

REVISIONES

**Micorrizas y salicáceas:
qué sabemos del período 2010-2020 y hacia dónde vamos**

Mycorrhizae and Salicaceae:
What we have learned from 2010-2020 and what comes next

**Damián Aperlo^a, Hernán Schrohn^a,
Natalia Fernández^b, María Cecilia Mestre^{b*}**

^a Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales,
La Plata 1900, Provincia de Buenos Aires, Argentina.

* Autor de correspondencia: ^bUniversidad Nacional del Comahue-CONICET, IPATEC,
Laboratorio de Microbiología Aplicada y Biotecnología, Bariloche 8400, Río Negro, Argentina,
tel.: 54 02944428505, mestremc@comahue-conicet.gob.ar

SUMMARY

Populus and *Salix* species (Salicaceae) are widely distributed, either naturally or on plantations, in different regions of the world. Salicaceae species usually establish beneficial mutualistic associations with arbuscular mycorrhizal and ectomycorrhizal fungi, which can be used as biotechnological tools. In this work, a review of all studies published between 2010 and 2020 that addressed the occurrence of mycorrhizae in *Populus* and *Salix* was carried out using the Mendeley platform, in order to highlight its importance in the last decade and on a global scale. A total of 100 publications were reviewed, 77 on *Populus*, 17 on *Salix*, and six dealing with species of both genera. The finding that a higher number of studies were focused on *Populus* could be related with a higher interest in these species, since they have higher commercial value as compared to *Salix* species. The most studied hybrid species were *Populus tremuloides*, *P. deltoides*, *Salix dasyclados* and *S. caprea*. Ninety-seven percent of studies were carried out in the northern hemisphere, possibly because it corresponds to the natural distribution area of these species. The number of studies concerning the independent analyses of arbuscular mycorrhizae (42) and ectomycorrhizae (45) was similar, and only a few addressed both mycorrhizal types simultaneously. Based on our results, two main research gaps were identified: 1) the study of mycorrhizae in Salicaceae species in the southern hemisphere, and 2) the simultaneous study of arbuscular mycorrhizae and ectomycorrhizae in Salicaceae worldwide.

Keywords: arbuscular mycorrhizas, ectomycorrhizas, *Populus*, *Salix*, dual hosts

RESUMEN

Las especies pertenecientes a los géneros *Populus* y *Salix* (Salicaceae) se encuentran distribuidas, naturalmente o como plantaciones, en amplias regiones del mundo. Las especies pertenecientes a la familia Salicaceae pueden establecer asociaciones mutualistas beneficiosas con hongos formadores de micorrizas arbusculares y ectomicorrizas, que pueden emplearse como importantes herramientas biotecnológicas. En este trabajo se realizó una revisión de los estudios disponibles en la plataforma Mendeley, entre 2010 y 2020, que abordaron el estudio de micorrizas en la familia Salicaceae a fin de relevar su importancia en la última década y a escala geográfica global. Esta búsqueda resultó en 100 publicaciones, 77 sobre *Populus*, 17 sobre *Salix* y solo seis sobre ambos géneros. El mayor número de trabajos correspondientes a *Populus* podría deberse al mayor interés y valor comercial de estas especies respecto de las de *Salix*. Las especie-híbrido más estudiadas fueron *P. tremuloides*, *P. deltoides*, *S. dasyclados* y *S. caprea*. El 97 % de los trabajos correspondieron al hemisferio norte, posiblemente debido a la distribución natural de esta familia y a una historia reciente de la silvicultura de salicáceas en el hemisferio sur. El número de trabajos dedicados al estudio independiente de micorrizas arbusculares (42) y ectomicorrizas (45) fue similar, y muy pocos (13) abordaron el estudio de ambos tipos micorrícicos conjuntamente. Se identificaron dos áreas principales de vacancia en investigación: 1) el estudio de micorrizas en especies de Salicaceae en el hemisferio sur, y 2) el estudio conjunto de micorrizas arbusculares y ectomicorrizas en Salicaceae a nivel mundial.

Palabras claves: micorrizas arbusculares, ectomicorrizas, *Populus*, *Salix*, hospedadores duales

INTRODUCCIÓN

Las salicáceas son una familia de angiospermas de amplia distribución mundial, que incluye a los álamos (*Populus* sp.) y los sauces (*Salix* sp.). Se las encuentra creciendo en forma natural en todos los continentes, con excepción de Oceanía. Las salicáceas tienen una gran adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales y habitan desde regiones áridas hasta valles y riberas o zonas inundables. Son árboles de rápido crecimiento, por lo que constituyen importantes recursos en agricultura y silvicultura.

Además, son ideales para apoyar los medios de vida rurales, mejorar la seguridad alimentaria y aliviar la pobreza, ya que generan ingresos extras a partir de su madera comerciable, protegen y mejoran los suelos, y contribuyen al desarrollo sostenible (Ball *et al.* 2005).

Los álamos y sauces se han extendido por todo el mundo en plantaciones forestales con diversos fines, desde protección y recuperación de suelos, hasta producción de celulosa y madera. Los productos obtenidos a partir de la materia prima de salicáceas son variados y de gran utilidad: pulpa, papel, productos de madera sintética, madera contrachapada, chapas y otros tableros, aserrados de madera, cajas de embalaje, tarimas y muebles.

Actualmente, también se utiliza como materia prima para la obtención de bioenergía y valiosos productos forestales no madereros como forrajes para ganado, extractos medicinales y productos alimenticios (Ball *et al.* 2005). Todas estas características muestran el enorme valor de los bosques, plantaciones y arbolados urbanos de salicáceas.

En el continente americano, los álamos están presentes de forma natural principalmente en el hemisferio norte mientras que los sauces se encuentran también en el hemisferio sur, principalmente en los márgenes de ríos y torrentes (Ball *et al.* 2005, Amico *et al.* 2017). En Sudamérica, *S. humboldtiana* (Willd.) es la especie nativa que alcanza las latitudes más australes, con una distribución natural que se extiende desde México hasta el sur de Argentina y Chile (Lugo *et al.* 2012, Amico *et al.* 2017).

En particular las poblaciones más australes de *S. humboldtiana* están gravemente amenazadas debido a diversos factores como la modificación de su hábitat, la invasión por sauces exóticos y la explotación excesiva de su madera de alta calidad (Datri *et al.* 2016, Amico *et al.* 2017). En países como Argentina, la presencia de sauces y álamos euroasiáticos siguió los patrones de importación de los colonos europeos (Thomas *et al.* 2015). Desde finales del siglo XIX las salicáceas se plantaron para proteger las orillas de los ríos, como cortavientos y fuente de madera (Peri y Bloomberg 2002). En la actualidad, existe un gran número de clones que son extensamente cultivados en este país (Borodowski y Suárez 2004, Garau *et al.* 2008).

En vistas de la importancia a nivel mundial y regional de las plantas de la familia Salicaceae, se han llevado a cabo numerosos estudios tanto en cuanto a su conservación en ambientes nativos, como para la optimización de su

cultivo en ambientes productivos (Quoreshi y Khasa 2008, Chen *et al.* 2012). Entre las herramientas utilizadas para mejorar la producción vegetal se puede citar la aplicación de microorganismos benéficos o la estimulación de la microbiota existente en el ecosistema para promover el crecimiento, reducir el impacto de plagas, expandir la producción a áreas con condiciones desfavorables o diversificar los usos de estas especies forestales (Mestre *et al.* 2017a). En este contexto, las micorrizas constituyen una herramienta biotecnológica con importantes aplicaciones en la industria forestal (Danielsen *et al.* 2013, Liu *et al.* 2014).

Las micorrizas son asociaciones simbióticas mutualistas que se establecen entre diferentes hongos del suelo y las raíces de las plantas. En esta simbiosis, la planta aporta fotosintatos y lípidos (Lanfranco *et al.* 2018) al hongo, mientras que este le otorga al vegetal mayor capacidad de absorción de agua y nutrientes, protección contra patógenos, aumento de la resistencia a factores de estrés abiótico y biótico, y mejora su capacidad de competir con otras plantas (Smith y Read 2008, Brundrett y Tedersoo 2018).

Los dos tipos de micorrizas más abundantes y ampliamente distribuidas son las ectomicorrizas y las micorrizas arbusculares. Se estima que cerca del 60 % de los árboles poseen ectomicorrizas, y aunque esto corresponde aproximadamente al 2 % de las especies de plantas vasculares, la distribución espacial de estas especies en masas forestales alrededor del mundo es enorme (Brundrett y Tedersoo 2018). Las ectomicorrizas se encuentran formadas, principalmente, por hongos de los Phyla Basidiomycota y Ascomycota, y se caracterizan por formar un manto fúngico entorno a los ápices radicales y la Red de Hartig en su interior, lo que modifica la morfología radicular (*i.e.* ramificación, color, textura) dando origen a una estructura generalmente denominada “ectomorfofito” (Smith y Read 2008, Brundrett y Tedersoo 2018).

