

MICORRIZAS Y RAULÍ

UNA SOCIEDAD CON MUCHO PARA BRINDAR

Muchas veces desconocemos la importancia de aquello que no podemos observar a simple vista. Los invitamos a conocer a las micorrizas, una simbiosis fundamental para el desarrollo vegetal y con gran potencial en producción forestal.

Natalia V. Fernández, Paula Marchelli y Sonia B. Fontenla

Bosques Andino-patagónicos y domesticación de especies forestales nativas

Los bosques Andino-patagónicos se encuentran ubicados a ambos lados de la cordillera de los Andes, desde el norte de la provincia del Neuquén hasta Tierra del Fuego. En la Argentina, éstos representan aproximadamente el 10% de la superficie boscosa total. Además de poseer una belleza natural inigualable, estos bosques se caracterizan por la existencia de ecosistemas muy diversos, muchos de ellos únicos, con una alta diversidad de especies endémicas; es decir, que sólo se encuentran en esta región del mundo.

Los bosques andino-patagónicos son considerados una de las últimas reservas mundiales de bosques templados con poca alteración antrópica (ver Glosario) y uno de los biomas argentinos mejor conservados. Otras características de estos bosques que los hacen un patrimonio nacional de incalculable valor, son los

servicios ecosistémicos (ver Glosario) que brindan a la sociedad, y la riqueza económica de sus recursos (por ejemplo la madera, sumamente apreciada en el mercado local e internacional). Debido a la excelente calidad del recurso maderero, los bosques andino-patagónicos fueron explotados intensamente en el pasado, sin considerar un manejo silvícola apropiado que tuviera en cuenta su conservación.

Por otro lado, la expansión de la ganadería en estos ecosistemas boscosos trajo consigo la necesidad de generar praderas de pastoreo. Para ello fue necesario retirar la cubierta arbórea natural, lo que los pobladores ganaderos consiguieron provocando extensos incendios. Otros factores, tales como el establecimiento de extensas plantaciones forestales de especies exóticas en cuanto a recurso maderero alternativo y los incendios forestales, también han influido significativamente en el estado de conservación de estos bosques. En conjunto, estos factores han favorecido la reducción en la distribución natural de muchas especies vegetales y animales, así como la extinción de otras.

En Argentina, en 1937 se comenzó con la creación de los primeros parques nacionales, dándose así el primer paso destinado a proteger gran parte de los bosques andino-patagónicos. Otro hecho de gran importancia relacionado con la protección de estos ambientes nativos fue la sanción de la "Ley de presupuestos mínimos de protección ambiental de los bosques nativos" (Ley 26.331), presentada en el año 2007, cuyo objetivo es "establecer los presupuestos mínimos de protección ambiental para el enriquecimiento, la restauración, conservación, aprovechamiento y manejo sostenible de los bosques nativos, y de los servicios ambientales que éstos brindan a la sociedad". En este sentido, y tal como ocurre en el hemisferio norte y en Australia, se considera que una de las posibles formas de conservar y aprovechar los recursos naturales en forma sostenible es a través del cultivo y la producción de especies forestales autóctonas, lo cual contribuiría a mitigar la extracción maderera del bosque nativo, y a promover la producción forestal de especies autóctonas en lugar de exóticas, como los pinos.

Palabras clave: bosques andino-patagónicos, domesticación y producción forestal, especies forestales nativas, micorrizas.

Natalia Verónica Fernández ¹

Dra. en Biología.
natifernandez@comahue-conicet.gob.ar

Paula Marchelli²

Dra. en Biología.
pmarchelli@gmail.com

Sonia Beatriz Fontenla¹

Dra. en Biología.
fontenlasonia@gmail.com

⁽¹⁾Laboratorio de Microbiología Aplicada y Biotecnología IPATEC (CONICET – UNCo).

⁽²⁾Unidad de Genética Ecológica y Mejoramiento Forestal - INTA, EEA Bariloche.

Recibido: 02/11/2017. Aceptado: 25/04/2018.

