

MICORRIZAS, BOSQUES Y PLANTACIONES

LOS PINOS Y SUS EFECTOS INVISIBLES

Las plantaciones forestales poseen gran importancia económica y ecológica, pero también generan en el ambiente muchos cambios que no solemos tener en cuenta, especialmente aquellos que ocurren bajo el suelo.

Facundo Fioroni, Matías Soto Mancilla, Natalia V. Fernández y Ayelen I. Carron

En los últimos 30 años nuestro planeta ha perdido 178 millones de hectáreas (ha) de bosques nativos debido a diferentes actividades humanas, tales como el aprovechamiento forestal (extracción de productos maderables) y su reemplazo por espacios productivos destinados a la agricultura. Pese a ello, los bosques nativos aún se encuentran ampliamente distribuidos sobre la superficie terrestre y ocupan aproximadamente 3.800 millones de ha. También existen bosques creados por el ser humano, generalmente conocidos como bosques plantados o plantaciones forestales.

Se estima que estos últimos abarcan cerca de 294 millones de hectáreas y se utilizan principalmente para producción agrícola y forestal.

Beneficios de las plantaciones forestales

El establecimiento de plantaciones forestales aporta beneficios económicos y sociales, ya que permite la obtención de recursos madereros y el desarrollo de economías locales o regionales. Desde una perspectiva ecológica, las plantaciones contribuyen a disminuir la sobreexplotación de bosques naturales y, al igual que los bosques nativos, a mitigar el efecto invernadero (ver Glosario). Esto se logra mediante la fijación de carbono en las plantas y el suelo, reduciendo así los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera, siendo éste uno de los gases que más aportan al efecto invernadero.

En la actualidad, las plantaciones forestales producen la mayor parte del suministro de madera utilizada por la sociedad, pudiendo cubrir hasta el 90% de la demanda interna de cada país, como ocurre en Chile y Nueva Zelanda. A escala global, el incremento significativo de la población humana ha derivado en un marcado aumento en la demanda de madera y, en consecuencia, del área ocupada por plantaciones forestales. En este sentido, algunos estudios han predicho que hasta el año 2050 habrá un aumento anual global del 1,8% de la superficie utilizada para plantaciones forestales, pudiendo alcanzarse tasas mayores en algunas regiones. Por ejemplo, en Sudamérica se prevé que la superficie de tierra destinada a plantaciones aumentará casi un 50% para el año 2030. En la Patagonia constituyen también una importante actividad económica (ver Recuadro).

Efectos adversos

Pero también, las plantaciones forestales pueden afectar su entorno y presentar consecuencias indeseadas sobre el ambiente. Por ejemplo, cuando se prepara el sitio para establecer la plantación, se suelen utilizar grandes maquinarias que nivelan el

Palabras clave: bosques nativos, micorrizas, microorganismos, plantaciones no-nativas, suelo.

Facundo Fioroni^{1,2}

Lic. en Ciencias Biológicas
ffioroni@unrn.edu.ar

Matías Soto Mancilla³

Estudiante Lic. en Ciencias Biológicas
matyas.soto.33@gmail.com

Natalia V. Fernández^{4,5}

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

Ayelen I. Carron^{4,5}

Lic. en Ciencias Biológicas
ayecarron@gmail.com

¹ Universidad Nacional de Río Negro. Instituto de Recursos Naturales, Agroecología y Desarrollo Rural. Río Negro, Argentina.

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). IRNAD. Río Negro, Argentina.

³ Centro Regional Universitario Bariloche (CRUB), Universidad Nacional del Comahue (UNCo).

⁴ Laboratorio de Microbiología Aplicada, Biotecnología y Bioinformática - IPATEC (UNComahue - CONICET)

⁵ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Recibido: 22/09/2020. Aceptado: 26/11/2020.

terreno, eliminan la vegetación original del lugar e incluso se realiza la quema de los restos vegetales, afectando así de forma significativa la estructura del ecosistema. Es de destacar que, independientemente del tipo de ambiente donde se realice la plantación, ésta terminará reemplazando una comunidad vegetal diversa por un cultivo generalmente monoespecífico, es decir, compuesto por una única especie de árbol. Luego de establecidas, pueden generarse otros efectos adversos sobre el ambiente, tales como el impacto negativo sobre la vegetación del ecosistema local, la fragmentación del hábitat (ver Glosario), la alteración de las condiciones y propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, el aumento del riesgo de plagas y enfermedades, y cambios en los regímenes de incendios. Además, a medida que los árboles implantados crecen, comienza a cerrarse el dosel arbóreo (ver Glosario), reduciéndose el ingreso de luz a los niveles inferiores. Esta falta de luz contribuye a limitar el desarrollo de plantas en el sotobosque (ver Glosario), haciendo que no crezca o que sea poco denso, dejando el suelo descubierto y susceptible de erosión tras la extracción maderera. Por lo tanto, una de las grandes consecuencias adversas de las plantaciones, y que significa un gran impacto medioambiental, es que se reduce en gran medida la biodiversidad (ver Glosario) del lugar.

Por otro lado, las plantaciones forestales suelen tener necesidades hídricas y nutricionales diferentes a la de los bosques naturales. Al tratarse, en general, de especies arbóreas de rápido crecimiento, tienden a absorber mayor cantidad de agua y nutrientes. Esto lleva a una mayor explotación de los recursos del suelo. Además, cuando la plantación adquiere la madurez apropiada para la extracción maderera, los árboles son talados para su comercialización, y de esta forma los nutrientes utilizados por la planta para crecer no regresan al suelo, volviéndolo cada vez menos fértil. Esto puede disminuir significativamente la productividad en las siguientes cosechas. En conjunto, estos fenómenos pueden provocar una importante degradación y erosión del suelo, dificultando la

recuperación del ambiente y de la vegetación del lugar una vez que la plantación ya no es productiva o que se decide no continuar con su explotación. Sumado a lo anterior, en las plantaciones de pinos se genera una gran cantidad de hojas, que al secarse caen y se acumulan sobre el suelo, generando una capa de varios centímetros conocida como pinocha. Este material es altamente inflamable y puede desencadenar incendios forestales mucho más intensos y con una frecuencia mayor a la que naturalmente ocurriría en ausencia de la plantación.