Por otro lado, las micorrizas arbusculares se encuentran en la mayoría de las plantas vasculares (72 %) y son el tipo de micorriza más abundante en los ecosistemas. Se asocian con angiospermas, gimnospermas, pteridófitas, e incluso con algunas hepáticas y briofitas (Smith y Read 2008, Brundrett y Tedersoo 2018). Las micorrizas arbusculares se encuentran formadas por hongos del Phylum Glomeromycota, que son simbioses obligados. A diferencia de las anteriores, no generan cambios morfológicos visibles en la raíz. Este tipo de asociación micorrícica se caracteriza por ingresar dentro de la corteza radical y desarrollar hifas intra e intercelulares que forman las estructuras diagnósticas, denominadas “arbusculos”, hifas muy ramificadas dentro de las células vegetales involucradas en el intercambio de nutrientes con la planta (Smith y Read 2008, Brundrett y Tedersoo 2018).

Si bien la mayor parte de las plantas se asocia solo a uno de estos tipos micorrícicos, se han descrito especies capaces de desarrollar tanto micorrizas arbusculares como ectomicorrizas, las cuales son denominadas hospedadoras duales o mixtas (Wang y Qiu 2006, Brundrett y Tedersoo 2018),

encontrándose entre ellas diferentes especies de la familia Salicaceae (Quoreshi y Khasa 2008, Teste *et al.* 2019). En el caso del género *Populus*, esta capacidad podría explicar, al menos en parte, su plasticidad y amplia distribución en ambientes tan diversos (Quoreshi y Khasa 2008). La ocurrencia de colonizaciones duales o mixtas se encuentra poco descrita a nivel mundial, y parece depender del ecosistema en el que se desarrollan las plantas, y de varios factores que influyen o regulan la preponderancia de un tipo micorrícico sobre el otro (*i.e.* edad del hospedador, estrés biótico o abiótico, cantidad de materia orgánica en el suelo) (Teste *et al.* 2019).

Dada la importancia de las micorrizas en el establecimiento y desarrollo de especies forestales y su potencial aplicación en actividades productivas y de restauración, el objetivo de este trabajo fue relevar el tipo micorrícico principalmente estudiado en plantas de la familia Salicaceae y la información existente sobre esta temática a nivel local y regional a partir de una revisión de los artículos publicados en el período 2010-2020 a nivel global.

MÉTODOS

Se realizó una revisión bibliográfica sistemática de artículos que investigaron la relación entre los dos principales tipos de micorrizas (micorrizas arbusculares y ectomicorrizas) y especies de los géneros *Populus* y *Salix*. La búsqueda se realizó entre diciembre de 2020 y enero de 2021, utilizando la plataforma Mendeley (Mendeley Ltd 2021), de acceso libre y gratuito. La revisión se focalizó en los trabajos más recientes, donde se incluyen las últimas actualizaciones en esta temática, por lo que se acotó la búsqueda a los artículos publicados durante el período 2010-2020. Se realizaron búsquedas independientes utilizando las palabras claves: “*Populus mycorrhiza*”, “*Populus ectomycorrhiza*”, “*Populus arbuscular*”, “*Salix mycorrhiza*”, “*Salix ectomycorrhiza*” y “*Salix arbuscular*”. La búsqueda se realizó para publicaciones en fuentes con referato y en inglés.

La información de los trabajos fue sistematizada y detallada considerando los siguientes factores: 1) *Año* de publicación (2010 a 2020); 2) *Continente* donde se realizó el trabajo según cinco categorías: Europa, Asia, Oceanía, Norteamérica y Sudamérica, definido en relación al lugar físico del estudio o al lugar de trabajo de los autores en caso que la información anterior no fuera especificada; 3) *Tipo de micorriza* objetivo del estudio según tres categorías: micorrizas arbusculares, ectomicorrizas o micorrizas arbusculares+ectomicorrizas según se considera únicamente un tipo micorrícico o ambos; 4) *Género* según tres categorías: *Populus*, *Salix* o *Populus + Salix* según se considerara un género o ambos; y 5) *Especie-híbrido* de la planta estudiada sin distinguir entre clones o cultivares. A partir de esta información se realizó una corrección manual de los trabajos hallados, en la que se procuró eliminar los trabajos repetidos y sin referato. Luego de esta corrección manual, la base de datos incluyó un total de 100 artículos para realizar el estudio.

A base de la información recopilada a partir de los artículos seleccionados, se buscó responder las siguientes preguntas: 1) ¿qué género y/o especie-híbrido fueron las más estudiadas en los últimos diez años respecto de su relación con las micorrizas?; 2) ¿qué tipo de micorriza fue el más estudiado en salicáceas en los últimos diez años?; 3) ¿qué diferencias se registran entre continentes?

RESULTADOS

En este trabajo se analizaron 100 publicaciones (cuadro 1 anexo), que describieron la ocurrencia de micorrizas en especies de la familia Salicaceae y consideraron diferentes aspectos de su interacción: 77 para *Populus*, 17 para *Salix* y seis que combinaban especie-híbridos de ambos géneros. El número de publicaciones en el período 2010-2020 no mostró variaciones interanuales apreciables con un promedio de nueve publicaciones por año (figura 1A).

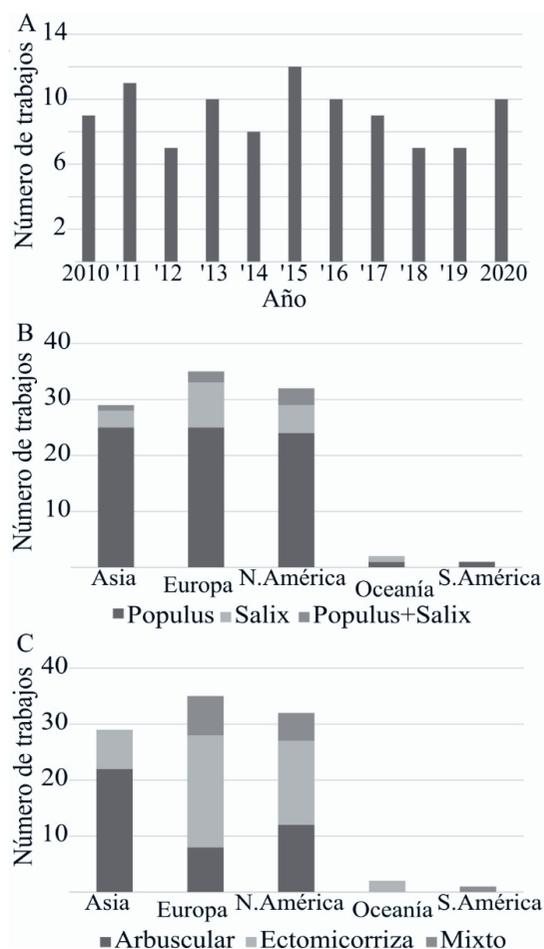


Figura 1. Número de trabajos publicados entre 2010 y 2020 por año (A); por género pertenecientes a la familia Salicaceae en distintos continentes (B) y por tipo de micorriza en distintos continentes (C).

Number of articles published between 2010 and 2020 by year (A); by genus of Salicaceae family on different continents (B); and by type of mycorrhiza on different continents (C).

Las publicaciones relevadas incluyeron 97 trabajos del hemisferio norte, y se distribuyeron en forma similar entre Europa (35), Norteamérica (32) y Asia (29) (figura 1B). Solo tres trabajos fueron llevados a cabo en el hemisferio sur, repartidos entre Oceanía (dos, en Nueva Zelanda) y Sudamérica (uno, en Argentina). No se encontraron trabajos realizados en África ni en Centroamérica. En el hemisferio norte se observó que el mayor número de trabajos estudiaron únicamente especie-híbridos comprendidas en el género *Populus* (> 70 % para cada uno de los tres continentes). Con respecto a aquellos trabajos dedicados solo a *Salix*, se determinó que la proporción era mayor en Europa (22 %) que en

Asia (10 %), presentando Norteamérica un valor intermedio (15 %). El número de trabajos que abordaron ambos géneros forestales fue bajo en todos estos continentes (figura 1B). Del total de trabajos relevados, solo siete estudiaron en conjunto a los géneros *Populus* y *Salix*: tres provenientes de Norteamérica, dos de Europa y uno de Asia. Estos trabajos incluyeron cinco especie-híbridos del género *Salix*, siendo la más estudiada *S. viminalis* (trestrabajos), y cinco especie-híbridos del género *Populus*, siendo la más estudiada *P. nigra x maximowiczii* (tres trabajos) (figuras 2 – 5).

