli, and S. B. Fontenla. 2013. ectomycorrhizas naturally established in *Nothofagus nervosa* seedlings under different cultivation practices in a forest nursery. Microbial Ecology 66(3):581-92. https://doi.org/10.1007/s00248-013-02299.

Gilbert, S. F., J. Sapp, and A. I. Tauber. 2012. A symbiotic view of life: we have never been individuals. The Quarterly Review of Biology 87(4):325-341. https://doi.org/10.1086/668166.

Gontier, N. 2016. Symbiosis, history of. En Encyclopedia of Evolutionary Biology. Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800049-6.00015-9.

Gorzelak, M. A., A. K. Asay, B. J. Pickles, and S. W. Simard. 2015. Inter-plant communication through mycorrhizal networks mediates complex adaptive behaviour in plant communities. AoB Plants 7:plv050. https://doi.org/10.1093/aobpla/plv050.

Guy, P., R. Sibly, S. M. Smart, M. Tibbett, and B. J. Pickles. 2022. Mycorrhizal type of woody plants influences understory species richness in British broadleaved woodlands. New Phytologist 235(5):2046-2053. https://doi.org/10.1111/nph.18274.

Haraway, D. 2008. When species meet. Nachdr. Posthumanities 3. Univ. of Minnesota Press.

Haraway, D. 2019. Seguir con el problema: generar parentesco en el Chthuluceno. Primera edición en español. Consonni.

Hoeksema, J. D. 2010. Ongoing coevolution in mycorrhizal interactions. The New Phytologist 187(2):286-300. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03305.x.

Leff, E. 2004. Racionalidad ambiental. La Reapropiación. Siglo XXI Ediciones.

Lewis, J. D. 2016. Mycorrhizal fungi, evolution and diversification of. En Encyclopedia of Evolutionary Biology. Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800049-6.00251-1.

Margulis, L. 1991. Symbiosis in evolution: origins of cell motility. En S. Osawa and T. Honjo (eds.). Evolution of life. Springer, Tokyo. https://doi.org/10.1007/978-4-431-68302-5_19.

Margulis, L. 1997. Slanted truths: Essays on Gaia, symbiosis and evolution. Copernicus New York, NY. Springer Book Archive. New York. Pp. 368. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2284-2

Margulis, L. 2002. Planeta simbiótico: un nuevo punto de vista sobre la evolución. Debate.

Marín, C., and J. Suárez. 2024. Filosofía fungi. Ludus vitalis. Revista de Filosofía de las Ciencias de la Vida 30(2):71-96. https://doi.org/10.22370/lv.2024.30.2.4566.

Mayr, E. 1982. The growth of biological thought: diversity, evolution, and inheritance. Belknap Press of Harvard Univ. Press, Cambridge, MA.

Mestre, C. 2011. Biodiversidad de levaduras de suelo y rizósfera asociadas a especies de *Nothofagus* ectomicorrícicos del bosque Andino-patagónico. Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Comahue.

Molina, R., and T. R. Horton. 2015. Mycorrhiza specificity: its role in the development and function of common mycelial networks. Mycorrhizal Networks. Vol. 224. Ecological Studies. Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-7395-9_1.

Molter, D. J. 2019. On mycorrhizal individuality. Biology and Philosophy 34(5):52. https://doi.org/10.1007/s10539-019-9706-y.

Nara, K. 2006. Ectomycorrhizal networks and seedling establishment during early primary succession. New Phytologist 169:169-178. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01545.x.

Pradeu, T. 2012. The limits of the self: inmunology and biological identity. Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199775286.001.0001.

Santelices, B. 1999. How many kinds of individual are there? TREE 14(4):152-155. https://doi.org/10.1016/s0169-5347(98)01519-5.

Shapin, S., and J. R. Feito. 2000. La revolución científica: una interpretación alternativa. Paidós.

Simard, S. W., K. J. Beiler, M. A. Binghama, J. R. Deslippe, L. J. Philip, et al. 2012. Mycorrhizal networks: Mechanisms, ecology and modelling. Fungal Biology Reviews. https://doi.org/10.1016/j.fbr.2012.01.001.

Simard, S. W. 2018. Mycorrhizal networks facilitate tree communication, learning, and memory. En F. Baluska, M. Gagliano and G. Witzany (eds.). Memory and Learning in Plants. Signaling and Communication in Plants. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75596-0_10.

Simon, J. C., J. R. Marchesi, C. Mougel, and M. A. Selosse. 2019. Host-microbiota interactions: from holobiont theory to analysis. Microbiome 7(1):5. https://doi.org/10.1186/s40168-019-0619-4.

Smith, S. E., and D. J. Read. 2008. Mycorrhizal Symbiosis. 3rd ed. Academic Press.

Suárez, J., and A. Stencel. 2020. A part-dependent account of biological individuality: why holobionts are individuals and ecosystems simultaneously. Biol Rev 95:1308-1324. https://doi.org/10.1111/brv.12610.

Teste, F. R., S. W. Simard, D. M. Durall, R. D. Guy, et al. 2009. Access to mycorrhizal networks and roots of trees: importance for seedling survival and resource transfer. Ecology 90(10):2808-2822. https://doi.org/10.1890/08-1884.1.

Trappe, J. M. 2005. A. B. Frank and mycorrhizae: the challenge to evolutionary and ecologic theory. Mycorrhiza 15(4):277-281. https://doi.org/10.1007/s00572-004-0330-5.

Varela, F. J., and H. Maturana Romesín. 1980. Autopoiesis and Cognition: The realisation of the living. Boston Studies in the Philosophy of Science 42.

Wilson, R. A., and M. Barker. 2024. Biological Individuals. En E. N. Zalta and U. Nodelman (eds.). Stanford Encyclopedia

of Philosophy. Spring 2024. URL: bit.ly/49GIbA6.

Wood, K. A. 2020. Negative results provide valuable evidence for conservation. Perspectives in Ecology and Conservation 18(4):235-237. https://doi.org/10.1016/j.pecon.2020.10.007.

Yilmaz, Ö., and J. Dupré. 2025. Plant individuality: a physiological approach. Philosophy, Theory, and Practice in Biology 17(1). https://doi.org/10.3998/ptpbio.5261.