

4

El estado de la diversidad de especies arbóreas y otras especies de los ecosistemas boscosos

MAXIMILIANO CEBALLOS, SANTIAGO GARCÍA ÁLVAREZ,
ANÍBAL CUCHIETTI, JUAN MORO, LILIANA WASLIUK, JOAQUÍN FAVA,
NATALIA ACOSTA, MICAELA CHERVIN, ALEJANDRO PERTICARI,
MARIANA MELCHIORRE, DIEGO LÓPEZ LAUENSTEIN, MARÍA ESPINOSA,
EZEQUIEL POZZI, MÓNICA SAGADÍN, CRISTINA SOTELO,
CAROLINA RAMÍREZ, MARINA CARDOZO, MÓNICA COLLAVINO,
MARIANA PUENTE Y LEONARDO GALLO

El origen de la diversidad entre especies

La Argentina cuenta con una enorme diversidad de ecosistemas como consecuencia de su gran superficie territorial (8.º país en el mundo), su ubicación entre el subtropical y la Antártida y su orografía dominada por el gran macizo de la Cordillera de los Andes. Esta situación tan particular origina 18 ecosistemas diferentes que albergan al mayor número de plantas vasculares (10.196) del Cono Sur (solo se incluye en esta afirmación el sur del Brasil) (Fig. 1). La gran diversidad de ecosistemas que posee el país es una de las mayores del mundo (Estrategia Nacional de Biodiversidad, MAyDS 2018).

Es decir que, considerando la biodiversidad del país y comparándola con la de otros países, la diversidad de especies en general y de especies arbóreas en particular no se basa en una cuestión meramente cuantitativa y absoluta (número de especies), sino con relación al gran rango de especies adaptadas a hábitats totalmente diferentes. Es en esa enorme diversidad de hábitats donde se encuentra la gran riqueza de la diversidad de especies del país y por lo que se destaca su singularidad.

En la Argentina se encuentran recursos genéticos forestales adaptados a condiciones subtropicales húmedas, subtropicales secas, de selvas lluviosas de altura, de selvas relictuales y de bosques templado-fríos. Este hecho sugiere que en el actual territorio argentino han existido durante millones de años los más diversos procesos de evolución adaptativa a esos diferentes ambientes. A ese proceso de selección natural adaptativa se sumaron numerosos procesos de fragmentación por cambios bruscos del paisaje y de las condiciones climáticas, originados por intrusiones marinas, movimientos tectónicos de gran escala como el levantamiento de la Cordillera de los Andes, el vulcanismo, las glaciaciones, etc. Se generó una alta diversidad genética contrastante del genoma arbóreo (*sensu lato*) y una alta plasticidad fenotípica y potencialidad evolutiva a las contrastantes condiciones ambientales. La Argentina constituye por ese motivo un enorme laboratorio natural donde es posible encontrar especies arbóreas nativas adaptadas a las más diversas condiciones y donde es posible cultivar especies introducidas provenientes de una amplia gama de regiones del mundo con muy diversos requerimientos climáticos y edafológicos. Por el mismo motivo, la probabilidad de que especies exóticas se asilvestren y conviertan en invasoras es muy alta. Podemos afirmar, por lo tanto, que la Argentina cuenta con un *contraste de diversidad biológica* muy alto, probablemente uno de los mayores del mundo.

Las especies forestales más valoradas

En la actualidad, el último registro del Global Tree Search del Botanic Gardens Conservation International (<http://tinurl.com/ya4ajs6t>) registra para nuestro país unas 685 especies arbóreas nativas que cubren las siete regiones forestales. Teniendo en cuenta que el número de especies arbóreas descritas ronda las 73.000 (Cazzolla Gatti *et al.* 2022), la Argentina cuenta con casi el 1 % de la diversidad mundial de especies arbóreas. Vale la pena destacar que el 40 % de las especies arbóreas que se estiman existentes pero que aún no han sido descritas se distribuyen naturalmente en Sudamérica (Cazzolla Gatti *et al.* 2022).