En cuanto al tipo de micorriza considerado en estos trabajos, se observó que la mayoría se dedicaron al estudio

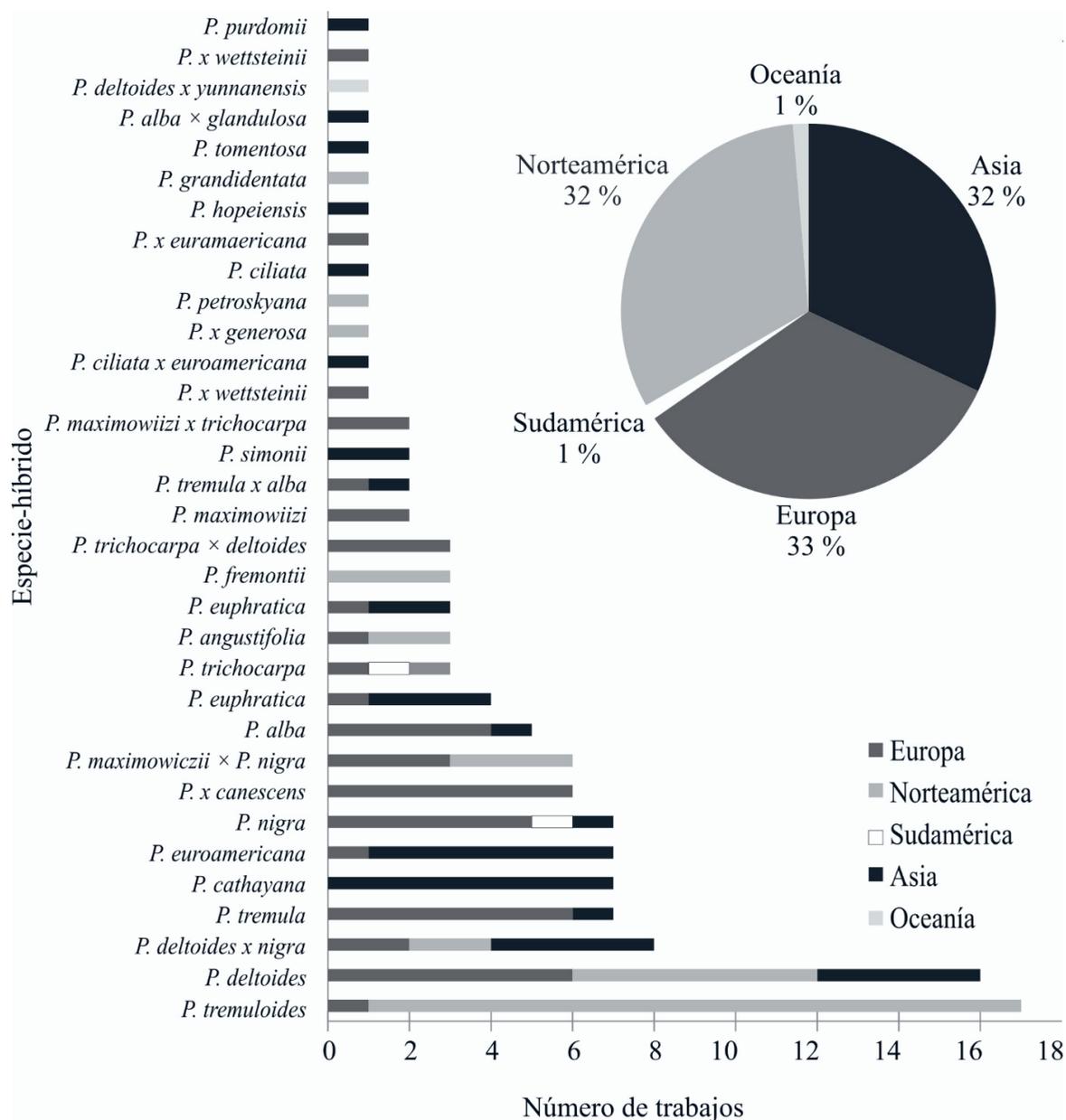


Figura 2. Número de trabajos de *Populus* sp. publicados entre 2010 y 2020 según el continente donde fueron realizados.
 Number of articles corresponding to *Populus* sp. published between 2010 and 2020 by continent.

independiente de micorrizas arbusculares (42 %) o ectomicorrizas (45 %), mientras que solo 13 % abordaron el análisis conjunto de ambos tipos micorrícicos (figura 1C). Además, se determinó que en Asia la mayoría de los trabajos se focalizaron en el estudio de micorrizas arbusculares (75 %) mientras que en Europa lo hicieron en ectomicorrizas (57 % ectomicorrizas y 23 % micorrizas arbusculares), observándose una tendencia similar en Norteamérica (47 % ectomicorrizas y 38 % micorrizas arbusculares). La proporción de trabajos dedicados al estudio conjunto de ambos tipos micorrícicos fue reducida y similar tanto para Europa como para Norteamérica (20 y 16 %, respectivamente). En Asia no se hallaron trabajos dedicados al estudio conjunto de micorrizas arbusculares y ectomicorrizas. Para el hemisferio sur, los 2 trabajos de Oceanía corresponden uno a *Populus* y otro a *Salix*, ambos investigaron únicamente micorrizas arbusculares, mientras que el único trabajo de Sudamérica corresponde a *Populus* y se estudiaron ambos tipos micorrícicos. Los trabajos que estudiaron en conjunto a los géneros *Populus* y *Salix* (siete) se enfocaron en los tipos micorrícicos individuales: cinco estudiaron micorrizas arbusculares y dos ectomicorrizas.

En los trabajos relevados para *Populus* se estudiaron en total 33 especie-híbridos, 13 de ellas en más de un continente. En general, se observó que en Europa y Asia se estudió mayor variedad de especie-híbridos (20 y 17, respectivamente) en comparación con Norteamérica (diez). *Populus tremuloides* y *P. deltoides* fueron las especie-híbrido mencionadas en mayor número de trabajos (17 y 16, respectivamente). Mientras que casi la totalidad de los trabajos correspondientes a *P. tremuloides* proceden de Norteamérica (16 de los 17), para *P. deltoides* se encontró un número similar de trabajos provenientes de Europa (seis), Norteamérica (seis) y Asia (cuatro) (figura 2). En el continente europeo las especie-híbridos más estudiadas fueron *P. canescens* (seis trabajos), *P. nigra* (cinco trabajos) y *P. alba* (cuatro trabajos), mientras que en Asia los más estudiados fueron *P. cathayana* (siete trabajos), *P. euroamericana* seis trabajos) y *P. deltoides x nigra* (cinco trabajos).

En cuanto al tipo de micorriza estudiada en *Populus*, el 46 % de los trabajos corresponden a ectomicorrizas, 45 % a micorrizas arbusculares y un menor porcentaje a estudios conjuntos de micorrizas arbusculares y ectomicorrizas (9%). En el 56 % de las especie-híbridos se estudió un solo tipo micorrícico. Para *P. tremuloides* y *P. deltoides*, las dos especie-híbridos más estudiadas, se registraron trabajos para ectomicorrizas (11 y ocho trabajos, respectivamente), micorrizas arbusculares (cinco y siete trabajos, respectivamente) y otros que abordaban ambos tipos micorrícicos (uno en cada caso) (figura 2). Los trabajos que estudiaron conjuntamente la ocurrencia de micorrizas arbusculares y ectomicorrizas abarcaron 14 especie-híbridos y, en general, corresponden a un solo trabajo por especie-híbrido, con excepción de *P. fremontii* y *P. nigra* mencionados en dos trabajos cada uno (figura 3).

Los trabajos dedicados al estudio de micorrizas en el género *Salix* incluyeron 25 especie-híbridos, y el 60 % de ellas se mencionaron en solo un trabajo. *Salix dasyclados* y *S. caprea* fueron las especie-híbridos más estudiadas (cinco y cuatro trabajos respectivamente) (figura 3). Para la primera especie los trabajos se realizaron en Europa y Norteamérica, mientras que para la segunda todos los trabajos correspondieron a Europa (figura 4). Los resultados por continente mostraron que en el continente norteamericano las especie-híbridos más estudiadas fueron *S. miyabeana* (tres) y *S. dasyclados* (dos), y para el continente europeo fueron *S. caprea* (cuatro) y *S. dasyclados* (tres). En Asia no se observaron especie-híbridos mencionadas en más de un trabajo.

En cuanto al tipo de micorriza estudiada, en *Salix* se observó que el mayor porcentaje de los trabajos estudiaron EM (47 %), seguido de los trabajos que estudian ambos tipos de micorrizas (35 %) y un menor porcentaje de estudios enfocados solo en micorrizas arbusculares (18 %). En el 79 % de las especie-híbridos se estudió un solo tipo micorrícico (en ocho, solo micorrizas arbusculares y en 15 solo ectomicorrizas), mientras que en las restantes (seis) se estudiaron ambos tipos micorrícicos (figura 5).