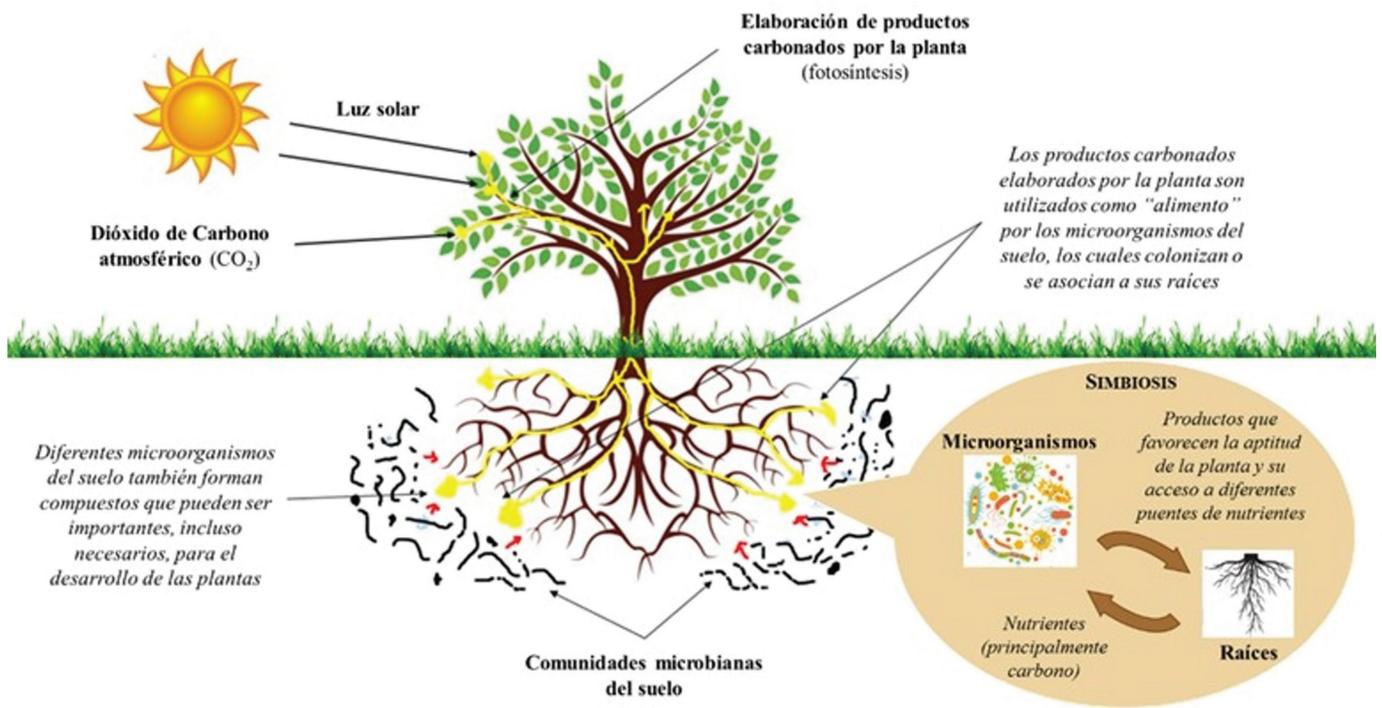


Imagen: N. Fernández

Figura 1. Relación entre diferentes microorganismos del suelo y las plantas que se desarrollan en ellos.

Estas últimas generan diversas problemáticas ambientales en la región, como por ejemplo la fragmentación del hábitat, la alteración del suelo, la eliminación del sotobosque, un mayor riesgo de plagas, enfermedades e incendios. Desde el punto de vista económico, la forestación con especies autóctonas tendría actualmente un costo más elevado respecto de la que se realiza tradicionalmente con pinos, pero éste se compensaría con la alta calidad y precio de la madera. Por otro lado, cultivar especies forestales autóctonas permitiría contar con plantines de calidad para llevar a cabo tareas de reforestación y restauración de ambientes naturales afectados por distintos disturbios, tanto naturales como antrópicos. En este contexto, domesticar y llevar a cultivo especies forestales autóctonas surge como una alternativa de gran relevancia regional. La domesticación se refiere a la forma en la que se seleccionan, manejan y propagan especies forestales con el fin de incrementar su tasa de crecimiento, la calidad de su madera, la resistencia a patógenos tanto como a distintos factores de estrés (por ejemplo, la sequía). Fomentar la domesticación y cultivo de especies forestales nativas de aptitud comercial constituiría, por lo tanto, una forma de disminuir el impacto sobre el bosque nativo, promoviendo su conservación y restauración y, a la vez, proveer al mercado de madera de calidad a partir de actividades forestales sustentables.

Una sociedad de gran relevancia: las micorrizas

Los microorganismos son seres vivos que sólo pue-

den ser observados a través de un microscopio y que habitan en nuestro entorno, incluyendo el suelo y las raíces de las plantas. Dado que son invisibles a nuestros ojos, se suele desconocer su ubicuidad y la importancia de los procesos que llevan a cabo. En la naturaleza, los microorganismos forman parte de comunidades complejas que interaccionan entre sí y con el medio ambiente. Además, son fundamentales para el funcionamiento de los ecosistemas, ya que muchos de ellos regulan el flujo de materia y energía de los mismos. Entre los microorganismos ambientales de importancia para el funcionamiento de los sistemas naturales se encuentran aquéllos capaces de establecer relaciones simbióticas mutualistas, es decir, relaciones en las que los organismos que interaccionan se ven beneficiados a partir de las mismas. Son numerosas las simbiosis mutualistas que pueden establecerse entre diversos microorganismos del suelo y las plantas (ver Figura 1), encontrándose entre ellas las micorrizas.

Las micorrizas se establecen entre diversos hongos del suelo y las raíces de la mayoría de las plantas, y representan una de las simbiosis más ampliamente distribuidas en la naturaleza. La integración morfológica y funcional (ver Glosario) entre ambos organismos es tal, que surge una nueva estructura, propia de la interacción, y ausente cuando los organismos se encuentran por separado. En este caso, el órgano de absorción de la planta ya no es simplemente la raíz, sino la micorriza (ver Figura 2). La base del funcionamiento de esta simbiosis es la transferencia de los carbohidratos (azúcares) elaborados durante la fotosíntesis desde la planta hacia el hongo, mientras que este último brinda

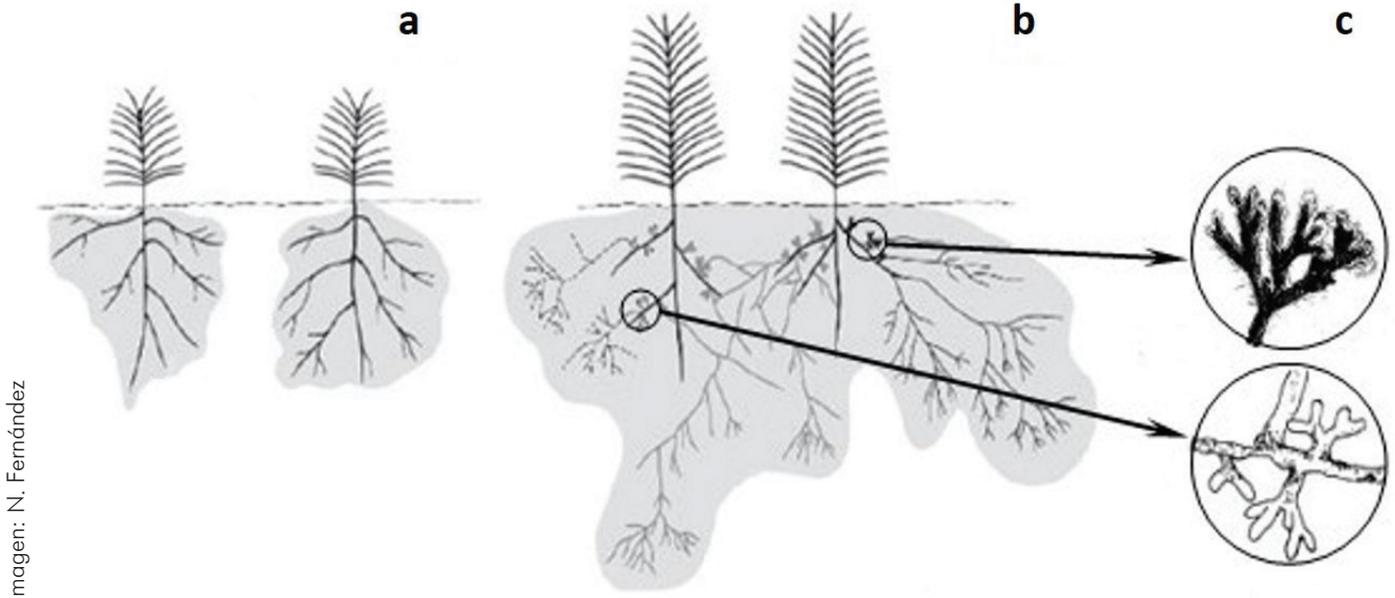


Imagen: N. Fernández

Figura 2. Sistemas radicales (A) sin micorrizas y (B) con micorrizas, notándose en este último el incremento en la superficie de absorción y el mayor tamaño del hospedador. Se señalan también los diferentes tipos de ectomorfotipos (C) asociados a la planta.