Otro aspecto a tener en cuenta es que, en términos generales, se han implementado prácticas de cultivos monoespecíficos con especies forestales que suelen ser no-nativas, es decir, cuyo origen es diferente del lugar donde fueron implantadas. Algunas de estas especies forestales no-nativas pueden dispersarse fuera de las plantaciones generando invasiones biológicas (ver Glosario) en los ecosistemas aledaños. A medida que las especies invasoras avanzan, son capaces de desplazar y reemplazar a la vegetación nativa, lo que puede generar grandes cambios en estos ecosistemas. Las invasiones biológicas son consideradas uno de los principales factores que aportan al cambio global, debido a que modifican tanto la disponibilidad y distribución de los recursos de los ecosistemas afectados, como la estructura de las comunidades que los constituyen, entre otros aspectos.

Todo esto permite destacar cómo las alteraciones que genera el establecimiento de plantaciones forestales contribuyen, no sólo a generar cambios drásticos en la estructura y dinámica de los ecosistemas, sino también a incrementar la pérdida de biodiversidad. En este contexto, el suelo y los organismos que en él habitan resultan de fundamental importancia, ya que proveen sostén y recursos a todas las comunidades que se desarrollan sobre el mismo.

Los microorganismos del suelo y su importancia

El suelo sobre el que vivimos es un sistema complejo y dinámico que suele ser considerado como un "gran

Plantaciones forestales en Patagonia

Dada la necesidad de materia prima y las ventajas sociales inherentes al establecimiento de plantaciones forestales comerciales (fuente de trabajo y desarrollo de economías regionales, entre otras), durante las últimas décadas esta actividad productiva ha sido muy promovida por el Estado Argentino, contribuyendo con el otorgamiento de créditos monetarios y aplicando reducciones en impuestos. Estas políticas resultaron, a comienzos del año 2000, en 70.000 ha de plantaciones de diferentes especies pertenecientes al género *Pinus*. En Patagonia se ha establecido este tipo de plantaciones durante años y en diferentes ecosistemas. Esto ha llevado a que estén presentes a lo largo de todo el paisaje patagónico, inmersas en la estepa, matorrales y bosques. De hecho, de las 86.000 ha de plantaciones de pino ponderosa que existen en Argentina en este momento, aproximadamente 67.650 ha se encuentran en Patagonia, lo cual representa el 80% del total de las plantaciones de la región. Le sigue en orden de importancia el pino contorta (*Pinus contorta*), que ocupa el 3% de superficie plantada.

sistema vivo". En reiteradas ocasiones se subestima la importancia que tiene para el resto de los organismos que se desarrollan sobre la tierra. Su papel es esencial para la vida como la conocemos, ya que proporciona sustrato físico, satisface los requerimientos nutricionales para el crecimiento de las plantas y brinda diversos servicios ecosistémicos (ver Glosario), como la producción de alimentos, la captura de carbono, el almacenamiento y la filtración de agua. El suelo está formado por una fracción sólida (componentes minerales y materia orgánica) y una red de poros llenos de agua y aire. Además, el suelo ofrece una gran variedad de hábitats donde se aloja una inmensa diversidad de organismos, que aún en la actualidad dista de conocerse por completo. Gran parte de esta diversidad corresponde a los microorganismos, pequeños seres vivos que sólo pueden ser vistos a través de un microscopio, tales como bacterias y hongos.

Los microorganismos, en general, son muy importantes, no sólo para el bienestar humano y nuestra vida cotidiana (por ejemplo son ampliamente utilizados en la producción de alimentos como panificados, lácteos y bebidas fermentadas, y tienen importantes aplicaciones farmacéuticas), sino también para diversos procesos ecológicos. Sin la acción de los microorganismos los restos animales y vegetales no podrían descomponerse y se acumularían sistemáticamente, dejando el mundo entero cubierto por ellos. Por otro lado, gran parte del oxígeno que respiramos es liberado por diversos microorganismos al hacer fotosíntesis. En el suelo, existe una amplia variedad de microorganismos que se relacionan directamente con las raíces de las plantas. Algunos de éstos son perjudiciales, ya sea porque producen enfermedades (patógenos) o porque compiten con ellas por recursos vitales (agua y nutrientes). Sin embargo, muchos otros son capaces de promover el desarrollo y el crecimiento vegetal.

Entre los microorganismos del suelo, los hongos son un grupo abundante y muy diverso. Uno de los grupos más importantes, tanto en términos de biomasa como de los procesos ecosistémicos en los que participan, son aquellos que forman "micorrizas". Las micorrizas son asociaciones simbióticas que se establecen entre diferentes hongos del suelo y las raíces de la mayoría de las plantas, generalmente beneficiando el desarrollo de ambos tipos de organismos. Al formarse la micorriza, los hongos ingresan en la raíz de las plantas y se desarrollan en ellas formando estructuras particulares a través de las cuales se relacionan e intercambian nutrientes: la planta aporta al hongo azúcares elaborados durante la fotosíntesis, mientras que el hongo le brinda a la planta mayor capacidad de absorción de agua y nutrientes, protección contra

patógenos y tolerancia a situaciones de estrés, como la sequía o la contaminación por metales pesados e hidrocarburos. El hongo logra incrementar la absorción de agua y nutrientes debido a que se extiende por el suelo desde la superficie de la raíz y alcanza mayor distancia que ésta, no sólo aumentando el volumen de suelo explorado, sino también llegando a lugares que resultan inaccesibles para las raíces de la planta. De esta forma el hongo micorrícico le permite al vegetal obtener recursos que antes no estaban disponibles. Cuando la simbiosis se establece exitosamente, el órgano de absorción de la planta ya no es simplemente la raíz, sino la micorriza.

