

MICORRIZAS Y ECOSISTEMAS DEL BOSQUE

EL SECRETO DE LOS ÁRBOLES

El intercambio de información, nutrientes y agua entre las plantas a través del suelo: la red fúngica bajo tierra.

Sofía Crescio y Astrid Luciana Ebrecht

MICOLOGÍA

Los suelos y los sedimentos marinos y de agua dulce, son algunos de los hábitats o dominios biológicos menos estudiados en la Tierra. Típicamente se los ha percibido como dominios subsuperficiales “oscuros”, sin vida, cuando en realidad contienen una mayor diversidad de especies que los hábitats superficiales que podemos observar. De hecho, los vínculos entre los hábitats subsuperficiales forman un continuo de ecosistemas interconectados que son esenciales para sostener la vida en la Tierra, en el cual las interacciones biológicas cumplen un rol fundamental para mantenerlo.

Particularmente, en los ecosistemas terrestres los organismos que intervienen en el suelo son diversos, tales como invertebrados, plantas (raíces) y microorganismos. Los microorganismos, principalmente las bacterias y los hongos, representan una importante fracción de esta biodiversidad.

En los últimos años se empezó a observar que, las bacterias y los hongos del suelo, intervienen en la productividad y diversidad de las plantas a escala global, tanto en ecosistemas naturales como agrícolas. Los hongos que establecen simbiosis con especies vegetales son llamados “hongos micorrícicos” y, según las especies de hongos involucradas y las características de la simbiosis, pueden ser ectomicorrizas o micorrizas arbusculares.

Hoy en día se está intentando utilizar a estos microorganismos para promover el mejor desarrollo y productividad de cultivos comerciales, así como también disminuir el uso de fertilizantes químicos. En este contexto, los hongos micorrícicos pueden tener distintos usos en agricultura. El uso más común es como bioestimulantes, es decir, actúan incrementando la absorción de nutrientes del suelo por parte de las plantas, principalmente de fósforo y nitrógeno. Incluso fomentan la absorción de otros micronutrientes por parte de las plantas como el cobre, cinc, hierro y manganeso, nutrientes esenciales para la salud humana pero normalmente escasos en el consumo alimenticio diario. En distintos países de Europa, en Estados Unidos e incluso en Argentina se ha reportado cómo la inoculación de hongos micorrícicos (tanto en conjunto con otros microorganismos como de manera aislada) promueve el crecimiento de plantaciones comerciales de soja, cebolla, sorgo, naranja, maíz, arándanos, melón, pepino y alcachofa, entre otras.

Considerando lo dicho anteriormente, se resalta el amplio y diverso rango de funciones que cumplen los hongos. Estos no sólo actúan como descomponedores, sino también como transformadores de la materia orgánica y/o movilizadores de nutrientes, patógenos y simbiontes de plantas y animales.

Un poco de historia

En la edad moderna (siglos XV a XVIII) los estudios científicos, particularmente en biología, se centraron en la anatomía y fisiología del desarrollo de los individuos. Recién a fines del siglo XIX, junto con el surgimiento de la ecología, se comenzó a dar relevancia a los sistemas orgánicos, comprendidos por individuos en relaciones tanto de cooperación como de competencia. A partir de allí se considera que las interacciones entre especies podrían ser claves para su evolución.

Así, existe una multiplicidad de interacciones entre organismos que son fundamentales para la existencia de todos sus participantes. Este es el caso de las interacciones que ocurren en la rizósfera (ver Glosario). Una multiplicidad de compuestos químicos es inter-

Palabras clave: bosque andino-patagónico, incendios, micorrizas, rol ecosistémico, simbiosis.

Sofía Crescio ¹

Lic. en Ciencias Biológicas
sofiacrescio.r@gmail.com

Astrid Luciana Ebrecht ¹

Lic. en Ciencias Biológicas
lucianaebrecht@comahue-conicet.gob.ar

¹Instituto Andino Patagónico de Tecnologías Biológicas y Geoambientales (IPATEC, CONICET - UNCo)

Recibido: 10/04/2023. Aceptado: 02/06/2023.

cambiada entre las plantas, los microorganismos y el suelo, estableciéndose así una comunicación estrecha entre todas las partes. Esta comunicación es multidireccional, es decir, las plantas influyen la presencia de los microorganismos en el suelo y viceversa. De esta manera, la frontera del individuo se hace difusa y las plantas junto con los organismos del suelo actuarían en conjunto y con propiedades emergentes otorgadas por dicha interacción. A este concepto, Lynn Margulis y Scott Gilbert, entre otros autores dedicados a la biología evolutiva, lo describen como holobionte.