al vegetal agua y nutrientes que absorbe a partir del suelo en el que se desarrolla. Además, este intercambio de nutrientes ocurre a través de estructuras propias de la interacción, desarrolladas exclusivamente para tal fin. Es decir, cada organismo "paga" el costo de la simbiosis con diferentes "monedas", pero ambos se ven beneficiados a partir de la misma.

Las micorrizas permiten incrementar la aptitud de uno o ambos organismos, es decir su capacidad de supervivencia, de competencia y de reproducirse exitosamente. La planta no sólo "alimenta" al hongo, sino que además le brinda un ambiente propicio donde desarrollarse y estar protegido, incluso donde formar algunas de sus estructuras reproductivas. Por otro lado, el hongo se desarrolla tanto dentro de la planta como en el suelo circundante a la raíz, donde forma estructuras filamentosas que se denominan "hifas" y que presentan menor diámetro que los pelos radiculares. En consecuencia, el hongo amplía notablemente la superficie de absorción del sistema de raíces de la planta, aumentando la distancia de exploración y accediendo a poros de muy pequeño tamaño en los que las raíces no pueden penetrar (ver Figuras 2A y 2B). De esta forma, las micorrizas le permiten a la planta acceder a nutrientes que se hallan en baja concentración, que presentan movilidad reducida (principalmente fósforo) o que se encuentran en formas químicas no disponibles para los vegetales (por ejemplo, fuentes orgánicas).

Por lo tanto, estos hongos simbiosis brindan a las plantas que colonizan acceso a fuentes de nutrientes que de otra manera serían inaccesibles para ellas, in-

fluyendo significativa y positivamente sobre su tasa de fotosíntesis y su estado fisiológico general. Otra forma en la que las micorrizas afectan a la planta hospedadora generando cambios en el tamaño, longevidad y forma del sistema radicular y brindándole resistencia frente a diferentes patógenos, tales como bacterias, gusanos nematodos y otros hongos. Por lo tanto, las micorrizas tienen distintos efectos sobre su hospedador, principalmente relacionados con el incremento de la capacidad de la planta para alcanzar el estado reproductivo y generar descendencia (por ejemplo, incrementando el número y la calidad de las semillas). De hecho, algunas especies vegetales dependen de la simbiosis micorrízica para completar su ciclo de vida y les es imposible desarrollarse sin ellas, como ocurre con las orquídeas.

Debido a los numerosos efectos que las micorrizas generan en las plantas, éstas influyen sobre la diversidad, estructura y productividad de las comunidades vegetales. Por ello, su estudio resulta interesante y de gran importancia ecológica y socioeconómica. Desde el punto de vista aplicado y productivo, las micorrizas poseen potencial biotecnológico, principalmente relacionado con su capacidad de incrementar el crecimiento vegetal (bio-fertilización) y de actuar como bio-controladoras contra diferentes patógenos vegetales.

Las micorrizas y su importancia en producción forestal

La gran mayoría de las plantas poseen micorrizas en sus raíces, entre ellas el 85% de las especies de las



Imagen: N. Fernández

Figura 3. Características anato-morfológicas del raulí. A) Tronco recto y cilíndrico de gran porte; B) Corteza estriada; C) Hojas simples, de margen ondulado y suavemente aserrado, nervadura muy marcada.

plantas con flores (angiospermas) y casi la totalidad de las especies de plantas sin flores (gimnospermas) estudiadas hasta el momento a escala mundial. Las micorrizas no son las mismas para todas las especies vegetales, ya que existen diferentes tipos que dependen de la planta y del hongo que forman la simbiosis, los cuales pueden ser muy diversos. Por ejemplo, muchos árboles de gran importancia forestal poseen ectomicorrizas (ver Glosario) en sus raíces, encontrándose entre ellos los pinos, los arces, los abedules y especies tales como: lenga (*Nothofagus pumilio*), ñire (*Nothofagus antarctica*), coihue (*Nothofagus dombeyi*), roble pellín (*Nothofagus obliqua*) y raulí (*Nothofagus nervosa*). En las ectomicorrizas, el hongo forma un manto fúngico (ver Glosario) que recubre los ápices radicales (ver Glosario) del árbol de manera que éstos presentan características diferentes a los no colonizados.

Estas nuevas estructuras se denominan ectomorfo-tipos y poseen distinto patrón de ramificación, forma, color y textura respecto de las raíces no micorrizadas (ver Figura 2c). En general, en cada individuo pueden observarse varios ectomorfo-tipos, que al estar formados por distintos hongos pueden brindar diferentes beneficios al hospedador. Las ectomicorrizas constituyen la nueva estructura de absorción de la planta, y dado que alteran notablemente la morfología de los ápices radicales, es posible detectarlas al observar las raíces a simple vista o bajo lupa.

Dadas las ventajas que las ectomicorrizas suelen brindar al hospedador, éstas son frecuentemente utilizadas en viveros forestales a fin de reducir la cantidad de fertilizantes y pesticidas químicos. Además, aque-

llas plántulas que poseen ectomicorrizas en sus raíces se encuentran biológicamente mejor preparadas para iniciar en forma inmediata la exploración y explotación del suelo donde se implantarán en comparación con las no micorrizadas. Se reduce así el estrés generado por el trasplante y se incrementan las posibilidades de desarrollarse exitosamente en sistemas naturales, incluso bajo condiciones adversas. Esta información destaca el hecho de que las ectomicorrizas constituyen un factor a tener en cuenta tanto en la producción de las plántulas como al momento de evaluar la calidad de las mismas. De hecho, en la actualidad, existen viveros forestales en diferentes lugares del mundo que utilizan esta simbiosis para mejorar el desempeño de las plantas que producen. Sin embargo, en Argentina su potencial biotecnológico y productivo ha sido poco explorado.