Esta asociación simbiótica puede ser tan importante para el desarrollo de una o ambas partes, que muchas veces resulta indispensable para que el hongo o la planta completen su ciclo de vida. En ocasiones el establecimiento de la simbiosis no es imprescindible para la supervivencia de la planta, pero su crecimiento sin el hongo simbionte es más lento y enfrenta condiciones desfavorables al momento de competir por recursos. En este contexto, suele ocurrir que las plantas micorrizadas se encuentran en mejores condiciones que las no-micorrizadas para acceder a diferentes fuentes de agua y nutrientes, permitiendo que se desarrollen mejor que aquellas que no establecieron la simbiosis. Es por esto que el establecimiento de micorrizas puede influir sobre la estructura de las comunidades vegetales, beneficiando a algunas especies por sobre otras. A su vez, diferentes especies vegetales suelen estar colonizadas por distintos grupos de hongos, y

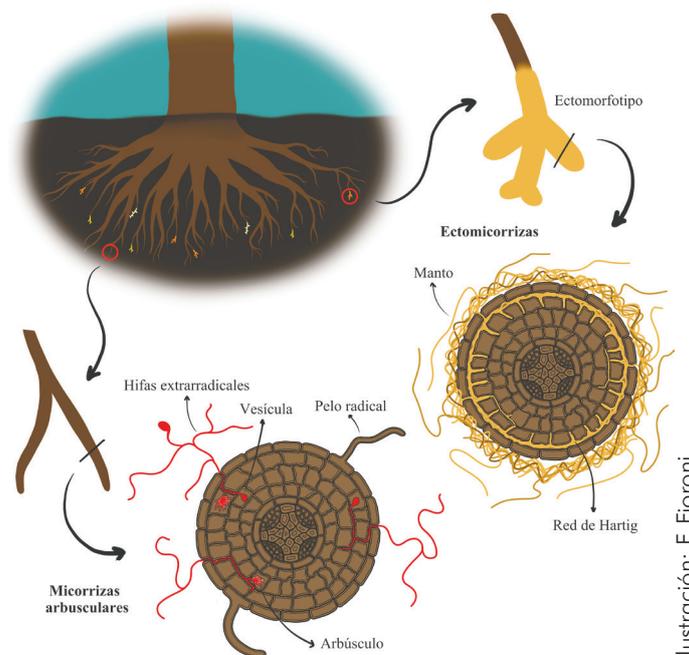


Figura 1. Esquema de una raíz colonizada por ectomicorrizas (arriba a la derecha) y micorrizas arbusculares (abajo a la izquierda), y de un corte transversal de las mismas, donde se destacan las estructuras características de cada tipo de simbiosis.

Ilustración: E. Fioroni.

Figura 2. Estructuras correspondientes a micorrizas arbusculares dentro de una raíz. Los arbuscúlos se encuentran señalados con asteriscos.

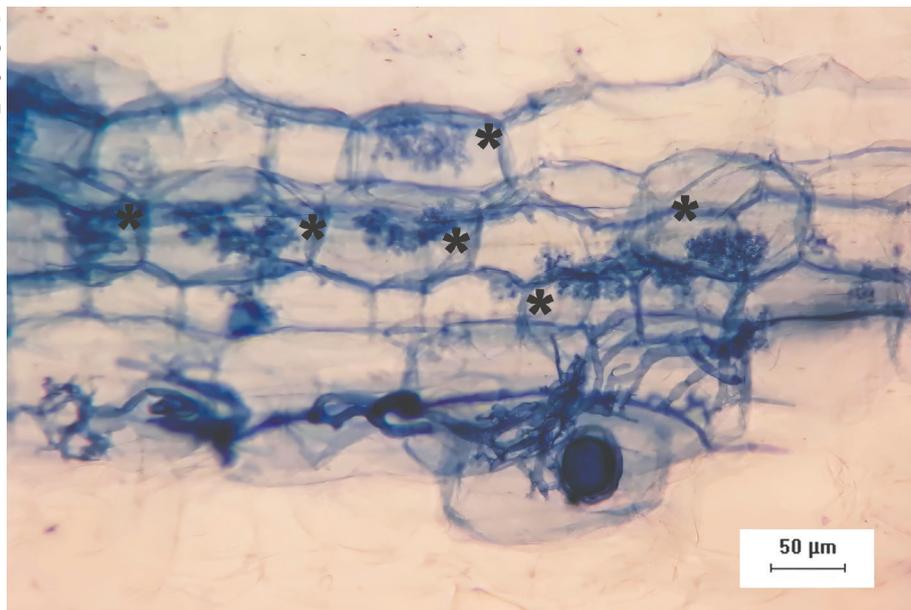


Imagen: M. Soto Mancilla

por ello las comunidades de hongos presentes en el suelo también varían según las especies de plantas presentes en el sitio.

Existen varios tipos de micorrizas, de los cuales las micorrizas arbusculares y las ectomicorrizas son los más importantes (ver Figura 1). Las micorrizas arbusculares se encuentran en la mayoría de las plantas (el 72% de las especies descritas hasta el momento), desde hierbas hasta árboles, siendo más frecuentes en herbáceas y arbustos. En Patagonia, este tipo de micorrizas se encuentra asociado también a especies arbóreas como el ciprés (*Austrocedrus chilensis*) y la araucaria (*Araucaria araucana*). Los hongos que establecen micorrizas arbusculares ingresan a la raíz sin modificar su morfología y forman estructuras particulares dentro de las células, entre las que se encuentran los arbuscúlos, estructuras similares a árboles donde se produce el intercambio de nutrientes con la planta (ver Figura 2). Por otro lado, las ectomicorrizas se encuentran generalmente en plantas leñosas (principalmente árboles) y, a diferencia de las anteriores, modifican significativamente la estructura de las raíces más delgadas. Esto se debe a que el hongo crece en torno a la raíz, formando un manto y modificando la forma en que ésta se ramifica. Estas nuevas estructuras se denominan "ectomorfortipos". En términos generales, ectomorfortipos formados por diferentes especies de hongos poseen características distintivas, como el patrón de ramificación, la forma, el color y la textura. En ocasiones los ectomorfortipos pueden observarse, incluso, a simple vista. Todas las especies de *Nothofagus* (coihue, lenga, ñire, roble pellín y raulí), que son los árboles dominantes en los bosques andino-patagónicos, poseen ectomicorrizas en sus raíces.