Recientemente, se han encontrado fósiles de estructuras similares al micelio fúngico con vestigios de la proteína quitina, una proteína característica de la pared celular de los hongos, que se utiliza para reconocer a estos organismos fosilizados dado el alto grado de conservación que presenta. Estos fósiles fueron datados molecularmente determinando que tienen una antigüedad comprendida entre 715 y 810 millones de años (Neoproterozoico) y que representan una de las redes fúngicas más antiguas conocidas hasta el momento.

La colonización de la tierra

El ecosistema terrestre presenta condiciones adversas para el establecimiento de las plantas. A diferencia del ecosistema acuático, los nutrientes y el agua suelen ser de más difícil acceso y la insolación puede ser elevada. Debido a esto, se cree que los hongos filamentosos fueron cruciales en la colonización de los primeros organismos fotosintéticos en el ecosistema terrestre; con lo cual, se hipotetiza que las primeras plantas en colonizar este ambiente mantenían simbiosis (ver Glosario) con hongos micorrícicos.

A través de la formación de extensas redes de filamentos microscópicos (hifas) en simbiosis mutualista con las raíces vegetales (micorrizas), los hongos pueden aumentar la meteorización de la roca (ver Glosario), favorecer la absorción de agua del suelo y ayudar a suplir los nutrientes de las plantas, particularmente en suelos jóvenes, poco desarrollados. Por otra parte, los hongos reciben de la planta los azúcares que son producidos fotosintéticamente en las hojas, siendo éstos su fuente de alimento. Dado que las hifas pueden alcanzar una mayor extensión que las raíces y son mucho más finas que éstas, a través de la asociación con los hongos micorrícicos las plantas son capaces de acceder a espacios del suelo a los que de otra manera no llegan. Es tan exitosa esta simbiosis, que cerca del 90% de las plantas vasculares la forman. Por otra parte, se ha visto que las plantas no vasculares (briofitas) pertenecientes al grupo de las Anthoceros y Hepáticas (no así los musgos) presentan hongos simbiosis dentro de sus radículas. Sin embargo, dado que no se trata de raíces verdaderas, está en discusión si esta simbiosis puede considerarse micorrícica.

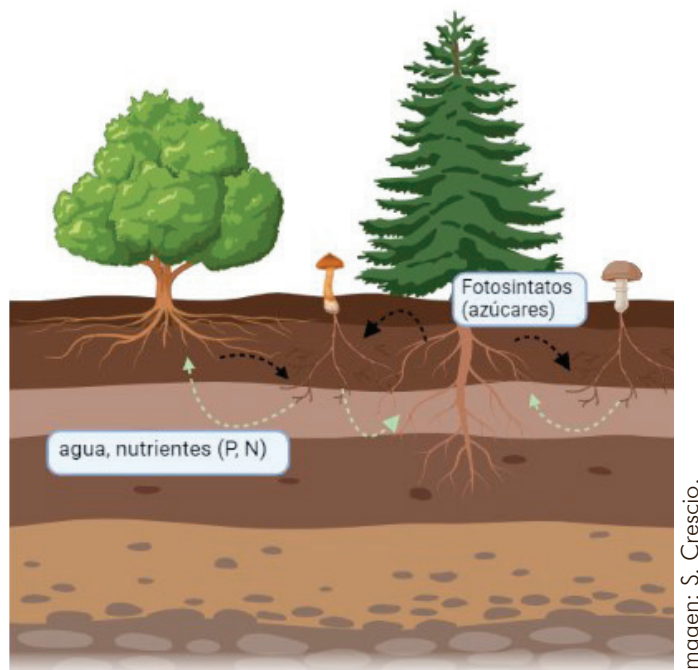


Imagen: S. Crescio.