En la región Andino-patagónica resulta de particular interés e importancia el cultivo y producción de diferentes especies de *Nothofagus*, dado que son las que componen la mayor parte del estrato arbóreo de estos bosques y presentan gran valor económico por la calidad de su madera. Todas las especies de *Nothofagus* estudiadas hasta el momento, tanto en Argentina como en otros sitios del hemisferio sur, poseen ectomicorrizas en sus raíces, indicando una alta dependencia de estas especies forestales por la simbiosis micorrízica. Los suelos de esta región son de origen volcánico y se encuentran poco desarrollados, por lo que se clasifican como Andisoles (ver Glosario). Su principal limitación es la alta retención de fósforo, lo cual determina que este nutriente esencial para las plantas se

encuentre poco disponible. A pesar de esto último, las especies del género *Nothofagus* que se desarrollan sobre estos suelos volcánicos, no presentan síntomas de carencia de fósforo, lo cual señala indirectamente que las ectomicorrizas presentes en sus raíces promueven la absorción de este nutriente, constituyendo entonces una de sus principales estrategias de adaptación al ambiente donde se desarrollan. En este contexto, durante el cultivo de especies del género *Nothofagus* es fundamental tener en cuenta esta simbiosis.

Para la mayor parte de las especies de *Nothofagus* presentes en Argentina ya ha sido descrita la forma de cosechar y procesar las semillas, las condiciones óptimas para su germinación y el manejo posterior de las plántulas según un sistema de fertirrigación (ver Glosario) durante el cultivo en vivero, que se basa en la aplicación de distintas dosis de fertilizantes junto con el riego y a diferentes tiempos de aplicación. Sin embargo, durante años se desconoció su relación con las micorrizas durante este proceso. Para describir y comprender qué ocurre en las raíces de plantines de *Nothofagus* durante su cultivo en un vivero forestal y luego de su implantación en el campo se tomó como especie modelo al raulí (ver Figura 3).

Se realizaron estudios, cuyos principales objetivos

fueron describir la abundancia y diversidad de ectomicorrizas en ejemplares de Raulí durante el proceso de domesticación en el vivero, y luego de ser trasplantados al campo bajo dos condiciones ambientales completamente diferentes: bosque nativo y plantación de pinos. Estos estudios, que se detallan a continuación, se realizaron conjuntamente entre el Laboratorio de Microbiología Aplicada y Biotecnología de la Universidad Nacional del Comahue - Sede Bariloche y la Unidad de Genética Ecológica y Mejoramiento Forestal perteneciente al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Agropecuaria Bariloche (INTA EEA Bariloche).

¿Qué pasa en las raíces del raulí durante su cultivo en el vivero?

Para saber si las plántulas de raulí forman ectomicorrizas durante el proceso de domesticación en vivero y en qué momento se establece esta simbiosis, durante dos años se realizó un ensayo bajo las mismas condiciones que viene utilizando el vivero forestal del INTA EEA Bariloche para la producción de esta especie. En primer lugar, se sembraron las semillas en tubetes (ver Glosario) con un sustrato compuesto por partes iguales de turba y arena volcánica, sin ningún tipo de

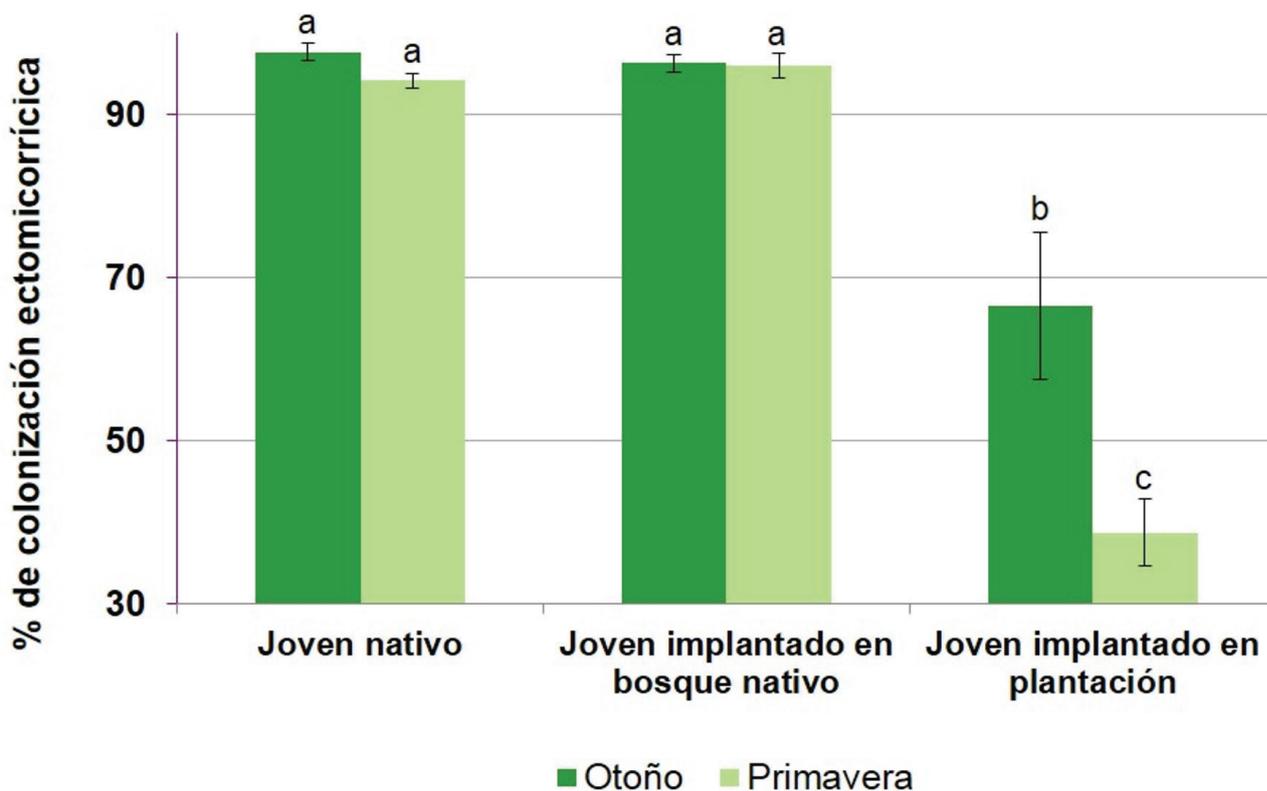


Imagen: N. Fernández

Figura 4. Porcentajes de colonización ectomicorrícica obtenidos en otoño (barras oscuras) y primavera (barras claras) para raulíes jóvenes pertenecientes al bosque nativo de Yuco, y en ejemplares de raulí cultivados en vivero y luego implantados en los ensayos de domesticación establecidos bajo este mismo bosque y bajo una plantación de pinos. Puede notarse que los valores fueron semejantes entre los ejemplares del bosque para ambas estaciones, pero significativamente menores en la plantación de pinos.