Dado que la mayor parte de las especies utilizadas para plantaciones forestales en la Patagonia

(*Pseudotsuga menziesii* y diferentes especies de *Pinus*) poseen ectomicorrizas en sus raíces, esta simbiosis constituye un factor fundamental a tener en cuenta al estudiar las consecuencias de la producción forestal sobre los ecosistemas. Los pinos son especies no nativas ectomicorrícicas obligadas, es decir que necesitan de esta simbiosis para poder establecerse y desarrollarse. Un aspecto interesante para remarcar es que los primeros intentos de introducir pinos en el país fracasaron a causa de que los suelos de la zona no contenían los hongos micorrícicos que se asocian con estas especies forestales, y no fue hasta que también se introdujeron los simbiosiontes apropiados que estas plantas pudieron cultivarse y prosperar adecuadamente.

¿Y qué pasa con las micorrizas?

Dado que la estructura de las comunidades de hongos micorrícicos está fuertemente asociada a las especies de plantas que se encuentren en el sitio, es de esperar que cambios significativos en la vegetación afecten la microbiología del suelo. Un ejemplo son las sucesiones ecológicas (ver Glosario) que ocurren tras un disturbio de gran magnitud. Por ejemplo, cuando un incendio afecta un bosque y se pierden los árboles, el terreno es comúnmente colonizado por especies de plantas pioneras que, en su mayoría, son hierbas. Estas variaciones en la vegetación van acompañadas de cambios significativos en las comunidades de hongos micorrícicos. Esta situación es evidente en los bosques andino-patagónicos, en los que las especies forestales dominantes (por ejemplo coihue, lenga, ñire) poseen ectomicorrizas en sus raíces, mientras que el sotobosque y los espacios abiertos se encuentran principalmente colonizados por hierbas y arbustos que, típicamente, poseen micorrizas arbusculares. De esta forma, tras un incendio se observa en estos sistemas naturales una

sucesión no sólo de las comunidades vegetales, sino también de las comunidades micorrícicas asociadas, destacando cómo varían las especies de hongos micorrícicos según las especies vegetales que dominan el sistema.

Existen diversos causantes de cambios en las comunidades vegetales y microbianas, y algunos de ellos pueden deberse a la intervención humana, tales como las invasiones biológicas por parte de especies vegetales no-nativas. Cuando estas especies avanzan sobre áreas naturales suelen hacerlo de manera eficiente y compiten por diferentes recursos con la vegetación nativa, pudiendo llegar a desplazarla completamente. En ocasiones, los cambios en las comunidades vegetales son intencionales, como es el caso de las plantaciones forestales. Ya hemos descrito algunos de los efectos que el establecimiento de estas plantaciones tiene sobre el ambiente, pero sus consecuencias sobre las comunidades de hongos micorrícicos y la vegetación asociada suelen ser erróneamente subestimadas. Un ejemplo de ello es que el establecimiento de una plantación de pinos puede favorecer la invasión por parte de estas especies. Es conocido que existen especies de hongos, como es el caso del hongo de pino (*Suillus luteus*), cuyas esporas pueden dispersarse a grandes distancias del punto de origen. Al establecerse la plantación puede ocurrir que estos hongos prosperen, se reproduzcan, y que sus esporas sean fácilmente dispersadas a sitios naturales aledaños, en los que no se encontraban presentes con anterioridad. De esta forma, las semillas de pino que se dispersan y llegan a estos lugares en los que sus hongos simbiosntes ya están disponibles, pueden germinar y prosperar, poniendo en peligro la vegetación nativa. Más allá de las desventajas ecológicas de este tipo de fenómenos, existen otras económicas, ya que el costo que tiene el control de especies invasoras es sumamente elevado, y requiere de planificación y manejo durante períodos prolongados de tiempo.

Si pensamos en la implementación de plantaciones de pinos en matrices boscosas nativas de la región Andino-patagónica, podría pensarse que la microbiología del suelo no se vería afectada severamente debido a que las especies involucradas tienen la misma forma de crecimiento (arbórea) y tipo de micorriza (ectomicorrizas). Sin embargo, este no es el caso. Los hongos formadores de ectomicorrizas son, mayoritariamente, específicos para cada especie o grupo de especies taxonómicamente cercanas. Esto implica que los hongos que colonizan una especie arbórea (por ejemplo, el coihue o la lenga, que son especies cercanas), generalmente no se encuentran en otras no emparentadas con ellas (como los pinos). Por lo tanto, el cambio en la especie forestal dominante puede generar que los hongos ectomicorrícicos que predominan en un bosque natural sean desplazados

e incluso reemplazados por aquellos asociados a la especie introducida. De esta forma, si los bosques andino-patagónicos, ricos en especies vegetales y de hongos, son reemplazados por una plantación forestal de pino o son invadidos por estas especies, las comunidades vegetales y de hongos micorrícicos cambiarán significativamente, disminuyendo la biodiversidad y funcionalidad del ecosistema. Estos cambios, que se encuentran asociados a serias consecuencias socio-ambientales (por ejemplo limitando los servicios ecosistémicos que el ambiente puede proveer), resultan aún más preocupantes al saber que, en muchos casos, son irreversibles.