Figura 1. Esquema de la Wood Wide Web, ejemplificando el intercambio multidireccional entre el micelio fúngico y las raíces de las plantas. Los hongos proveen una mayor capacidad de absorción de nutrientes y agua, envían señales químicas a las plantas frente al ataque de patógenos y herbívoros (flechas blancas), mientras que obtienen de éstas los azúcares producidos fotosintéticamente (flechas negras).

La Wood Wide Web, ¿qué es?

La Wood Wide Web es el nombre coloquial en inglés que hace referencia a la red micorrícica común, que se establece entre dos o más árboles o plantas de la misma o de distintas especies. Existe una transferencia multidireccional de nutrientes entre distintas plantas y hongos micorrícicos, mediada por el micelio. Ésta es la estructura vegetativa de los hongos, compuesta por hifas que se extienden a lo largo de kilómetros por debajo del suelo, y se vincula con las plantas a través de sus raíces. Esta interacción entre las plantas y los hongos permite que distintos árboles se comuniquen entre sí. Así, la Wood Wide Web es la "internet del suelo" (ver Figura 1).

Se ha propuesto un modelo de tipo fuente-sumidero, según el cual aquellas plantas que estuvieran experimentando una disponibilidad abundante de recursos (luz, agua, fósforo, etc.) podrían direccionar los azúcares formados fotosintéticamente o incluso ciertos nutrientes hacia aquellas plantas jóvenes que requieran un mayor acceso a dichos recursos. También, en casos de ataques por plagas y herbivoría, además de otros tipos de estrés, se ha observado comunicación entre plantas a través de avisos químicos induciendo resistencia en plantas vecinas, en la que la Wood Wide Web actúa ampliando el área de influencia.

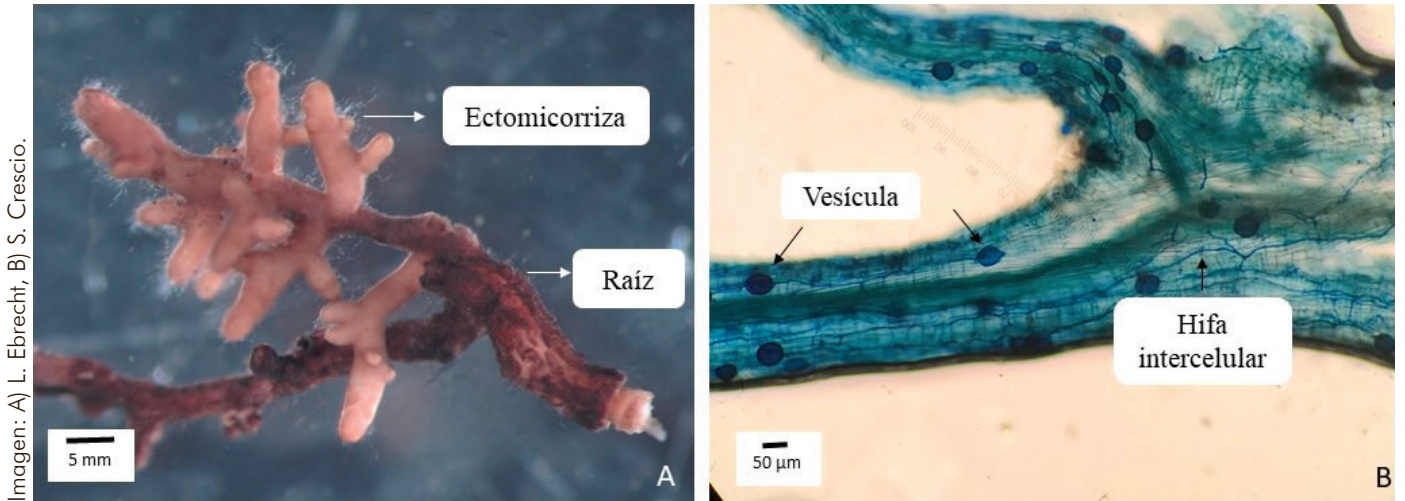


Figura 2. A) Raíz de ñire (*Nothofagus antarctica*) colonizada por un hongo ectomicorrícico. B) Raíz de alfalfa (*Medicago sativa*) colonizada por un hongo micorrícico arbuscular. Puede observarse la hifa corriendo paralela a la raíz, y vesículas dentro de ésta.