inoculación con hongos micorrícicos. Las plántulas permanecieron en el invernáculo bajo un sistema de fertirriego durante un año. Transcurrido este tiempo, la mitad de las plántulas permanecieron en el invernáculo durante un segundo período de crecimiento y el resto fueron trasplantadas al exterior, en el suelo del cantero del vivero.

Tras analizar las raíces en distintos tiempos, se observó que las plántulas no presentaron colonización durante los primeros seis meses tras la germinación, sino que la simbiosis se estableció en sus raíces de forma espontánea (sin agregado externo de inóculo) entre los seis y 12 meses de edad, aun cuando las plántulas poseían nutrientes en abundancia dado el régimen de fertirriego. Al año de edad y antes de ser trasplantadas al cantero, las plántulas presentaban un 74% de sus raíces colonizadas por ectomicorrizas. Finalizado el ensayo luego de dos años, se observó que las plántulas que permanecieron en el invernáculo no sólo presentaron mayor tamaño, sino también mayores porcentajes de colonización ectomicorrícica (72%) respecto de las trasplantadas al cantero (58%). Este fenómeno se debió posiblemente al estrés que significa el trasplante y al cambio en las condiciones ambientales que atraviesan las plántulas al ser llevadas al cantero, ya que se encuentran a la intemperie y sin aporte externo de nutrientes (fertirrigación). Esto derivaría en una menor disponibilidad de recursos por parte de la planta hospedadora para "pagarle" a la micorriza su "servicio", generando una disminución en la colonización.

Por otra parte, luego de identificar por medio de métodos moleculares (análisis de ADN) los hongos formadores de ectomicorrizas, se observó que las plántulas del invernáculo presentaban sólo dos ectomorfotipos mientras que las del cantero poseían seis (cada uno formado por una especie fúngica distinta), dos de ellos coincidentes con los del invernáculo. Se demostró entonces que las ectomicorrizas establecidas en las plántulas durante su estadía en el invernáculo permanecieron en su sistema radical transcurrido un año desde el trasplante, aunque en menor proporción ya que las raíces también fueron colonizadas por hongos propios del lugar de implantación. Es de destacar que las condiciones de cultivo del invernáculo (tipo de sustrato, fertirriego, temperatura, entre otros) pueden actuar como factores de selección para los hongos ectomicorrícicos, dado que sólo algunos de ellos pueden desarrollarse adecuadamente y formar la simbiosis bajo estas condiciones. De hecho, se ha descrito que existe un reducido grupo de hongos cosmopolitas capaces de formar ectomicorrizas en especies forestales cultivadas bajo condiciones de vivero, pero estas especies son reemplazadas rápidamente por las presentes en el suelo del lugar de implantación, dado que suelen

ser "malas competidoras" bajo condiciones naturales. Es por ello que las plántulas del cantero, que se encontraron expuestas al inóculo propio del suelo y a las especies fúngicas que en él habitan, establecieron relaciones simbióticas con hongos diferentes a los que colonizaron sus raíces en el invernáculo. Este hallazgo resalta la importancia del suelo como fuente de inóculo ectomicorrícico en la producción de plántulas de *Nothofagus*.

En base a este ensayo pudo determinarse que las plántulas de raulí cultivadas bajo las condiciones del vivero forestal del INTA Bariloche forman ectomicorrizas naturalmente (sin el agregado de inóculo). Este fenómeno ha sido observado para estas especies en otros viveros de la región que utilizan técnicas de cultivo diferentes (por ejemplo, utilizan suelo como sustrato para cultivarlas). Además, se determinó que tanto el porcentaje de colonización como la diversidad de ectomicorrizas varían dependiendo de la técnica de cultivo empleada (dos temporadas de crecimiento en el invernáculo o una en el invernáculo y otra en el cantero). En término de calidad de las plántulas, cabe destacar que las que permanecieron en el invernáculo presentaron mayor tamaño, desarrollo radical, y porcentaje de colonización micorrícica que las trasplantadas al cantero. Sin embargo, luego de un período de crecimiento en el cantero las plántulas se asocian a un número superior de ectomorfotipos, siendo esto beneficioso para ellas, ya que en general una mayor diversidad de ectomicorrizas está asociada a una mejor adaptación de las plántulas al medio natural.

¿Y qué sucede luego de su trasplantadas al campo?

El interés de cultivar diferentes especies forestales radica en la posibilidad de utilizarlas no sólo para plantaciones productivas, sino también para reforestación y restauración ecológica (ver Glosario). En cualquier caso, es necesario evaluar las características adaptativas y de crecimiento de la especie forestal una vez establecida en el campo, así como su supervivencia y su potencial productivo. Para ello, desde la Unidad de Genética Ecológica y Mejoramiento Forestal del INTA Bariloche se han instalado ensayos en distintos lugares del norte de la Patagonia que permiten estudiar el desempeño de las plántulas cultivadas en vivero implantadas bajo diferentes condiciones ambientales, por ejemplo, bajo bosque nativo y bajo plantaciones de pino. Algunos de estos ensayos se encuentran situados en el bosque nativo de la región de Yuco, mientras que otros se ubican bajo plantaciones de pinos en el área de Meliquina (sitios próximos a San Martín de los Andes, provincia de Neuquén). En Yuco, el bosque nativo es mixto, predominando entre las especies arbóreas el raulí y el roble pellín. Ambas especies fo-