Las especies forestales nativas, más las especies forestales introducidas de importancia en la actividad forestal del país y que son una parte importante del BCGF, han sido informadas en el reciente relevamiento para el *Plan de acción mundial para la conservación, la utilización sostenible y el desarrollo de los recursos genéticos forestales* (Informe en línea Argentina 2020). Se reportaron 129 especies forestales nativas e introducidas en el formulario en línea de ese informe encontradas en los registros de la FAO (FAO 2023).

Adicionalmente, se adjuntaron al mencionado informe otras 413 especies forestales nativas más, la mayoría de las cuales están protegidas en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas.

La información sobre la distribución, amenazas, acceso a sus RG y uso de estas están mencionadas en otros capítulos del presente informe. En el presente informe se reportan por lo tanto unas 542 especies forestales, nativas e introducidas, consideradas como parte del BCGF del país.

Productos forestales no madereros (PFNM)

Un punto importante y particular en la problemática de la conservación y uso de los recursos genéticos forestales lo constituye la conservación y uso de los recursos genéticos de especies arbóreas, arbustivas y subarbustivas que proveen productos forestales no madereros.

En la Argentina, las especies proveedoras de PFNM son gestionadas y utilizadas en general por parte de las mujeres de comunidades indígenas y campesinas. La generación e intercambio de saberes sobre su identificación, cosecha, procesamiento y uso alimenticio, textil, medicinal, etc., se ha mantenido durante milenios en ellas, que actúan de guardianas del conocimiento comunitario (Ladio 2020).

Por otro lado, gran parte de estas especies proveedoras de PFNM conforman el sotobosque donde forrajejan numerosos polinizadores de las especies arbóreas estructurales y de importancia comercial. Ha sido ya demostrado que en muchos ecosistemas boscosos en los que no se mantiene y maneja en forma sustentable el sotobosque desaparecen los polinizadores o los dispersores de semillas con alto impacto negativo, sobre todo el dosel arbóreo estructural (Dicks *et al.* 2021). La modificación del sotobosque, donde generalmente se encuentran esas especies, altera por lo tanto el flujo y distribución de la información genética de todo el ecosistema y con ello su aptitud evolutiva y capacidad adaptativa. Finalmente, esas especies del sotobosque cumplen una función vital para toda la dinámica energética del ecosistema boscoso al proteger y beneficiar la estructura y fertilidad del suelo y la regulación hídrica del ecosistema.

La mayor importancia de los PFNM de los bosques nativos de la Argentina estriba esencialmente en el elevado valor cultural que implica para las comunidades indígenas la presencia del bosque como parte de su vida y de su territorio, de donde obtienen comida, refugio, leña, medicinas, etc., generando en las familias el compromiso de cuidarlo. En las últimas décadas, la llegada de parte de estos

productos a los mercados urbanos genera un proceso de valorización social del bosque nativo. El aprovechamiento y la comercialización sostenible de los PFSNM constituyen una fuente de sustento de comunidades indígenas y campesinas y al mismo tiempo una aproximación cultural hacia el bosque por parte de las comunidades urbanas.

Para ingresar un PFSNM al mercado, hace falta contar con información sistematizada sobre los usos no madereros de las especies nativas, ya que esta se encuentra muy dispersa. Del amplio espectro de PFSNM que son aprovechados en el país, solo es posible cuantificar económicamente aquellos que han alcanzado cierto desarrollo en volumen de mercado. El resto no es detectado por las estadísticas, resultando imposible evaluar su real impacto sobre las economías familiares, locales, regionales y su importancia a nivel nacional.

La utilización de los distintos PFSNM tiene una gran relevancia para la supervivencia y el rédito económico de los pobladores del bosque. Falta también una mayor profundización del conocimiento e información sobre su manejo y gestión sustentable, así como estadísticas confiables que permitan orientar la toma de decisiones.

A partir de la sanción de la Ley Nacional N.º 26331 de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos, se han realizado grandes esfuerzos para promover el aprovechamiento múltiple de los bosques nativos y revertir el proceso de deterioro ambiental debido al cambio de uso de la tierra, producto principalmente del avance de la frontera agrícola. Sin embargo, la falta de financiamiento regular y problemas de control no han permitido la aplicación efectiva de esta ley.