Dependiendo de las condiciones del suelo, la disponibilidad de nutrientes y agua, las redes de micelio (redes micorrícicas) que pueden establecerse estarán protagonizadas por distintos tipos de hongos. Por un lado, en suelos donde la disponibilidad de minerales como el nitrógeno es baja, la tendencia general que se observa es de mayor presencia de hongos ectomicorrícicos (ver Glosario), mientras que en suelos donde hay escasez de fósforo, la tendencia será a una mayor dominancia de hongos micorrícicos arbusculares (ver Glosario) (ver Figura 2).

Los bosques en la Patagonia

En el Cono Sur se extienden diversos tipos de ecosistemas, entre los cuales se encuentran los bosques andino – patagónicos. Estos ecosistemas son de gran importancia a nivel global, tanto desde la conservación de la biodiversidad como desde una perspectiva económica, debido a que son únicos en Sudamérica y a su alta productividad primaria.

Si bien el foco de este artículo está puesto en la región norte, los bosques andino-patagónicos comprenden una delgada línea boscosa que se extiende latitudinalmente por 6.450.000 hectáreas desde el norte de la provincia de Neuquén hasta Tierra del Fuego y la Isla de los Estados. En esta región se encuentran entornos particulares que se extienden a través de gradientes de temperatura, precipitación y duración del día: i) la temperatura promedio anual disminuye de norte a sur, ii) la duración del día durante el verano aumenta hacia el sur (mientras que en invierno disminuye) y iii) las precipitaciones presentan una disminución marcada de oeste a este de (aproximadamente de 2.000 mm a menos de 200 mm en tan solo 80 km). Esto sugiere que las poblaciones de árboles locales han desarrollado adaptaciones específicas a sus condiciones ambientales de origen tan heterogéneas.

Además de las características propias de las especies vegetales que les permiten su establecimiento y permanencia en la región, también se encuentran presentes las simbiosis mencionadas. Por ejemplo, la simbiosis con ectomicorrizas es predominante en bosques de coihue (*Nothofagus dombeyii*), roble (*Nothofagus obliqua*), raulí (*Nothofagus alpina*), lenga (*Nothofagus pumilio*) y ñire (*Nothofagus antarctica*, ver Figura 3). Mientras que el amancay (*Alstroemeria aurea*), otra especie nativa, tiene asociaciones con micorrizas arbusculares (ver Figura 4). Además, en todos los casos la presencia de micorrizas, sea de uno o varios tipos, viene acompañada de bacterias que se asocian a sus hifas, conformando lo que se denomina un “consorcio microbiano”.

Aquí radica la importancia de las redes fúngicas establecidas entre las plantas y microorganismos nativos formando los mencionados consorcios. Cabe destacar que, al ingresar una planta exótica en un ecosistema, ingresan también numerosas bacterias y hongos que están presentes en sus raíces, y que pueden afectar a los microorganismos nativos de la región.

Actividades humanas y naturaleza

En el bosque andino patagónico las actividades humanas inciden en la regeneración natural afectando el establecimiento y crecimiento de renovales (ver Glosario) e incrementando la competencia y el consumo por herbívoros a través de la introducción de especies exóticas (especialmente ganado), entre otras. Uno de los disturbios más importantes son los incendios (de origen natural y antrópico). Los incendios alteran negativamente la biodiversidad de los hongos ectomicorrícicos; por ejemplo, en bosques de ñire en el norte de la Patagonia se evidenció una disminución de la riqueza y diversidad de los hongos ectomicorrícicos, así como de las comunidades fúngicas del suelo aso-



Imagen: L. Ebrecht.

Figura 3. Raíces finas de ñire colonizadas por distintos hongos ectomicorrícicos.

ciadas a esta especie vegetal, respecto a una zona no afectada por el incendio.

Si bien los incendios suelen ser causantes de la disminución de los hongos micorrícicos, pueden existir excepciones. Por ejemplo, en un estudio realizado en el norte de la Patagonia, no se observaron diferencias en la colonización de micorrizas en suelos dominados por ciprés (*Austrocedrus chilensis*) entre sitios quemados y no quemados. Además, los incendios también pueden producir un efecto igualador en los niveles de diversidad de estos hongos. Esto indica que el mismo tipo de disturbio no produce necesariamente los mismos efectos, menos aún en los casos donde hay superposición con otros disturbios. Esto presenta un desafío aún mayor a la hora de tomar medidas de restauración (posterior a la actividad humana), o de prevención (anterior a la actividad), dado que es necesario prever la consecuencia que podrían tener sobre los microorganismos del suelo en cada caso particular.