Un ejemplo local

Para tener mayor conocimiento de la dinámica de las comunidades de hongos ectomicorrícicos en bosques naturales y plantados de Patagonia, realizamos un ensayo en el vivero del INTA Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Bariloche con una especie forestal nativa, el roble pellín (*Nothofagus obliqua*) y otra no-nativa, el pino ponderosa (*Pinus ponderosa*), que es comúnmente utilizada para plantaciones forestales de la región. Los objetivos de este ensayo fueron evaluar el crecimiento y colonización micorrícica de ambas especies forestales según el tipo de suelo en el que se cultivaran: suelo proveniente de una plantación de pinos o de un bosque nativo de roble pellín. En base a la teoría, esperamos que cada especie forestal presentara mayor colonización y diversidad de micorrizas así como mayor crecimiento al ser cultivadas en el suelo donde típicamente se desarrolla cada una.

En septiembre, germinamos semillas de ambas especies en arena. Cuando las plántulas desarrollaron sus primeras hojas, las trasplantamos a macetas que contenían suelo proveniente de un bosque nativo de roble pellín o de una plantación de pino ponderosa (ver Figura 3). Además, realizamos análisis químicos de cada tipo de suelo para caracterizarlos (acidez, conductividad, contenido de carbono, nitrógeno y fósforo).

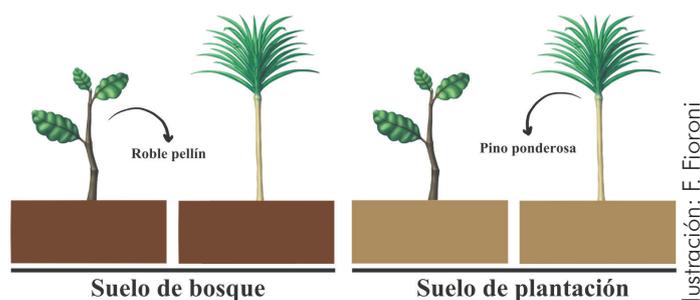


Figura 3. Esquema del diseño utilizado para el ensayo de vivero. El color de cada bloque representa las macetas con los distintos tipos de suelo (bosque y plantación).

Ilustración: F. Fioroni

Luego de seis meses, llevamos las plantas al laboratorio para realizar los análisis de crecimiento vegetal y micorrización. Para estimar la diversidad de hongos micorrícicos en las raíces de las plantas realizamos análisis moleculares, es decir realizamos pruebas para identificar los hongos a través de su ADN.

Lo primero que observamos fue que ambas especies forestales crecieron más en el suelo del bosque, que se determinó tenía mayor cantidad de nutrientes que el de la plantación. Esto significa que las plantas tuvieron más recursos nutricionales para poder crecer y desarrollarse. Luego de analizar las raíces, determinamos que ambas especies forestales fueron colonizadas por diferentes hongos ectomicorrícicos en los dos tipos de suelo. En el caso del roble pellín, el porcentaje de colonización por ectomicorrizas fue más elevado en el suelo de bosque (44%) que en el de la plantación (30%). Sin embargo, en los ejemplares de roble pellín cultivados en el suelo de la plantación encontramos cuatro especies de hongos formadores de ectomicorrizas, mientras que en los que crecían en el suelo del bosque se encontraron sólo dos, una de las cuales favoreció su crecimiento. Por el contrario, el pino presentó tanto mayor porcentaje de colonización por ectomicorrizas como número de especies de hongos que las formaban en el suelo de plantación (40% y seis especies) respecto del suelo de bosque (18% y cuatro especies) (ver Figura 4). Estos resultados indican que cada especie forestal forma mayor cantidad de micorrizas en el ambiente donde se desarrolla naturalmente, aunque en el suelo de la plantación ambas tendieron a establecer la simbiosis con mayor diversidad de hongos. En la Figura 5 se muestran los principales ectomorfofotipos que encontramos en suelo de bosque y en la Figura 6 los más abundantes en suelo de plantación.

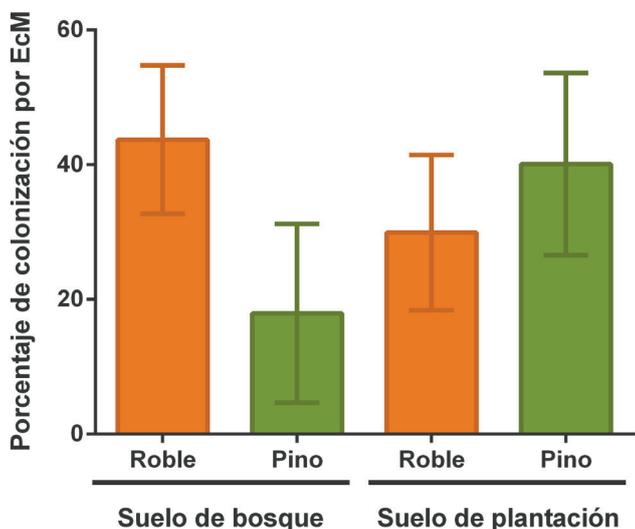


Figura 4. Porcentajes medios de colonización por ectomicorrizas en roble pellín y pino ponderosa cultivados en los dos tipos de suelo (barras horizontales).