DISCUSIÓN

Para el período 2010-2020, las publicaciones con referato y en inglés sobre *Populus* y *Salix* ascienden a más de 10.000 y 4.000 respectivamente; mientras que solo en 83 y 23 de las mismas (< 1 %) se contempló su asociación con micorrizas. A pesar del relativamente reducido número de trabajos que abordan esta temática, se observa que existe interés mundial en estudiar la ocurrencia e importancia de la simbiosis micorrícica en especies de la familia Salicaceae, ya que en todos los años del período 2010-2020 se publicaron al menos siete investigaciones sobre esta temática en diferentes regiones geográficas. De hecho, del total de publicaciones registradas sobre el estudio de micorrizas en *Populus* (195 siendo la primera del año 1927) y *Salix* (85 siendo la primera del año 1977), gran parte de las mismas fueron realizadas solo en el período 2010-2020 (43 % y 27 %, respectivamente), demostrando así que el interés de estudiar la relación entre estas especies vegetales y las micorrizas se ha incrementado con el tiempo.

Los resultados muestran que el número de trabajos enfocados en el género *Populus* es mucho mayor (casi cuatro veces) que el de aquellos dedicados al género *Salix*. Esto es llamativo cuando se toma en cuenta la diversidad de especies para cada uno de estos géneros: 30 especies descritas para *Populus* y aproximadamente 450 especies para *Salix* (Barrios Asenjo *et al.* 2009, Lugo *et al.* 2012). Además, el género *Salix* es el que tiene una distribución natural más amplia, llegando incluso a las latitudes más australes del hemisferio sur (Wu *et al.* 2015). De esta forma, ni la diversidad de especies ni su distribución parece explicar la diferencia en el número de trabajos dedicados a

cada uno de estos géneros. Una explicación posible para la tendencia observada es el mayor interés económico y comercial en *Populus*, debido su mayor aptitud industrial con respecto a las especies de *Salix*, tanto para aserrío como para debobinado (procedimiento industrial por el cual se obtiene una lámina de madera casi continua, que se utiliza para producir distintos productos de madera, como tabloncillos de madera, compensados, puertas de madera, entre otros; Amico 2002).

En cuanto a la distribución global de los trabajos recopilados, se observa una marcada diferencia entre el hemisferio norte y el hemisferio sur. En este caso, puede atribuirse la diferencia a la distribución natural de *Populus* y a la mayor diversidad de especies de *Salix* en el hemisferio

norte con respecto al hemisferio sur (Wu *et al.* 2015). En cuanto a las especie-híbridos más estudiados en el período 2010-2020, se destaca la dominancia de trabajos dedicados a *P. tremuloides*. Esta es la especie arbórea más ampliamente distribuida y una de las más importantes a nivel comercial en Norteamérica (Bennett *et al.* 2020). En este caso se observa una relación clara entre la distribución natural, la importancia comercial y el origen de los trabajos que se dedican al estudio de *P. tremuloides*.

El número de trabajos totales que estudian micorrizas arbusculares o ectomicorrizas de manera independiente es similar en el período analizado. Sin embargo, se observan variaciones respecto de los continentes, con dominancia de trabajos dedicados a micorrizas arbusculares en Asia y

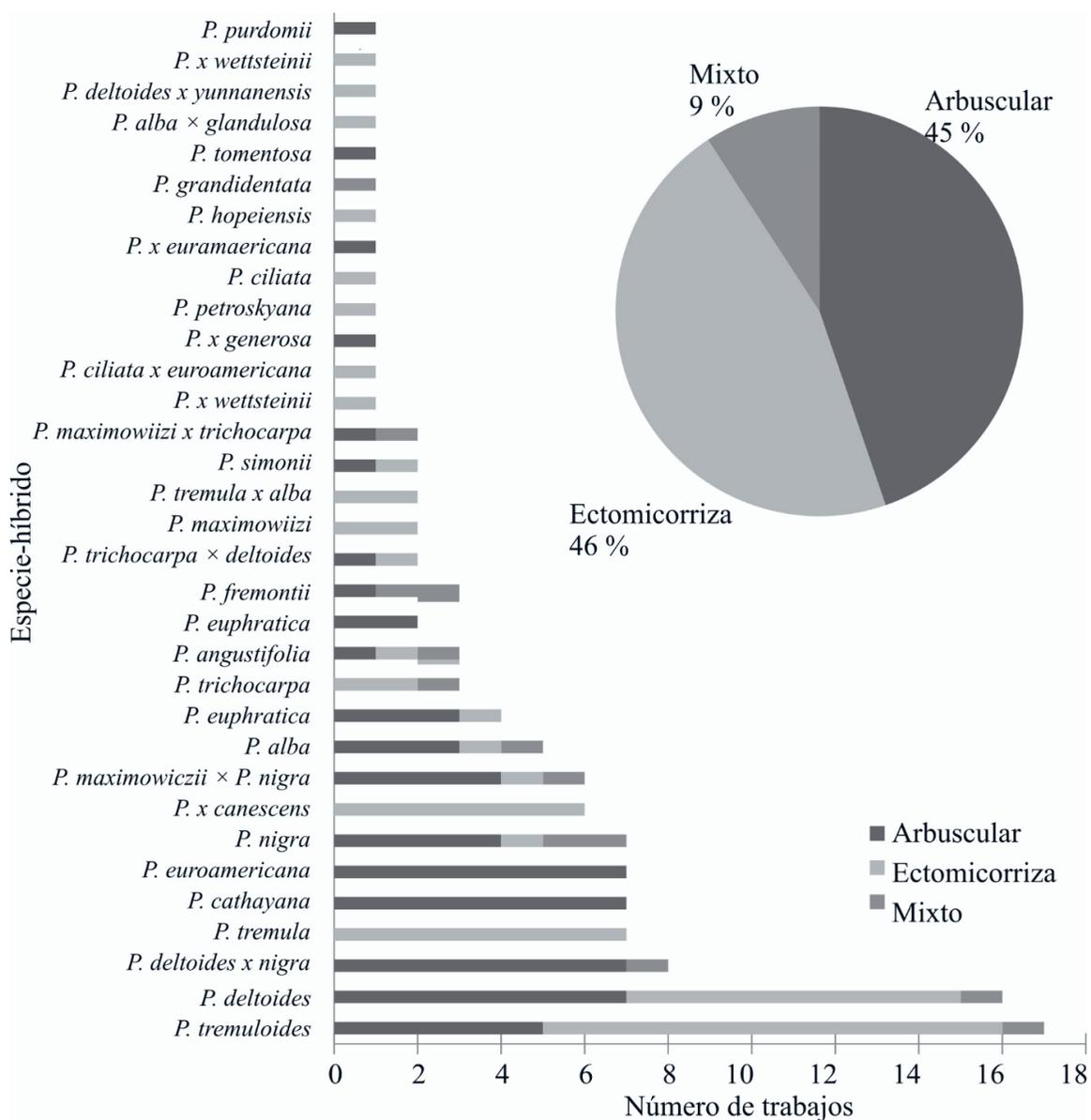


Figura 3. Número de trabajos de *Populus* sp. publicados entre 2010 y 2020 según el tipo de micorriza estudiado.
 Number of articles corresponding to *Populus* sp. published between 2010 and 2020 by type of mycorrhiza studied.

a ectomicorrizas en Europa y Norteamérica. Este patrón de distribución de trabajos respecto del tipo micorrícico estudiado coincide con lo reportado por otros autores. Soudzilovskaia *et al.* (2017) muestran que el estudio de micorrizas en Europa y Norteamérica incluye tanto micorrizas arbusculares como ectomicorrizas, mientras que en el continente asiático hay un sesgo hacia el estudio de las micorrizas arbusculares. Además, la dominancia de trabajos sobre micorrizas arbusculares en Asia sigue el patrón de estudios realizados en micorrizas en China (país al que corresponden la mayoría de los trabajos provenientes de Asia en este relevamiento) durante las últimas décadas (Guo 2018). A pesar de que numerosas especies de la familia Salicaceae se describen como hospedadoras duales de micorrizas, se halló un reducido número de trabajos dedicados a esta línea de investigación, correspondiendo

la mayor parte de los mismos a Europa y Norteamérica, lo cual también coincide con el patrón observado por Soudzilovskaia *et al.* (2017) mencionado anteriormente. Los hospedadores duales presentan la oportunidad de estudiar la interacción entre la planta y diferentes hongos simbiotes, permitiendo distinguir las funciones y beneficios netos de las micorrizas arbusculares y ectomicorrizas en sus hospedadores, así como los variados factores que afectan la ocurrencia o que regulan la preponderancia de cada tipo micorrícico (Teste *et al.* 2019). Las observaciones realizadas en este estudio muestran la necesidad de incentivar a la comunidad científica a profundizar en el estudio conjunto de micorrizas arbusculares y ectomicorrizas en especies modelo como las salicáceas.