Un factor que se debe tener en cuenta al evaluar la posible regeneración natural de una zona afectada por un incendio es el área que abarca. Esto se hace actualmente en la zona de los bosques andino-patagónicos. Si la superficie no es muy extensa, con el tiempo y sin el ingreso de ganado doméstico, la zona afectada sería capaz de volver a su estado natural por sí sola. En cambio, si el área que abarca es grande, las especies arbustivas y herbáceas son las primeras en colonizar la zona, restringiendo a los árboles a las zonas de borde del incendio. La regeneración natural se ve limitada en el interior de ésta, donde los cambios ambientales son más fuertes y no hay provisión de semillas dada la falta de árboles (Figura 5). Entonces, un incendio de gran magnitud en una zona boscosa no sólo afecta a las especies arbóreas, sino que genera un efecto en cadena: dificulta la regeneración natural de las especies arbóreas dominantes, favorece al sotobosque arbustivo propiciando el reemplazo del bosque por matorral,

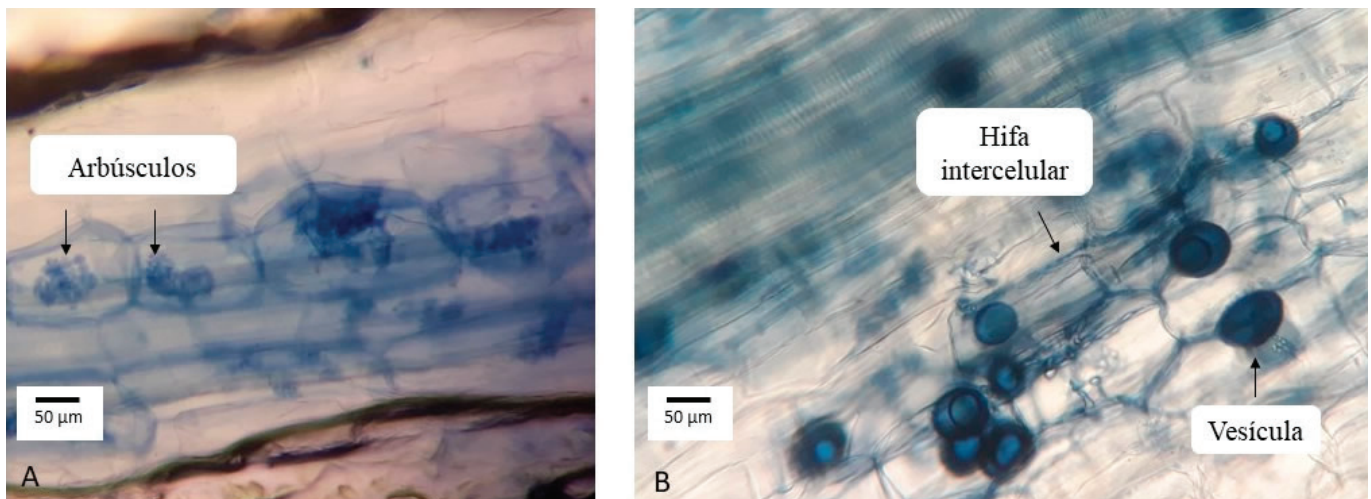


Imagen: M. Soto Mancilla.

Figura 4. Raíces de amancay (*Alstroemeria aurea*) colonizadas por un hongo micorrícico arbuscular. Se observan arbúsculos dentro de las células (A), hifas intercelulares y vesículas (B).