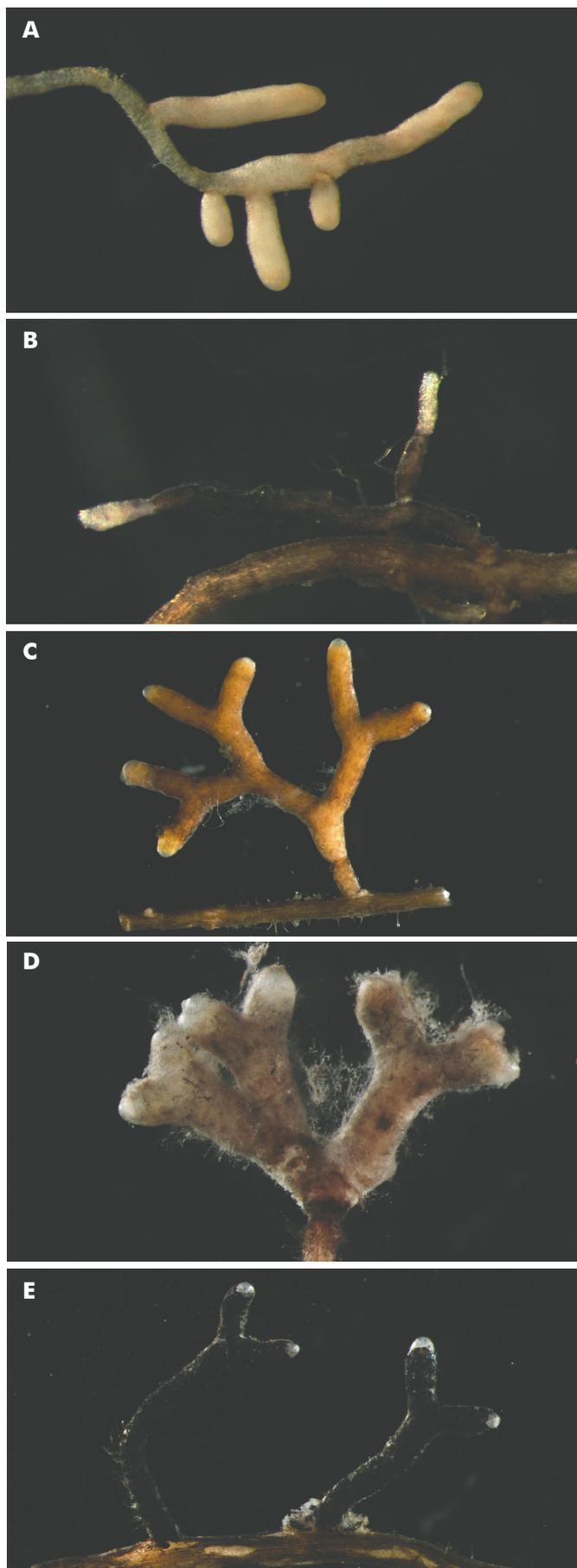


Figura 5. Ectomorfofotipos más abundantes hallados en suelo de bosque nativo, en raíces de roble pellín (A y B) y pino ponderosa (C, D y E).

Imágenes: F. Fioroni

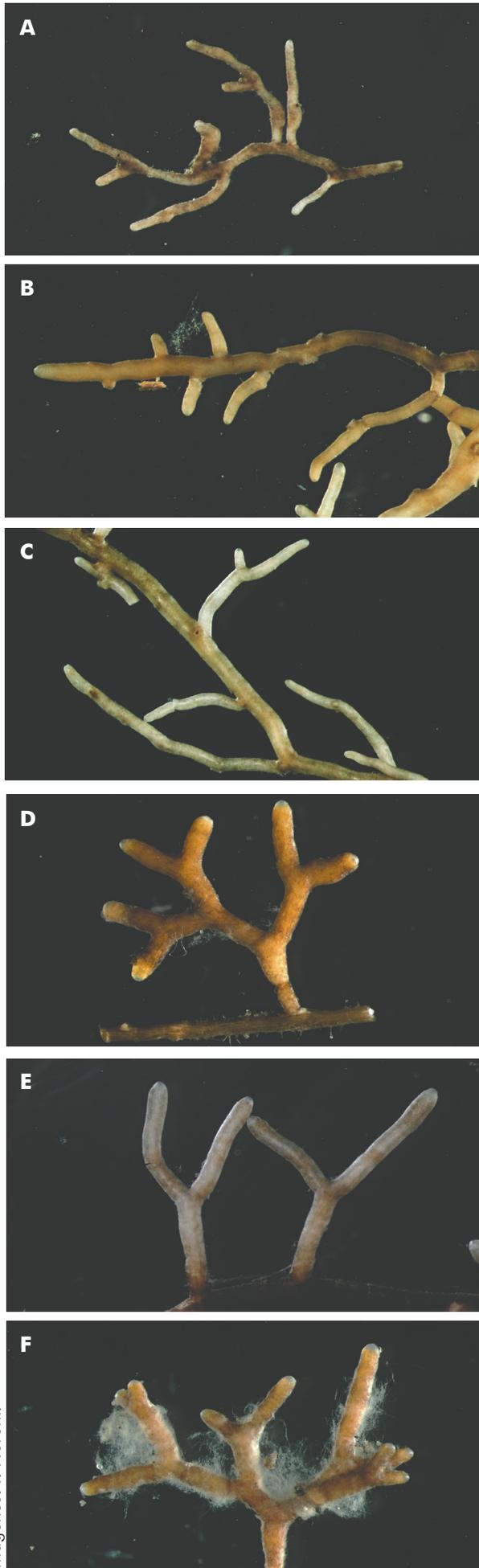


Figura 6. Ectomorfotipos más abundantes hallados en suelo de la plantación, en raíces de roble pellín (A, B y C) y pino ponderosa (D, E y F).

Por otro lado, observamos que las comunidades de hongos micorrícicos presentes en las raíces de la misma especie forestal fueron completamente diferentes según el suelo en el que se cultivará. Esto se debe a que el inóculo fúngico (ver Glosario) de cada tipo de suelo es distinto, y por ello las especies de hongos capaces de colonizar una misma especie vegetal también difirieron entre uno y otro. Estas variaciones en las comunidades de hongos del suelo se deben tanto a factores abióticos (por ejemplo acidez, contenido de nutrientes y humedad) como bióticos (especies del sotobosque), entre los que destaca el tipo de especie forestal dominante y sus micorrizas asociadas.