Un muy reducido número de los estudios incluidos en el presente trabajo corresponden al hemisferio sur, aunque

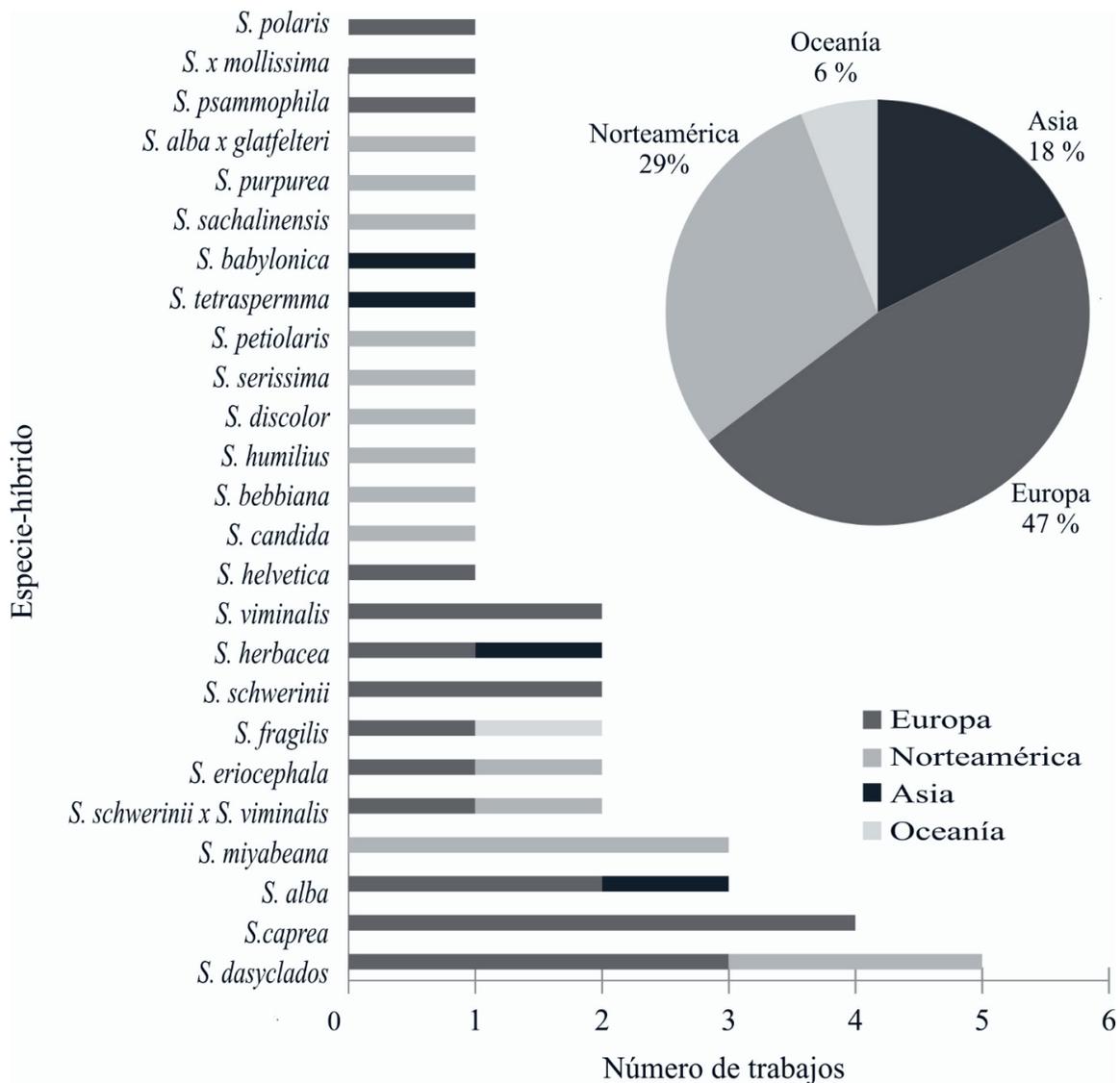


Figura 4. Número de trabajos de *Salix* sp. publicados entre 2010 y 2020 según el continente donde fueron realizados.

Number of articles corresponding to *Salix* sp. published between 2010 and 2020 by continent.

en este hemisferio se encuentran países con tradición de cultivo de salicáceas, como Chile y Argentina. El único trabajo en Sudamérica encontrado con los parámetros de búsqueda utilizados corresponde a uno realizado en Argentina, en el que se evalúa la colonización micorrícica como parámetro a tener en cuenta en la mejora del cultivo de dos especie-híbrido de *Populus* (Mestre *et al.* 2017b). Los autores conocen la existencia de otro trabajo realizado en la Argentina sobre la presencia de micorrizas arbusculares y ectomicorrizas en *Salix* (Lugo *et al.* 2012); sin embargo, no forma parte del grupo de trabajos resultante de la búsqueda realizada, posiblemente por ser un capítulo de libro sin referato, habiendo sido este uno de los criterios de búsqueda. El número reducido de trabajos en Sudamérica dedicados al estudio de micorrizas en salicáceas puede estar relacionado con una visión más tradicional de la mejora

de la producción, apoyada principalmente en el desarrollo de clones aptos para las diferentes regiones de cultivo. Una estrategia innovadora para impulsar la silvicultura regional puede ser la aplicación de microorganismos, entre los que se encuentran los hongos micorrícicos, para favorecer el establecimiento y desarrollo de los diferentes clones.

CONCLUSIONES

El presente trabajo explora la importancia del estudio de micorrizas en plantas de la familia Salicaceae y reconoce una línea temática que produce resultados todos los años a escala global, a excepción de Sudamérica, África y Centroamérica, donde existe escasa o nula cantidad de trabajos en la temática. De esta forma, podemos identificar un área de vacancia en cuanto a las investigaciones en micorrizas en