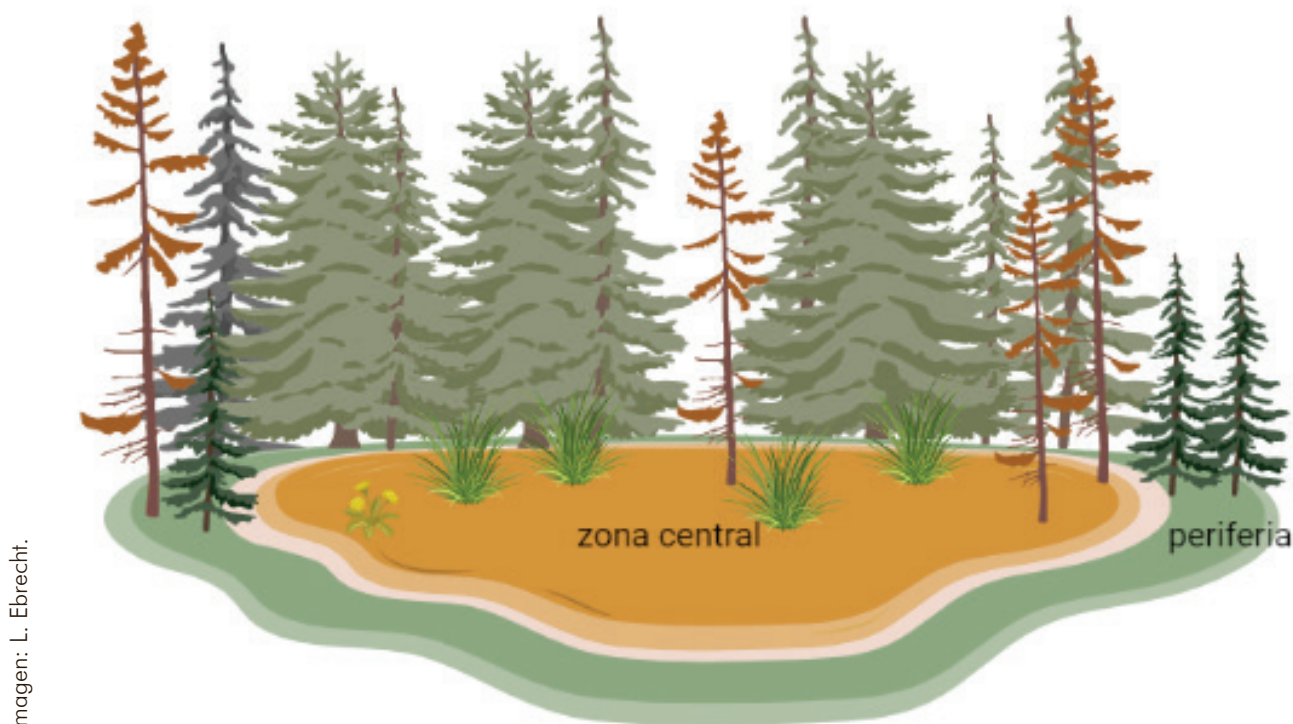


Imagen: L. Ebrecht.

Figura 5. Esquema de una situación hipotética en una zona afectada por un incendio. En la periferia, los árboles que permanecieron en pie proveen semillas y permiten la regeneración natural. Si el área afectada es extensa, sólo la periferia logrará regenerarse naturalmente, pero si es pequeña, los árboles de la periferia proveerán semillas que podrán ser transportadas a lo largo del territorio y el área quemada podría regenerarse naturalmente.

y genera cambios en las especies de hongos presentes en el ecosistema que, a su vez, alteran las propiedades fisicoquímicas del suelo, el ciclado de nutrientes y la presencia de otros organismos.

La complejidad del suelo como ecosistema y las interacciones que se dan entre sus componentes vivos (plantas, microorganismos) hace necesario evaluar cada situación en particular antes de realizar cualquier actividad que pudiera tener impacto en estos. La alta sensibilidad de los microorganismos a los disturbios permite utilizarlos como indicadores de la salud del suelo, lo cual los convierte en una herramienta interesante para realizar estudios de impacto ambiental previos al desarrollo de cualquier actividad humana, permitiendo prever la degradación del suelo antes de lo que lo indicarían parámetros físicos y químicos.

Perspectivas a futuro

En el escenario más desfavorable, donde la regeneración de las zonas afectadas por los incendios no ocurre naturalmente, se pueden tomar medidas activas de restauración. Las opciones de intervención son variadas, desde el control de especies exóticas, tratamiento del suelo, plantación de nativas, etc. Además, entre las acciones preventivas que se desarrollan están el monitoreo de los incendios, el control del pastoreo por ganado doméstico y de la tala de árboles. Todo esto es sabido y existen múltiples organizaciones gu-

bernamentales y no gubernamentales, vecinos autoconvocados, que llevan a cabo algunas de las actividades de restauración.