Ahora, al comparar los hongos formadores de ectomicorrizas en las raíces de ejemplares de roble pellín y pino cultivados en el mismo tipo de suelo, observamos que los hongos que colonizaron las raíces de cada especie de planta fueron, en términos generales, muy distintos. Estos resultados ponen de manifiesto que, a pesar de que la comunidad de hongos en el suelo (esto es, el inóculo fúngico) es la misma, los que efectivamente forman ectomicorrizas pueden variar según la especie vegetal que haya presente en un sitio, dada la especificidad que presenta esta simbiosis. Por ello, nos sorprendió encontrar que dos de los hongos identificados en las raíces de las plantas cultivadas en el suelo de la plantación fueron capaces de colonizar tanto al roble pellín como al pino ponderosa. Esto ocurre, únicamente y de manera excepcional, cuando en el suelo de cultivo existen especies de hongos ectomicorrícicos más generalistas, capaces de establecer la simbiosis con un rango más amplio de plantas.

Estos hallazgos muestran que la especie vegetal presente en un determinado lugar condiciona las comunidades de hongos ectomicorrícicos en su entorno, favoreciendo el desarrollo de aquellas especies que se asocian a sus raíces por sobre las demás. Es decir que al establecer una plantación próxima a un ambiente boscoso nativo, los pinos se irán asociando a hongos simbiosntes específicos, diferentes a los que se hallan en las raíces de las especies arbóreas nativas. Por lo tanto, las comunidades de hongos que forman esta simbiosis irán variando en el suelo de la plantación respecto de su entorno natural. Si, además, la especie de pino implantada es invasora, los resultados de este estudio sugieren que a medida que los pinos avanzan sobre el ecosistema nativo, podrían ir desplazando a las comunidades de hongos ectomicorrícicos propios del lugar, incluso afectando el establecimiento de las

especies forestales nativas. Esto representa un gran problema considerando que, como se mencionó con anterioridad, estos cambios pueden afectar al ambiente de forma irreversible.

Es importante tener en cuenta que, si bien ambas especies forestales presentaron ectomicorrizas en los dos tipos de suelo, esto no significa que las especies de hongos que las formaban sean las que les resulten de "mayor utilidad" o las que más las beneficien. Diferentes hongos aportan distintos beneficios a las plantas con las que se relacionan. Mientras que algunos promoverán su crecimiento y capacidad de competir, otros no generarán cambios aparentes o significativos. De hecho, encontramos que la especie de hongo que favoreció el crecimiento del roble pellín estaba presente únicamente en las plantas cultivadas en suelo de bosque. Considerar esta información es relevante porque, aunque se planten robles pellín en un sitio donde haya estado establecida una plantación de pino (ya sea para generar cultivos forestales mixtos o para restaurarlo) y éstos sean colonizados naturalmente por hongos micorrícicos propios del lugar, es posible que no puedan prosperar exitosamente porque las condiciones nutricionales del suelo pueden ser más pobres y sus simbiontes no ser los más apropiados, por lo que estarían en desventaja frente a los pinos. Y aunque los pinos hayan sido removidos, la microbiología del suelo habrá cambiado de tal forma que dificultará el establecimiento de especies forestales nativas.

¿Por qué es importante?

Por lo general, el interés en este tipo de prácticas productivas es el de obtener un producto forestal maderable y el mejor rédito económico posible. Por ello, el enfoque de manejo está orientado casi exclusivamente al crecimiento de las plantas hasta el momento de su aprovechamiento, sin considerar las comunidades microbianas del suelo ni los efectos sobre el ambiente a largo plazo. Hemos mostrado en este artículo que el conocimiento acerca de los cambios en las comunidades de microorganismos tiene un gran valor ecológico y económico, y puede contribuir a la toma de decisiones respecto del manejo de sistemas forestales nativos y cultivados, incluso en un contexto de invasiones biológicas y de planificación de actividades de restauración.

Por otro lado, es importante considerar que los microorganismos del suelo proveen servicios ecosistémicos fundamentales, como la degradación de materia orgánica, el mejoramiento nutricional y estructural del suelo, el secuestro del carbono gaseoso (que es uno de los principales impulsores del calentamiento global) y la regulación de microorganismos perjudiciales, todo gracias al delicado balance que se mantiene en el ecosistema.

En muchas ocasiones las plantaciones generan desequilibrios en este balance, y por lo tanto muchos de los beneficios aportados por los microorganismos del suelo son alterados o bien se pierden completamente, ocasionando diversos problemas ambientales. Esta es hoy una problemática a nivel global.

Además, realizar estudios de las comunidades de microorganismos que se encuentran en el suelo, puede ser clave para establecer modelos innovadores de plantaciones, más amigables con el medio ambiente, como las plantaciones mixtas. Encontrar hongos micorrícicos que promuevan el desarrollo de especies nativas (como el raulí, ñire, lenga, coihue y el roble pellín) o su adaptación al medio cuando las condiciones son desfavorables, podría permitir que estas especies se desarrollen a la par de los pinos, sin que se vean severamente perjudicadas por la interacción con ellos. Estos hongos podrían reproducirse en laboratorio y ser comercializados como bioinoculantes (ver Glosario) para utilizar en plantaciones de este tipo y promover el crecimiento de las plantas, como ya ocurre para el caso de plantaciones de pinos. Si bien es cierto que la formulación de bioinoculantes es un proceso complejo, en los últimos años la producción y utilización de diferentes bioinoculantes ha aumentado, y aparenta tener un gran potencial. De hecho, en el país vecino de Chile se han formulado inoculantes micorrícicos con gran éxito y aceptación en el mercado (www.myconativa.cl). La utilización de bioinoculantes resulta día a día más atractiva, ya que es una práctica sustentable y ecológicamente amigable, a diferencia de la aplicación de fertilizantes inorgánicos y pesticidas. Es de destacar también que para la formulación de estos productos sería importante utilizar especies de hongos no invasoras, o que no promuevan la invasión de la especie forestal de interés en cultivar. Otra ventaja de llevar a cabo este tipo de estudios es encontrar y aplicar en producción forestal especies de hongos micorrícicos que producen cuerpos fructíferos comestibles (la parte del hongo que normalmente se ve emerger del suelo), sumando a la plantación la posibilidad de producir recursos no maderables y aportándole mayor valor agregado.