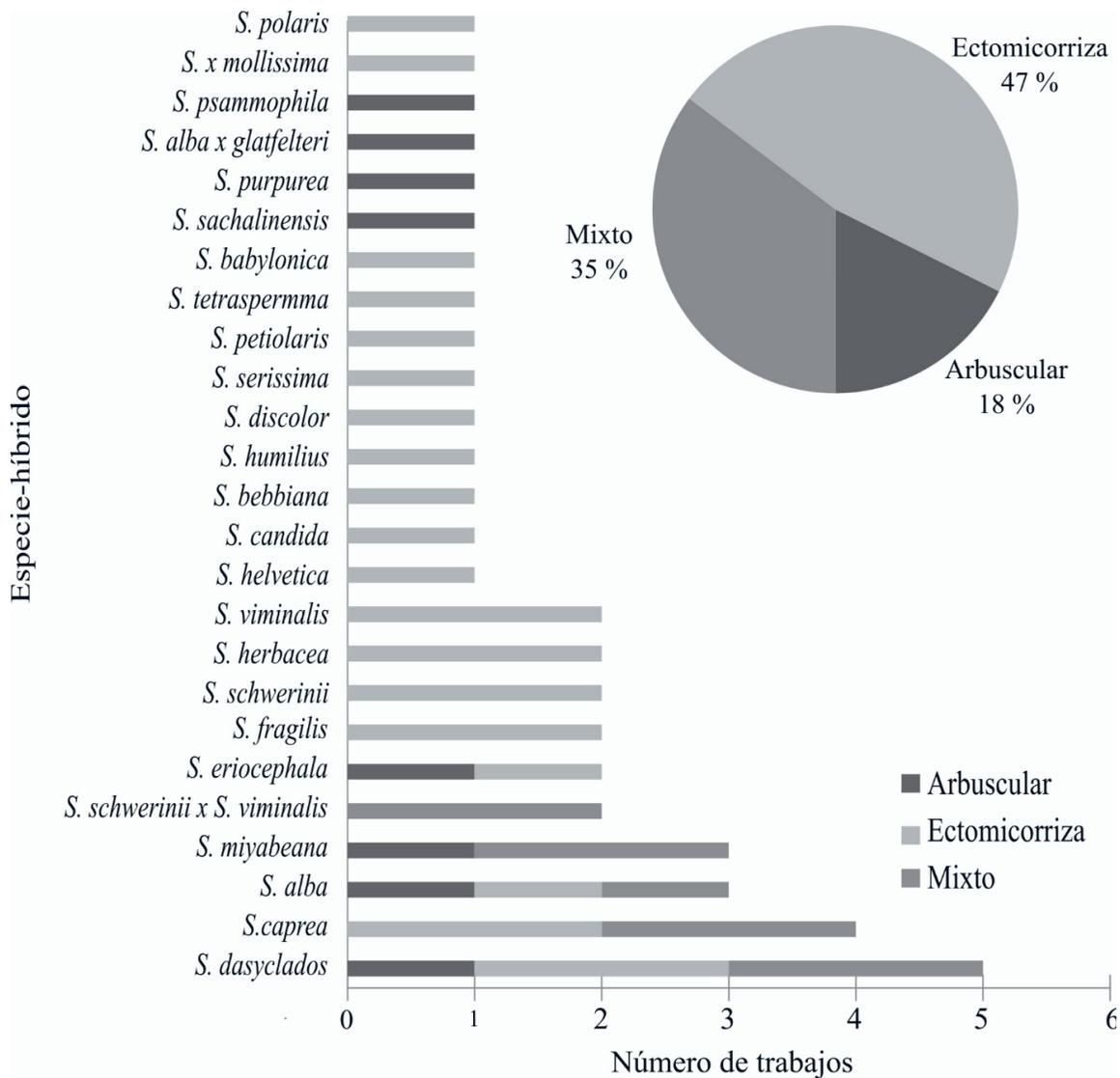


Figura 5. Número de trabajos de *Salix* sp. publicados entre 2010 y 2020 según el tipo de micorriza estudiado.
 Number of articles corresponding to *Salix* sp. published between 2010 and 2020 by type of mycorrhiza studied.

especie-híbridos de *Populus* y *Salix* que crecen en el hemisferio sur, ya sea en ambientes nativos, naturalizados o de plantación. También aparece como una temática poco explorada el estudio de las salicáceas como hospedadores duales a nivel global. Es interesante notar que, a pesar del reducido número de trabajos registrados para el hemisferio sur, aquellos realizados en Sudamérica (Lugo *et al.* 2012, Mestre *et al.* 2017b) incluyen el estudio conjunto de micorrizas arbusculares y ectomicorrizas, lo cual nos coloca en una posición privilegiada al reconocer la importancia de estudiar a las plantas incluidas en esta familia como hospedadores duales. Abordar el estudio de la simbiosis micorrízica en hospedadores duales brinda información relevante no solo desde el punto de vista ecológico, sino también desde una perspectiva aplicada, cuyo objetivo es incorporar hongos micorrízicos a la producción de plantas de la familia Salicaceae.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

MCM y NF diseñaron el estudio y el análisis experimental, DA y HS realizaron el relevamiento es búsquedas de datos y análisis de datos, todos los autores contribuyeron con la discusión e interpretación de resultados y con la escritura del manuscrito.

FINANCIAMIENTO

Este trabajo se realizó con el apoyo de la Universidad Nacional del Comahue (proyecto B240-PIN1) y del Fondo para la Promoción de la Ciencia y la Tecnología (proyecto PICT2018-3441) de Argentina.

REFERENCIAS

- Amico I, L Gallo, S Li, C Gallardo. 2017. Sauce criollo: rescate genético y cultural en la Provincia de Chubut. Consultado Jul. 2021. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_eaaf_esquel_rescate_genetico_y_cultural_del_sauce_criollo_en_la_provincia_de_chubut_11_2018.pdf
- Amico I. 2002. Viverización y cultivo de álamos y sauces en el NO de Chubut. Buenos Aires, Argentina. *Boletín de divulgación INTA*. 48 p.
- Ball J, J Carle, A Del Lungo. 2005. Contribution of poplars and willows to sustainable forestry and rural development. *UNASYLVA-FAO*- 56(2): 3.
- Barros Asenjo S. 2009. Álamos y sauces, las salicáceas en el mundo y en Chile. *Ciencia e Investigación Forestal* 15(2): 243-254.
- Bennett AE, KR Rubert-Nason, RL Lindroth. 2020. Response of aspen genotypes to browsing damage is not influenced by soil community diversity. *Plant and Soil* 452: 153-170. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04466-8>
- Borodowski ED, RO Suárez. 2004. El cultivo de álamos y sauces: su historia en el Delta del Paraná. *SAGPyA Forestal* 32: 5-13.
- Brundrett MC, L Tedersoo. 2018. Evolutionary history of mycorrhizal symbioses and global host plant diversity. *New Phytologist* 220(4): 1108-1115. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.14976>
- Chen Z, He X, Guo H, Yao X, C Chen. 2012. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of three host plants in the farming–pastoral zone, north China. *Symbiosis* 7(3): 149-160. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13199-012-0186-y>
- Danielsen L, G Lohaus, A Polle. 2013. Ectomycorrhizal colonization and diversity in relation to tree biomass and nutrition in a transgenic poplar plantation with modified lignin biosynthesis. *PLoS ONE* 8(3): e59207. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0059207>
- Datri LA, AM Faggi, LA Gallo. 2016. Entre el orden y el caos: invasiones con dinámicas no lineales de sauces y álamos en el norte de la Patagonia. *Revista de la Asociación Argentina de Ecología de Paisajes* 6(1): 12-22.
- Garau AM, FD Caccia, AB Guarnaschelli. 2008. Impact of standing vegetation on early establishment of willow cuttings in the flooded area of the Parana River Delta (Argentina). *New Forests* 36(1): 79-91. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-008-9083-x>
- Guo LD. 2018. Presidential address: recent advance of mycorrhizal research in China. *MYCOLOGY* 9(1): 1-6. DOI: <https://doi.org/10.1080/21501203.2018.1437838>
- Lanfranco L, Fiorilli V, C Gutjahr. 2018. Partner communication and role of nutrients in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *New Phytology* 220(4):1031-1046. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.15230>
- Liu T, C Wang, H Chen, F Fang, X Zhu, M Tang. 2014. Effects of arbuscular mycorrhizal colonization on the biomass and bioenergy production of *Populus* × *canadensis* ‘Neva’ in sterilized and unsterilized soil. *Acta physiologiae plantarum* 36(4): 871-880. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11738-013-1465-9>
- Lugo MA, AG Becerra, ER Nouhra, AC Ochoa. 2012. Mycorrhizal diversity in native and exotic willows (*Salix humboldtiana* and *S. alba*) in Argentina. In Pagano MC ed. *Mycorrhiza: occurrence in natural and restored environment*. Nueva York, USA. Nova Science Publishers p. 201-222.
- Mendeley Ltd. 2021. New York, EE UU. Consultado ene. 2021. Disponible en <https://www.mendeley.com>
- Mestre MC, J Grosfeld, J García, AG Aparicio, MJ Pastorino, S Fontenla. 2017a. Uso de microorganismos benéficos en la producción de barbados de álamos en Patagonia. Consultado Jul. 2021. Disponible en: <https://jornadasdesalicaceas2017.blogspot.com/p/actas.html>
- Mestre MC, MJ Pastorino, AG Aparicio, S. Fontenla. 2017b. Natives helping foreigners? effect of inoculation of poplars with Patagonian beneficial microorganisms. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 17(4): 1028-1039. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162017000400014>
- Peri PL, M Bloomberg. 2002. Windbreaks in southern Patagonia, Argentina: A review of research on growth models, wind speed reduction, and effects on crops. *Agroforestry Systems* 56:1 29–144. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1021314927209>
- Quoreshi AM, DP Khasa. 2008. Effectiveness of mycorrhizal inoculation in the nursery on root colonization, growth, and nutrient uptake of aspen and balsam poplar. *Biomass and Bioenergy* 32(5): 381-391. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.10.010>
- Smith SE, DE Read. 2008. *Mycorrhizal Symbiosis*. Londres, UK. Academic Press. p. 769
- Soudzilovskaia NA, S Vaessen, M van't Zelfde, N Raes. 2017. Global patterns of mycorrhizal distribution and their en-

- vironmental drivers. In Tedersoo L ed. Biogeography of mycorrhizal symbiosis. Tartu, Estonia. Springer p. 223-235. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-56363-3_11.
- Teste FP, P Kardol, BL Turner, DA Wardle, G Zemunik, M Renton, E Laliberté. 2019. Toward more robust plant–soil feedback research: Comment. *Ecology* 100(9): e02590. DOI: <https://doi.org/10.1002/ecy.2590>
- Thomas LK, E Mosner, I Leyer. 2015. River dynamics and invasion: distribution patterns of native and invasive woody vegetation at the Río Negro, Argentina. *Riparian Ecology and Conservation* 1: 45-57. DOI: <https://doi.org/10.1515/remc-2015-0001>
- Wang B, YL Qiu. 2006. Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. *Mycorrhiza* 16(5): 299-363. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00572-005-0033-6>
- Wu J, T Nyman, DC Wang. 2015. Phylogeny of *Salix* subgenus *Salix* s.l. (Salicaceae): delimitation, biogeography, and reticulate evolution. *BMC Evolutionary Biology* 15: 31. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12862-015-0311-7>

Recibido: 10.07.22
Aceptado: 21.01.23

Anexo: Trabajos recopilados para realizar el presente estudio y describir la ocurrencia de micorrizas en plantas de la familia Salicaceae.
Publications used to carry out this study and to describe the occurrence of mycorrhizae in plants of the Salicaceae family.