Para apostar a que los bosques andino-patagónicos conformen ecosistemas resilientes, capaces de auto-sostenerse, la conservación de la biodiversidad es la piedra angular de todo estudio preventivo asociado a las actividades humanas, ya que es lo que mantiene los procesos ecológicos que aseguran la provisión de los servicios ecosistémicos. Es necesario generar información que acompañe a estas acciones, sobre todo en relación a la microbiota que interactúa con las especies vegetales en los bosques, tanto las nativas como a las exóticas, para conocer cómo se ven afectados los suelos, y el entramado complejo que existe en ellos, frente a los disturbios.

Al ampliar la frontera del conocimiento, e indagar cada vez más en el ecosistema suelo, comenzamos a comprender a la Tierra como un organismo vivo, donde todas sus partes interactúan entre sí, estableciéndose un equilibrio dado por el funcionamiento de todos los sistemas que, a su vez, son dinámicos. Estos sistemas son las poblaciones vegetales, animales, fúngicas, y microbianas que se ven afectadas por factores físicos, químicos y geológicos, como los ciclos de nutrientes a nivel global. Dada la estrecha interacción entre todos los ecosistemas, cualquier disturbio que impacte en uno de ellos, generará una consecuencia

no sólo en éste, sino en aquellos con los que se vincula. Así, la Tierra en su conjunto comprende un sistema complejo, donde los bosques y los suelos, así como los seres humanos, formamos parte y es importante que nos involucremos y tomemos parte activa en su cuidado.

Glosario

Ecorregión: territorio geográfico extenso determinado por su clima, geología, hidrografía, fauna y flora.

Ectomicorrizas: hongos filamentosos que establecen simbiosis con las raíces de las plantas, sobre todo leñosas, sin ingresar en la célula vegetal de la raíz, sino formando mantos externos y penetrando la raíz por los espacios entre las células del córtex.

Meteorización: erosión de los minerales que ocurre sobre o cerca de la superficie terrestre, por encontrarse en contacto con la atmósfera, los seres vivos o el agua.

Micorrizas arbusculares: tipo de micorriza que establece simbiosis con las raíces de plantas, pero, a diferencia de las ectomicorrizas, éstas penetran las paredes celulares de las células del córtex de la raíz vegetal, sin ser patógenas (no enferman a la planta).

Renovales: árboles jóvenes pertenecientes a un bosque.

Simbiosis: interacción biológica o asociación estrecha entre dos o más organismos, beneficiándose mutuamente o no en alguno de sus estadios vitales. La simbiosis mutualista es ampliamente tratada en este artículo, donde ambas especies involucradas se ven beneficiadas por la interacción. Las simbiosis micorrícicas son un tipo de simbiosis mutualista establecida entre hongos micorrícicos y plantas.

Rizósfera: región del suelo que rodea a las raíces de las plantas y que está influenciada por las interacciones entre éstas y los microorganismos del suelo.

Resumen

En los bosques andino-patagónicos de Argentina es común encontrar micorrizas en especies vegetales nativas. Pero ¿qué implicancias tiene la presencia de esta asociación para el ecosistema forestal patagónico? Este artículo, propone recapitular los saberes en torno a las simbiosis entre microorganismos y plantas de la Patagonia, y difundir su conocimiento.

Para ampliar este tema

Gilbert, S. F., Sapp, J. y Tauber, A. I. (2012). A symbiotic view of life: we have never been individuals. *The Quarterly Review of Biology*, 87(4): 325-341.

Fernández, N. V., Marchelli, P. y Fontenla, S. B. (2018). Las micorrizas y el raulí. Una sociedad con mucho para brindar. *Desde la Patagonia, Difundiendo Saberes*, 15(25): 50-59.

Fioroni, F., Soto Mancilla, M., Fernández, N. V. y Carron, A. I. (2020). Los pinos y sus efectos invisibles. *Desde la Patagonia, Difundiendo Saberes*, 17(30): 40-48.

Veblen, T. T., Kitzberger, T. y Lara, A. (1992). Disturbance and forest dynamics along a transect from Andean rain forest to Patagonian shrubland. *Journal of Vegetation Science*, 3(4): 507-520.