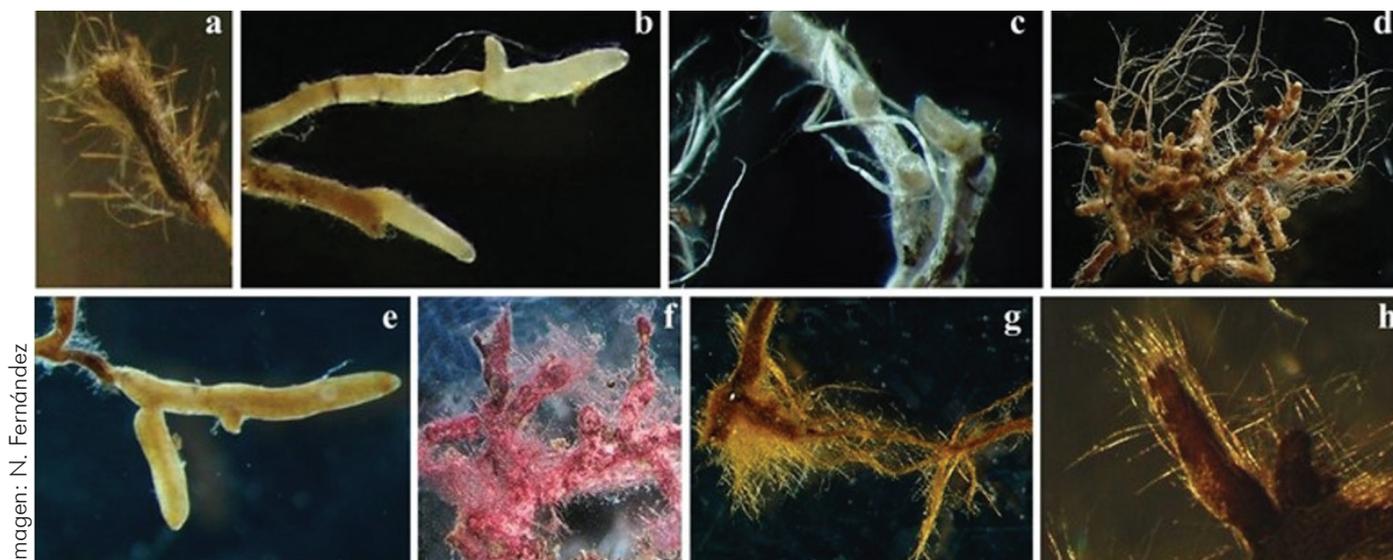


Imagen: N. Fernández

Figura 5. Ectomorfotipos formados por diferentes hongos simbiotes observados en los raulíes cultivados en el vivero del INTA Bariloche (A y B) y luego de su implantación bajo el bosque nativo de la región de Yuco (San Martín de los Andes, Neuquén) (C a H).

restales poseen elevada cantidad de ectomicorrizas en sus raíces. En este contexto y transcurridos diez años desde el establecimiento de cada ensayo, nos surgieron varios interrogantes. Nos preguntamos si las ectomicorrizas que se encuentran en las raíces de los ejemplares de raulí implantados en los ensayos son las mismas que presentan los ejemplares que se establecieron naturalmente en el bosque nativo. También, si las ectomicorrizas asociadas a raulíes implantados bajo bosque nativo son las mismas que en aquellos establecidos bajo la plantación de pinos, y si en las raíces de los raulíes implantados en los ensayos se encuentran las mismas ectomicorrizas que se hallaron en el vivero forestal donde fueron cultivadas. Para dar respuesta a estas preguntas, el grupo de trabajo estudió las ectomicorrizas asociadas a raíces de ejemplares de raulí jóvenes (10-15 años) en dos estaciones del año (otoño y primavera). En cada estación se tomaron muestras de ejemplares de raulí en tres situaciones: pertenecientes al bosque nativo de Yuco, implantados en los ensayos establecidos bajo este mismo bosque, e implantados bajo la plantación de pinos. En todas las muestras se determinó el porcentaje de colonización ectomicorrícica y el número e identidad de los diferentes hongos que formaban esta simbiosis en sus raíces (para ello se aplicaron métodos moleculares).

Entre los individuos estudiados en el bosque (nativos e implantados), los porcentajes de colonización ectomicorrícica fueron elevados en ambas estaciones del año (más del 90 %). Estos valores fueron comparables a los registrados en especies de *Nothofagus* pertenecientes a diferentes bosques nativos de la Patagonia. Por otro lado, los porcentajes de colonización correspondientes a los raulíes instalados en la plantación

de pinos fueron significativamente menores, tanto en otoño (67%) como en primavera (39%) (ver Figura 4).

En el bosque nativo se hallaron 27 especies de hongos formadores de ectomicorrizas, (24 de ellos estuvieron asociados a ejemplares nativos y 26 a los provenientes de procesos de domesticación), mientras que entre los raulíes jóvenes ubicados en la plantación de pinos se observaron sólo cuatro. No se registraron hongos formadores de ectomicorrizas en común entre estos ambientes, indicando que las comunidades de ectomicorrizas asociadas al raulí son diferentes entre ellos. Tampoco se registraron especies en común entre los ambientes de implantación y el vivero forestal del INTA Bariloche (ver Figura 5). Si consideramos que las plantas de raulí establecidas en los ensayos de campo fueron cultivadas en el mismo lugar y de la forma descrita en este artículo, podría pensarse que en el momento de la implantación las plántulas presentaban ectomicorrizas en sus raíces, en cuyo caso las micorrizas hubieran sido las mismas para todas las plántulas. Por lo tanto, resulta evidente que a pesar de haber presentado el mismo estado micorrícico en el momento del trasplante, transcurridos diez años desde su establecimiento en el campo, los raulíes establecidos bajo el bosque nativo y la plantación de pinos han llegado a presentar comunidades micorrícicas completamente diferentes.

Se debe destacar además que las plantas establecidas bajo la plantación de pinos presentaron menor tamaño y mayor mortalidad respecto de las implantadas en el bosque. En consecuencia, estos resultados indican que si bien el raulí es capaz de establecerse y crecer bajo la plantación de pinos a pesar del escaso manejo recibido en este ambiente, las condicio-

nes no son las óptimas para formar naturalmente las relaciones simbióticas que les permitirían mejorar su aptitud. Esto resalta la importancia de considerar la inoculación de hongos micorrícicos durante la producción de especies forestales en vivero, principalmente cuando los plantines serán implantados en sitios donde el inóculo natural del suelo ha sido modificado, por ejemplo, bajo plantaciones de coníferas o en sitios severamente afectados por algún disturbio (por ejemplo incendios o sobrepastoreo).