En los últimos años se ha logrado avanzar mucho sobre estas temáticas, pero aún hay muchas cosas por estudiar y descubrir, y considerando la implicancia de esta información, es necesario seguir avanzando en esta dirección. También es fundamental compartir esta información fuera del ámbito académico ya que, para cuidar nuestros ecosistemas y hallar formas más sustentables de producción y manejo, se requiere que la sociedad en general conozca qué ocurre en ellos y las implicancias de diferentes actividades económicas sobre los mismos.

Agradecimientos

Agradecemos al INTA EEA Bariloche por su acompañamiento en la realización de este ensayo, y a Mario Pastorino en particular, quien siempre nos asesoró durante el transcurso del mismo. También se agradece a Parques Nacionales por brindarnos la posibilidad de trabajar en áreas protegidas; a la Universidad del Comahue, IPATEC, y la Universidad Nacional de Río Negro, IRNAD, por brindar el espacio para desarrollar nuestras tareas; y a CONICET por financiar la actividad de investigadores y becarios.

Glosario

Efecto invernadero: proceso en el cual determinados gases que se encuentran en la atmósfera retienen parte de la energía que la Tierra emite luego de ser calentada por el Sol, produciendo un aumento de la temperatura del planeta.

Fragmentación del hábitat: proceso por el cual un ambiente es dividido en porciones más pequeñas que quedan incomunicadas entre ellas. Esto puede llevar a la pérdida de biodiversidad, al modificar el ambiente e interrumpir la interacción entre individuos de una misma población.

Sotobosque: vegetación que crece en el suelo de los bosques, por debajo de los árboles, y que está conformada principalmente por hierbas y arbustos.

Dosel arbóreo: zona del bosque que comprende las copas y regiones superiores de los árboles. Si este es muy denso o cerrado impide que llegue luz al suelo.

Biodiversidad: diversidad de seres vivos que habitan en un ambiente.

Invasión biológica: proceso por el cual una especie no-nativa se establece exitosamente en un nuevo ambiente, en ocasiones reemplazando a las especies nativas.

Servicio ecosistémico: servicio que aporta un ecosistema al bienestar humano. Algunos ejemplos son: la polinización (los polinizadores permiten que los cultivos sean productivos), la provisión de espacios

recreativos (como el turismo, parte clave de la economía de algunas ciudades), fuentes de energía (como represas o combustibles fósiles), y servicios de regulación (como del clima o descomposición de residuos).

Sucesión ecológica: proceso de cambio en la composición de especies en las comunidades ecológicas que habitan en un determinado ambiente según varíen las condiciones del entorno. Estos cambios son observables a lo largo del tiempo y del espacio.

Inóculo fúngico: material fúngico que se utiliza para introducir especies de hongos en un sitio. Por ejemplo, en el suelo de un determinado lugar existen diversas especies de hongos micorrízicos, por lo que puede utilizarse ese suelo como inóculo para que las plantas desarrollen micorizas.

Bioinoculante (o inoculante biológico): producto formulado en base a microorganismos (hongos y/o bacterias) que, aplicados a un cultivo determinado, promueven el crecimiento vegetal y aumentan su rendimiento. La aplicación de este tipo de productos se ha incrementado mucho durante las últimas décadas dado que pueden reemplazar a los fertilizantes químicos, constituyendo una forma de cultivo más amigable con el ambiente.

Para ampliar este tema

- Chávez, P. G., Gallén, I. S., Sánchez, J. Á. y Zapata, J. R. (2004). Hongos y plantas, beneficios a diferentes escalas en micorizas arbusculares. *Ciencias*, 73: 38-45.
- Fernández, N. V., Marchelli, P. y Fontenla, S. B. (2018). Las micorizas y el raulí. Una sociedad con mucho para brindar. *Desde la Patagonia, Difundiendo Saberes*, 15(25): 50-59.
- Raffaele, E., Núñez M. A. y Relva, M. A. (2015). Plantaciones de coníferas exóticas en Patagonia: los riesgos de plantar sin un manejo adecuado. *Ecología Austral*, 25: 89-92.
- Relva, M. A., Damascos, M. A., Macchi, P., Mathiasen, P., Premoli, A. C., Quiroga, M. P., Radovani, N. I., Raffaele, E., Sackmann, P., Speziale, K., Svriz, M. y Vigliano, P. H. (2014). Impactos humanos en la Patagonia. En: E. Raffaele, M. de Torres Curth, C. L. Morales y T. Kitzberger (Eds.), *Ecología e Historia Natural de la Patagonia Andina* (pp. 157-182). Buenos Aires, Argentina: Fundación de Historia Natural Félix de Azara.
- Simard S. (2016, junio). *How trees talk to each other* (subtítulos en español disponibles). En: https://www.ted.com/talks/suzanne_simard_how_trees_talk_to_each_other?language=es#t-9292

Resumen

Las plantaciones forestales proveen múltiples beneficios, desde ecológicos hasta económicos, y hoy en día satisfacen la creciente demanda de la sociedad mediante la industria forestal (ej. papel, madera). Sin embargo, en muchos casos el establecimiento de plantaciones puede tener consecuencias ambientales negativas, tales como el impacto sobre las interacciones entre plantas y un grupo de hongos del suelo, conocidas como micorizas. Estas interacciones cumplen un importante rol medioambiental. Por ello resulta de gran relevancia estudiar el efecto de las plantaciones sobre comunidades de hongos micorrízicos, y considerar esta información en planes de conservación, manejo y producción sustentable.