Sugerencias para la conservación de los RGF de los PFSNM

Entre los PFSNM, encontramos una enorme variedad de árboles, arbustos, hierbas, lianas, epífitas, enredaderas, musgos, líquenes, helechos y hongos que son utilizados

con distintos fines: alimenticios, aromáticos, artesanales, curtientes, farmacéuticos, forrajeros, medicinales, ornamentales, textiles, tintóreos, cosméticos y veterinarios, entre otros. De las diversas especies, se pueden extraer diferentes productos como, por ejemplo, aceites esenciales, ceras, gomas, resinas, taninos, polen y néctar.

En la Argentina, la gran variedad de regiones forestales es indicativa de la gran diversidad de especies de las cuales se pueden obtener PFNM de diferente tipo, desde frutos tropicales hasta semillas y hongos de bosques templados fríos.

Entre las regiones forestales, se destaca la selva misionera, que representa una de las regiones forestales más diversas y amenazadas del mundo, con altos niveles de endemismo (Myers *et al.* 2000). Los bosques nativos remanentes están degradados por la explotación de las principales especies comerciales en ciclos de corta menores a 20 años. La productividad maderera es más baja que lo necesario para sostener económicamente la actividad y la vida de las poblaciones rurales. En esos casos la actividad de aprovechamiento de los PFNM adquiere aún mayor relevancia. Según Campanello *et al.* (2019), se sugiere que la obtención de madera debería complementarse entre otras cosas con el aprovechamiento de productos forestales no madereros para lograr un equilibrio extractivo de bajo impacto, tal como el que realizan muchas comunidades indígenas o campesinas o bajo condiciones de cultivo de especies nativas.

El uso de recursos provenientes de poblaciones silvestres y la búsqueda de estrategias de manejo sostenible deben pensarse en diferentes escalas, y pueden planificarse acciones productivas cuyo éxito dependa de conservar el bosque nativo a escala local. Al mantenerse la estructura del bosque para promover el desarrollo de una especie de interés, se promueve la conservación por el uso.

Para estimular sistemas productivos locales que combinen producción y conservación, es necesario: 1) identificar el conjunto de espacios productivos elegidos por los productores en cada región; 2) identificar las combinaciones de sistemas productivos que a nivel predial generan mayor sinergia, recomendar esas alternativas productivas conjuntas y evitar aquellas cuya combinación amenaza la sostenibilidad de alguno de los recursos (por ejemplo, donde se explotan poblaciones silvestres de leñosas del sotobosque, desalentar el desarrollo de la ganadería bajo Monte, recomendar su cría exclusivamente en potreros), y 3) promover sistemas productivos cuyo éxito conlleve el éxito (o la promoción) de otros. Por ejemplo, la meliponicultura bajo un Monte silvestre enriquecido con frutales nativos.

Entre los RGF, de las especies de las que se obtienen PFNM, en la mayoría de los casos se aprovecha una parte de la planta y no la planta entera, por lo que la alteración del sistema genético de la especie en cuestión es, en general, menor. Para la conservación de los RGF, es muy importante conocer el ciclo biológico de las especies y realizar un aprovechamiento de las partes utilizadas como PFNM que sea sostenible en el tiempo, permitiendo la regeneración sexual de esas especies para mantener a través de ella su diversidad genética realizando intervenciones en las poblaciones de las especies utilizadas cuando sea necesario (Gallo *et al.* 2005, Hilgert y Gil 2008, Ludueña *et al.* 2015; Molaes y Ladio 2015) (Fig. 2).



Figura 2. Algunos PFNM de la Argentina. De izquierda a derecha y de arriba hacia abajo: achojcha, chaguar, ají kitucho, chirimoya, algarroba, goma brea, tomate de árbol, nogal criollo, meliponas-yana, yacón y pitanga.