Estos resultados plantean otro interrogante, ¿Cuáles son los factores que explican la diferencia de abundancia y diversidad de ectomicorrizas en raíces de raulíes cultivados de la misma forma, pero implantados bajo dos escenarios diferentes (bosque nativo vs plantación de pinos)? Uno de los principales factores que afectan la composición de las comunidades de microorganismos presentes en el suelo es la composición del estrato arbóreo dominante (las especies que lo componen) y de las micorrizas asociadas a la misma. En Meliquina, la condición natural del bosque fue modificada al establecerse una plantación monoespecífica de pinos (especie exótica para estos bosques). Esto implicó no sólo que la riqueza y cobertura vegetal del ecosistema original se redujera drásticamente, sino también que se introdujera una especie exótica con ectomicorrizas propias y diferentes a las que forman los *Nothofagus*.

Ha sido descrito que una especie forestal implantada fuera de su área natural de distribución, como el pino, genera cambios en la composición de las comunidades de ectomicorrizas presentes tanto en el suelo donde será establecida, como en sus propias raíces. Incluso se ha demostrado que el número de hongos formadores de ectomicorrizas en plantaciones monoespecíficas de pinos establecidas fuera de su área natural de distribución es considerablemente menor que la descrita en lugares donde es autóctono. Estos cambios varían de acuerdo al clima, tipo de suelo, vegetación e intensidad de las prácticas de manejo. En este estudio se observó que el establecimiento de una plantación de coníferas exóticas (pinos) disminuye significativamente tanto los porcentajes de colonización ectomicorrícica como el número de hongos capaces de formar esta simbiosis en sus raíces.

¿Por qué resulta importante contar con esta información?

Como mencionamos anteriormente, diferentes especies de *Nothofagus* presentan estrategias comunes de adaptación al ambiente donde se desarrollan, entre ellas las ectomicorrizas. La presencia de diversas especies fúngicas que dan lugar a ectomorfortipos de distintas características también es un factor común a todas las especies comprendidas en este género, sugiriendo que formar variadas relaciones simbióticas

les brindan distintos beneficios, tales como acceder a diferentes fuentes de nutrientes, explorar distintos tipos de sustratos y protección contra patógenos vegetales, entre otros.

Si bien es ampliamente sabido que las comunidades de hongos ectomicorrícicos asociadas a los *Nothofagus* son completamente distintas a las de los pinos, en este estudio se determinó que la abundancia y diversidad de ectomicorrizas de una misma especie forestal, el raulí, varía significativamente respecto del ambiente de implantación. El menor porcentaje de colonización y diversidad de hongos formadores de ectomicorrizas entre los raulíes implantados bajo pino indicaría que si bien las plantas son capaces de establecerse y crecer, las condiciones para que esta especie desarrolle su mayor potencial y establezca diversos tipos de ectomicorrizas no son óptimas. A largo plazo, esto podría resultar en una baja productividad de la plantación forestal, resaltando así la necesidad de inocular los plantines con diferentes tipos de ectomicorrizas durante su cultivo, a fin de optimizar su posterior desarrollo y productividad.

Es también de destacar que el establecimiento de plantaciones de especies exóticas modifica las comunidades de hongos del suelo, lo que luego condiciona el establecimiento de plantas nativas en este sitio. Esto señala la necesidad de realizar planificaciones detalladas y precisas de los sitios donde se ubicarán las plantaciones a fin de evitar la degradación de nuestros bosques nativos.

Conocer los procesos que ocurren en el sistema radical de las plántulas y en las comunidades fúngicas asociadas a ellas, tanto durante su cultivo en el vivero como luego de su implantación en el campo, permite plantear estrategias de manejo que incluyan a las micorrizas como una parte integral de los procesos de domesticación de especies nativas de importancia forestal. Utilizar hongos ectomicorrícicos como agentes promotores del crecimiento, facilitadores de la implantación y/o de biocontrol, constituiría además una forma de fomentar la producción forestal sustentable, reduciéndose la necesidad de utilizar fertilizantes y pesticidas químicos. Por ello, resulta necesario avanzar no sólo con este tipo de estudios en diferentes especies de *Nothofagus* y en distintos ambientes, sino también en la selección específica de hongos ectomicorrícicos capaces de incrementar la aptitud de estas especies forestales durante su cultivo y su posterior desempeño luego de su implantación en el campo, ya sea para fines comerciales o de restauración.

Por otro lado, algunos de los hongos que forman ectomicorrizas en diferentes *Nothofagus* son comestibles, y su valoración como recurso alimenticio y económico es cada vez mayor, por lo que podría considerarse un ventajoso valor agregado durante la producción de

estas especies forestales.

Concluyendo, este artículo destaca que para explotar exitosamente una sociedad y llevarla a su máximo potencial, es de gran relevancia tener en cuenta todos los elementos que aportan a la misma (micorrizas+planta), y no sólo alguno de ellos.

Agradecimientos

Se agradece al personal del INTA que participó del establecimiento de los ensayos a campo y del cultivo de plántulas en el invernáculo: Mario Huentú, Abel Martínez, Mario Pastorino, María Marta Azpilicueta y Leonardo Gallo. También agradecemos a Parques Nacionales por brindarnos la posibilidad de trabajar en áreas protegidas y a los revisores de este artículo por