Autor	Año	Continente	Micorriza	Especie-híbrido	DOI
Populus					
Bainarda <i>et al.</i>	2011	Norteamérica	MA	<i>P. deltoides</i> × <i>nigra</i>	https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.07.014
Basso <i>et al.</i>	2020	Norte*	EM	<i>P. tremula</i> × <i>alba</i>	https://doi.org/10.1111/pce.13702
Baum <i>et al.</i>	2013	Europa	EM	<i>P. tremula</i> × <i>alba</i>	https://doi.org/10.17221/548/2012-PSE
Baum <i>et al.</i>	2019	Europa	MA-EM	<i>P. tremula</i> × <i>alba</i>	https://doi.org/10.3390/soilsystems3020032
Benett <i>et al.</i>	2020	Norteamérica	MA	<i>P. tremuloides</i>	https://doi.org/10.1007/s11104-020-04466-8
Bent <i>et al.</i>	2011	Norteamérica	EM	<i>P. tremuloides</i>	https://doi.org/10.1128/AEM.02575-10
Bojarczuk <i>et al.</i>	2015	Europa	EM	<i>P. x canescens</i>	https://doi.org/10.1007/s11056-014-9455-3
Bonito <i>et al.</i>	2016	Norteamérica	EM	<i>P. deltoides</i> , <i>P. trichocarpa</i>	https://doi.org/10.1016/j.funeco.2016.04.007
Bragato <i>et al.</i>	2010	Europa	EM	<i>P. deltoides</i>	https://doi.org/10.1007/s11104-009-0133-8
Castillo <i>et al.</i>	2018	Norteamérica	MA-EM	<i>P. tremuloides</i> , <i>P. grandidentata</i>	https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.06.022
Chen <i>et al.</i>	2015	Asia	MA	<i>P. deltoides</i>	https://doi.org/10.17521/cjpe.2016.0210
Chen X <i>et al.</i>	2019	Norteamérica	MA	<i>P. tremuloides</i>	https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.107634
Cicatelli <i>et al.</i>	2010	Europa	MA	<i>P. alba</i>	https://doi.org/10.1093/aob/mcq170
Cicatelli <i>et al.</i>	2013	Europa	MA	<i>P. alba</i> , <i>P. nigra</i>	https://doi.org/10.3832/ifer1045-007
Clark y Clair	2011	Europa	MA	<i>P. tremuloides</i>	https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.03.024
Dangi <i>et al.</i>	2017	Norteamérica	MA	<i>P. deltoides</i> × <i>nigra</i> , <i>P. trichocarpa</i> <i>deltoides</i> × <i>nigra</i>	https://doi.org/10.1080/15226514.2017.1337073
Danielsen <i>et al.</i>	2013	Europa	EM	<i>P. tremula</i> , <i>P. alba</i>	https://doi.org/10.1371/journal.pone.0059207
Danielsen <i>et al.</i>	2014	Europa	EM	<i>P. x canescens</i>	https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.01.006
Di Bene <i>et al.</i>	2011	Europa	MA	<i>P. deltoides</i>	https://doi.org/10.4081/ija.2011.e6
Fox <i>et al.</i>	2013	Norteamérica	EM	<i>P. cathayana</i>	https://doi.org/10.2980/20-3-3611
Gaster <i>et al.</i>	2015	Norteamérica	EM	<i>P. tremuloides</i>	https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2015.07.001
Gehring <i>et al.</i>	2013	Norteamérica	MA	<i>P. fremontii</i> , <i>P. angustifolia</i>	https://doi.org/10.1139/cjb-2013-0174
Han <i>et al.</i>	2011	Asia	EM	<i>P. alba</i> × <i>glandulosa</i>	https://doi.org/10.5141/JEFB.2011.041
Hankin <i>et al.</i>	2015	Norteamérica	EM	<i>P. tremuloides</i>	https://doi.org/10.1139/cjb-2014-0132
Hupperts <i>et al.</i>	2017	Norteamérica	EM	<i>P. tremuloides</i>	https://doi.org/10.1111/1365-2435.12695
Jabeen <i>et al.</i> **	2012	Asia	EM	<i>P. ciliata</i> , <i>P. euramericana</i>	11-711/AWB/2012/14-5-681-688
Jeyakumar <i>et al.</i>	2010	Oceanía	EM	<i>P. deltoides</i> × <i>yunnanensis</i>	https://doi.org/10.1071/SR09169
Karlinski <i>et al.</i>	2020	Europa	MA	<i>P. deltoides</i> , <i>P. deltoides</i> × <i>nigra</i> , <i>P. deltoides</i> × <i>trichocarpa</i> , <i>P. maximowiczii</i> × <i>trichocarpa</i> .	https://doi.org/10.3390/f11030262
Karlinski <i>et al.</i>	2010	Europa	MA-EM	<i>P. deltoides</i> , <i>P. deltoides</i> × <i>nigra</i> , <i>P. deltoides</i> × <i>trichocarpa</i> , <i>P. maximowiczii</i> × <i>trichocarpa</i>	https://doi.org/10.1007/s00572-009-0284-8
Katanić <i>et al.</i>	2016	Europa	EM	<i>P. maximowiczii</i>	https://doi.org/10.1007/s10342-013-0751-9

Kilpeläinen <i>et al.</i>	2020	Europa	MA-EM	<i>P. angustifolia</i>	https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107798
Kleemann <i>et al.</i>	2011	Europa	EM	<i>P. tremula</i>	https://doi.org/10.1007/s10342-010-0460-6
Labbé <i>et al.</i>	2014	Norteamérica	EM	<i>P. deltoides</i>	https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00579
Lamit <i>et al.</i>	2016	Norteamérica	EM	<i>P. angustifolia</i>	https://doi.org/10.1016/j.funeco.2016.05.013
Langer <i>et al.</i>	2012	Europa	EM	<i>P. tremula</i>	https://doi.org/10.1007/s11104-011-1098-y
Lee <i>et al.</i>	2020	Norteamérica	MA	<i>P. tremuloides</i>	https://doi.org/10.3390/microorganisms8060872
Lewandowski <i>et al.</i>	2016	Norteamérica	MA	<i>P. deltoides</i>	https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.11.001
Li <i>et al.</i>	2015	Asia	MA	<i>P. cathayana</i>	https://doi.org/10.1111/pp1.12336
Li <i>et al.</i>	2020	Asia	MA	<i>P. cathayana</i>	https://doi.org/10.1038/s41598-020-68112-0
Liang <i>et al.</i>	2010	Asia	EM	<i>P. hopeiensis</i>	https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.01.016
Liu <i>et al.</i>	2014	Asia	EM	<i>P. x canadensis</i>	https://doi.org/10.1007/s00374-013-0880-9
Liu <i>et al.</i>	2014	Asia	MA	<i>P. x canadensis</i>	https://doi.org/10.1007/s11738-013-1465-9
Liu <i>et al.</i>	2015	Asia	MA	<i>P. x canadensis</i>	https://doi.org/10.1007/s11099-015-0100-y
Long <i>et al.</i>	2016	Asia	EM	<i>P. simonii</i>	https://doi.org/10.1038/srep24336
Lu <i>et al.</i>	2014	Asia	MA	<i>P. tomentosa</i>	https://doi.org/10.1139/cjfr-2014-0009
Luo <i>et al.</i>	2011	Europa	EM	<i>P. x canadensis</i>	https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.04.008
Meinhardt y Gehring	2012	Norteamérica	MA-EM	<i>P. fremontii</i>	https://doi.org/10.1890/11-1247.1
Mestre <i>et al.</i>	2017	Sudamérica	MA-EM	<i>P. nigra</i> , <i>P. trichocarpa</i>	https://doi.org/10.4067/S0718-95162017000400014
Moradi Behbahani <i>et al.</i>	2017	Asia	MA	<i>P. euphratica</i>	https://doi.org/10.1007/s40333-017-0028-0
Mucha <i>et al.</i>	2015	Europa	MA	<i>P. nigra</i>	https://doi.org/10.1007/s13595-015-0470-0
Müller <i>et al.</i>	2013	Europa	EM		https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00332
Noirot-Gros <i>et al.</i>	2018	Norteamérica	EM	<i>P. tremuloides</i>	https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00853
Pfabel <i>et al.</i>	2012	Europa	EM	<i>P. trichocarpa</i> × <i>deltoides</i>	https://doi.org/10.1093/treephys/tps093
Rooney <i>et al.</i>	2011	Europa	MA	<i>P. euramericana</i>	https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.08.015
Roy <i>et al.</i>	2019	Norteamérica	EM	<i>P. tremuloides</i>	https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00932
Salehi <i>et al.</i>	2016	Asia	MA	<i>P. nigra</i> , <i>P. alba</i>	https://doi.org/10.17221/23/2016-JFS
Sarwar <i>et al.</i>	2013	Asia	EM	<i>P. ciliata</i>	https://doi.org/10.5897/JYFR2013.0119
Scott <i>et al.</i>	2019	Norteamérica	EM	<i>P. tremuloides</i>	https://doi.org/10.1007/s00442-018-4241-0
Shinde <i>et al.</i>	2018	Norteamérica	EM	<i>P. tremuloides</i>	https://doi.org/10.1093/treephys/tpx117
Siemens y Zwiazek	2011	Norteamérica	EM	<i>P. tremuloides</i>	https://doi.org/10.1007/s11104-011-0776-0
Szuba <i>et al.</i>	2017	Europa	EM	<i>P. x canadensis</i>	https://doi.org/10.1007/s11104-016-3062-3
Tedersoo <i>et al.</i>	2020	Europa	EM	<i>P. x wettsteinii</i>	https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01953
Tyburska <i>et al.</i>	2013	Europa	MA-EM	<i>P. alba</i> , <i>P. nigra</i>	https://doi.org/10.12775/ecoq-2013-0005
Wu <i>et al.</i>	2017	Asia	MA	<i>P. x canadensis</i>	https://doi.org/10.1007/s00344-017-9686-6
Wu <i>et al.</i>	2018	Asia	MA	<i>P. x canadensis</i>	https://doi.org/10.1007/s11738-018-2728-2
Wu <i>et al.</i>	2017	Asia	MA	<i>P. x canadensis</i>	https://doi.org/10.1007/s00344-017-9686-6
Wu <i>et al.</i>	2015	Asia	MA	<i>P. cathayana</i>	https://doi.org/10.1038/srep37663
Wu <i>et al.</i>	2018	Asia	MA	<i>P. cathayana</i>	https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00607

Xia <i>et al.</i>	2020	Asia	MA	<i>P. cathayana</i>	https://doi.org/10.1111/nph.16170
Yang <i>et al.</i>	2017	Asia	MA	<i>P. euphratica</i>	https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0369
Yang <i>et al.</i>	2013	Asia	MA	<i>P. euphratica</i>	https://doi.org/10.1002/eco.1417
Yang <i>et al.</i>	2016	Asia	MA	<i>P. deltooides</i>	https://doi.org/10.1007/s11104-016-2850-0
Yang <i>et al.</i>	2015	Asia	MA	<i>P.s purdomii</i> , <i>P. simonii</i>	https://doi.org/10.1007/s11356-015-4521-8
Yannikos	2014	Norteamérica	EM	<i>P. deltooides</i> , <i>P. petroskyana</i> , <i>P. tremuloides</i>	https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.11.025
Zadworny y Eissenstat	2010	Norteamérica	MA	<i>P. tremuloides</i>	https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03598.x
Zampieri <i>et al.</i>	2016	Europa	MA	<i>P. nigra</i>	https://doi.org/10.3832/ifor1911-009
Zhang <i>et al.</i>	2019	Asia	MA	<i>P. × canadensis</i>	https://doi.org/10.17221/2/2019-PSE
Salix					
Arraiano-Castilho <i>et al.</i>	2020	Europa	EM	<i>S. helvetica</i> , <i>S. purpurea</i>	https://doi.org/10.1016/j.funeco.2020.100936
Baum <i>et al.</i>	2018	Norteamérica	MA-EM	<i>S. dasyclados</i> , <i>S. schwerinii x viminalis</i>	https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01012
Bogar <i>et al.</i>	2015	Oceania	EM	<i>S. fragilis</i>	https://doi.org/10.1111/ddi.12304
Chen <i>et al.</i>	2012	Asia	MA	<i>S. psammophila</i>	https://doi.org/10.1007/s13199-012-0186-y
Corredor <i>et al.</i>	2014	Norteamérica	MA	<i>S. alba x glatfelteri</i> , <i>S. purpurea</i> , <i>S. dasyclados</i> , <i>S. eriocephala</i> , <i>S. dasyclados</i> , <i>S. sachalinensis</i> , <i>S. miyabeana</i>	https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.12.002
Dagher <i>et al.</i>	2020	Norteamérica	MA-EM	<i>S. miyabeana</i>	https://doi.org/10.3390/jof6020087
Erlandson <i>et al.</i>	2016	Norteamérica	EM	<i>S. petiolaris</i> , <i>S. serissima</i> , <i>S. discolor</i> , <i>S. petiolaris</i> , <i>S. serissima</i>	https://doi.org/10.1093/femsec/fiv148
Fransson <i>et al.</i>	2013	Europa	EM	<i>Salix sp.</i>	https://doi.org/10.2980/20-2-3576
Hryniewicz <i>et al.</i>	2015	Europa	EM	<i>S. alba</i> , <i>S. caprea</i>	https://doi.org/10.1007/978-94-007-1591-2_2
Hryniewicz <i>et al.</i>	2012	Europa	EM	<i>S. viminalis</i> , <i>S. dasyclados</i> , <i>S. schwerinii</i> , <i>S. caprea</i> , <i>S. fragilis</i> , <i>S. × mollissima</i>	https://doi.org/10.1007/s00572-012-0437-z
Jabeen y Khalid***	2014	Asia	EM	<i>S. babylonica</i> , <i>S. tetrasperma</i> , <i>S. pakistanica</i> , <i>S. khanspurensis</i>	13-284/2014/16-3-480-488
Knoblochová <i>et al.</i>	2017	Europa	MA-EM	<i>S. caprea</i>	https://doi.org/10.1007/s00572-017-0792-x
Mokarram-Kashtiban <i>et al.</i>	2019	Asia	MA	<i>S. alba</i>	https://doi.org/10.1007/s11356-019-04411-y
Parádi y Baar	2016	Europa	MA-EM	<i>S. alba</i>	https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.09.059

Pray <i>et al.</i>	2018	Norteamérica	MA-EM	<i>S. miyabeana</i>	https://doi.org/10.3390/f9040185
Regvar <i>et al.</i>	2010	Europa	MA-EM	<i>S. caprea</i>	https://doi.org/10.1007/s11104-009-0207-7
Ryberg <i>et al.</i>	2011	Europa	EM	<i>S. herbacea</i> , <i>S. polaris</i>	https://doi.org/10.1007/s00572-010-0335-1
<i>Populus-Salix</i>					
Bissonnette <i>et al.</i>	2010	Norteamérica	MA	<i>P. × generosa</i> – <i>S. viminalis</i>	https://doi.org/10.1007/s11104-009-0273-x
Fillion <i>et al.</i>	2011	Norteamérica	MA	<i>P. nigra × maximowiczii</i> – <i>S. viminalis</i> , <i>S. miyabeana</i>	https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.09.002
He <i>et al.</i>	2019	Asia	MA	<i>P. cathayana</i> – <i>S. matsudana</i>	https://doi.org/10.3390/f10100930
Hrynkiewicz <i>et al.</i>	2010	Europa	EM	<i>P. nigra × maximowiczii</i> – <i>S. viminalis</i>	https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.08.020
Lasso-Rivas	2015	Norteamérica	MA	<i>P. deltoides</i> – <i>S. nigra</i> .	https://doi.org/10.22490/21456453.1263
Mrnka <i>et al.</i>	2012	Europa	EM	<i>P. nigra</i> - <i>S. alba</i>	https://doi.org/10.1007/s11270-011-0868-8

MA: micorriza arbuscular; EM: ectomicorriza. Norte*: trabajo conjunto investigadores del hemisferio norte.

** Jabeen S, S Ilyas, ARK Niazi and AN Khalid. 2012. Diversity of *ectomycorrhizae* associated with *populus* spp. growing in two different ecological zones of Pakistan. *International Journal of Agriculture and Biology* 14: 681–688. Consultado 20 abr. 2023. Disponible en https://www.fspublishers.org/Issue.php?y=2012&v_no=14&categoryID=99

*** Jabeen S, AN Khalid. 2014. Community structure of ectomycorrhizae associated with *Salix* spp. growing in two different climatic regions of Pakistan. *International Journal of Agriculture and Biology* 16: 480-488. Consultado 20 abr. 2023. Disponible en http://www.fspublishers.org/published_papers/51015_..pdf