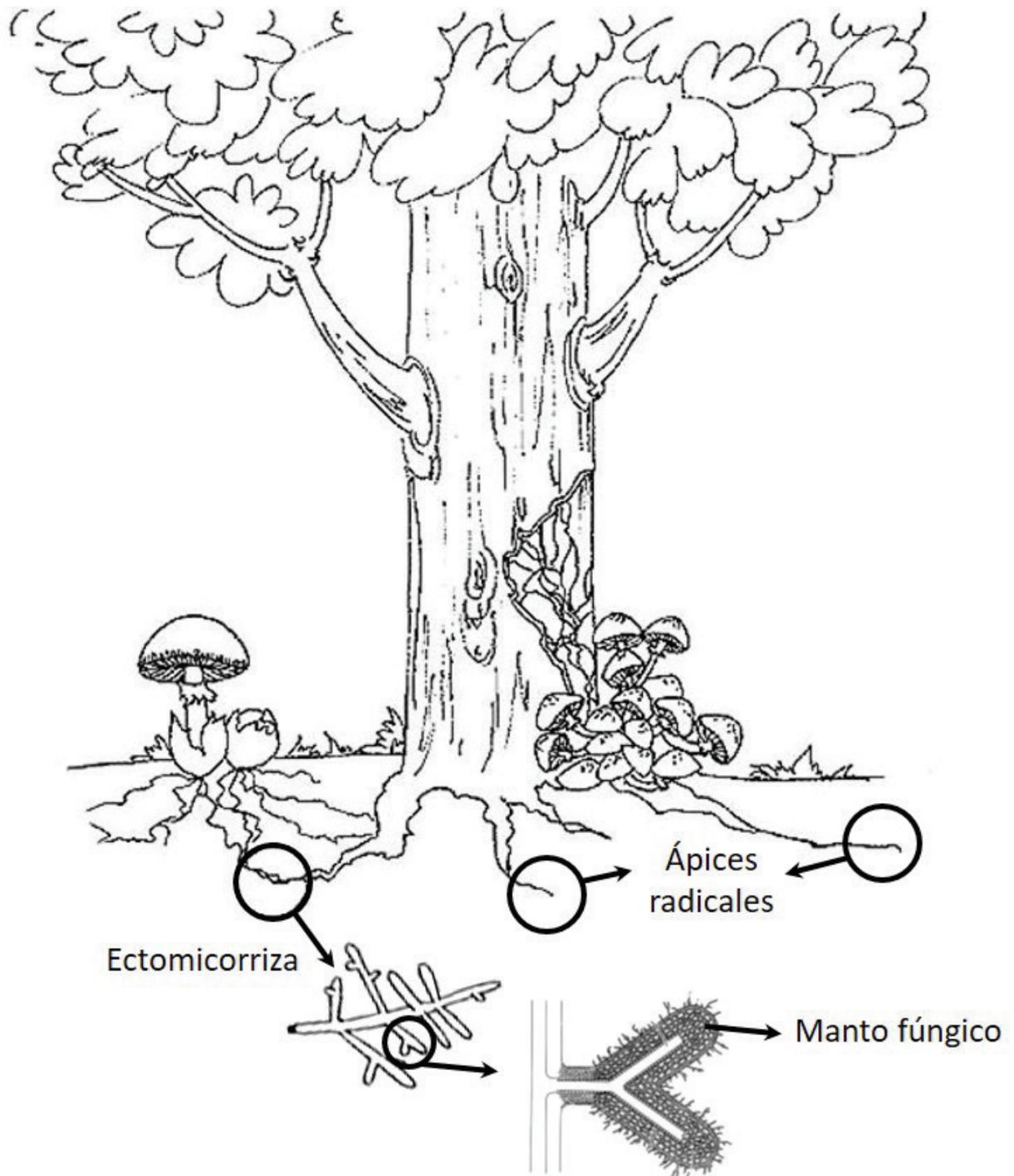


Imagen: N. Fernández

Figura 6. Estructuras asociadas a la formación de ectomicorrizas.

los aportes realizados.

Glosario

Alteración antrópica: Toda acción humana que modifica y que genera un desequilibrio en el ambiente.

Andisoles: Para su estudio, los suelos pueden clasificarse en distintas categorías, siendo los Andisoles una de ellas. Estos suelos se desarrollan a partir de cenizas y otros materiales volcánicos, son generalmente de color oscuro y muy porosos. Los bosques andinopatagónicos se desarrollan sobre este tipo de suelo.

Ápices radicales: Extremo de las raíces de las plantas (ver Figura 6).

Ectomicorrizas: Las micorrizas, una simbiosis entre diferentes hongos del suelo y las raíces de las plantas, se clasifican en siete tipos distintos. Las ectomicorrizas corresponden a uno de estos tipos, y se establecen principalmente en árboles y arbustos. En las ectomicorrizas el hongo coloniza la raíz formando un manto o vaina sobre ella y luego se desarrolla dentro de la misma (ver Figura 6).

Fertirrigación: Técnica que consiste en la aplicación de fertilizantes durante el cultivo de plantas dentro de un invernadero a través del sistema de riego.

Integración morfológica y funcional: Se refiere al hecho de que el hongo y la planta participan de la formación de estructuras nuevas que están morfológicamente constituidas por ambos tipos de organismos, estando su funcionamiento también regulado conjuntamente por los mismos.

Manto fúngico: Estructura característica de las ectomicorrizas en la que el hongo envuelve el ápice de la raíz formando un manto sobre ella, el cual generalmente modifica su forma y color (ver Figura 6).

Restauración ecológica: Conjunto de actividades cuyo fin es asistir o favorecer la recuperación de ecosistemas que han sido degradados, dañados o destruidos.

Servicios ecosistémicos: Corresponden a aquellos recursos o procesos de los ecosistemas naturales que benefician a los seres humanos, encontrándose entre ellos el agua, la madera, y productos comestibles (por ejemplo frutos y hongos).

Tubetes: Macetas plásticas de forma tubular que generalmente se agrupan en bandejas y se utilizan muy frecuentemente para la propagación de plantas forestales.

Lecturas sugeridas

Azpilicueta, M. M., Varela, S., Martínez, A. y Gallo, L. A. (2010). Técnicas de cosecha, producción de plantines y plantación de la especie Roble, Pellín, Roble Pellín o Hualle en la región andino patagónica. Buenos Aires: Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico (CIEFAP), Proyecto estratégico "Patagonia Fungi: Senderos y Sabores". En URL: www.ciefap.org.ar/index.php/noticias-ultimas/ultimas-noticias/397-patagonia-fungi-senderos-y-sabores

Fernández, N., Marchelli, P., Gallo, L. A. y Fontenla, S. (2012). Raulí (*Nothofagus nervosa*) y micorrizas en el vivero: un misterio bajo la superficie. *Patagonia Forestal*, 3, pp. 17-19.

Marchelli, P., Azpilicueta, M. M., Martínez, A., Varela, S., Arana, V., Pastorino, M. y Gallo, L. A. (2012). Recomendaciones prácticas para la viverización de especies arbóreas nativas patagónicas. Material de divulgación de técnicas en vivero destinado a viveristas. Bariloche: Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos (2005). Informe Nacional Proyecto Bosques Nativos y Áreas Protegidas. Préstamo BIRF 4085-AR En URL: www.ambienteforestalnoa.org.ar/userfiles/nodo/informe-nacionalpinbn.pdf