Desafíos para la conservación de especies proveedoras de PFNM

El principal desafío para el manejo sostenible de los PFNM pasa en primer lugar por el reconocimiento cultural y territorial general y de la tenencia de la tierra de las comunidades indígenas y campesinas. Sin resolver ese problema estructural, es imposible la conservación de la diversidad genética de los ecosistemas boscosos nativos y por ende el de aquellas especies relacionadas con los PFNM. El principio de solución se daría aplicando la ley 26160 (“Emergencia en materia de posesión y propiedad de las tierras que tradicionalmente ocupan las comunidades indígenas originarias del país”). Solucionada esta primera condición, se necesita contar con el conocimiento del ciclo biológico de las especies y con las prácticas adecuadas para su aprovechamiento. Para esto, es necesario conocer la época del año y el momento del día en que conviene realizar el aprovechamiento de los distintos productos, ya que se busca optimizar los rendimientos, disminuir las pérdidas y preservar los principios activos en plantas medicinales, farmacéuticas y tintóreas, y de los nutrientes en las de uso alimenticio. Esto también se aplica al momento de realizar el aprovechamiento de exudados en épocas de calor, pero evitando los períodos de lluvias intensas que puedan producir pérdidas por lavado. Además, es útil desarrollar herramientas y dispositivos que permitan el aprovechamiento independizándose de las inclemencias climáticas.

También representa un desafío grande la organización y coordinación de los pobladores que realizan el aprovechamiento, la selección, el procesamiento y comercialización de los PFNM. Esto contribuye a que se realice una extracción sostenible y evita la sobreextracción de los recursos. La organización y coordinación queda sujeta a las decisiones de la respectiva comunidad y los técnicos estatales o privados deberán abstenerse de pretender imponer una mirada occidental sobre el uso de los recursos naturales ya que ha

quedado contundentemente demostrado que no es la más adecuada para la sostenibilidad de los ecosistemas.

Es imprescindible realizar talleres de intercambio de saberes con los pobladores de comunidades indígenas y campesinas para sistematizar y sociabilizar el conocimiento y las prácticas de manejo que permitan la conservación del bien común genético forestal a través de su uso sustentable. Además, es importante dar a conocer a las comunidades el derecho que les asiste con respecto la prospección, recolección, uso y comercialización de ese bien común y la correspondiente distribución de sus beneficios, según consta en los tratados internacionales firmados por el país. Potenciar el desarrollo de los PFNM es fundamental para actuar en un sendero que busque garantizar la soberanía alimentaria y conservar los bosques nativos.

Oportunidades

Además del valiosísimo conocimiento tradicional sobre los PFNM, en varias de las especies existe también incipiente información sobre la composición química y nutricional, así como de los principios activos y compuestos colorantes de las utilizadas para medicina, cosmética, veterinaria o tintes artesanales, u otras especies utilizadas para obtener gomas con usos industriales o con notables propiedades antioxidantes, como la de muchos *berries* patagónicos (Réxico *et al.* 2013, Fava *et al.* 2016a, Fava *et al.* 2016b, Schmeda-Hirschmann *et al.* 2019, Chamorro y Ladio 2020; Chamorro *et al.* 2019).

Se cuenta con herramientas y nuevas tecnologías que permiten mejorar la identificación y la trazabilidad, así como la recolección y almacenamiento, de las materias primas y la utilización de técnicas y equipamiento moderno para optimizar la preservación y el procesamiento de los PFNM. Esto permite conseguir productos naturales de alta calidad con mayor tiempo de vida poscosecha (por ejemplo, el tomate árbol) y el agregado de valor en las harinas que se

obtienen de semillas comestibles elaborando panes y productos de repostería (por ejemplo, algarrobo y pewen).

La biodiversidad, en general, y la diversidad genética, en particular, son la base para la sostenibilidad de los productos naturales para el consumo y la industria farmacéutica, cosmética y alimentaria. Las comunidades que siempre han aprovechado los productos forestales no madereros (PFNM) como método de subsistencia para el consumo propio y venta de estos poco conocen sobre su valor comercial y su posible demanda. Desde la mirada occidental, se podría llegar a pensar que esto ha limitado la generación de una estrategia interna orientada hacia un modelo de economía sostenible o bioeconomía en sentido amplio. No obstante, se debe considerar que el modelo de desarrollo sostenible de las comunidades de pueblos originarios es muy diferente a la visión occidental que prevalece en casi todo el planeta. Probablemente, desde esa visión, la comercialización de los productos que recogen del bosque desde tiempos milenarios no sea algo tan importante.

Se debería generar una red de parcelas permanentes de diferentes ensayos para obtener información sobre modelos de crecimiento y aprovechamiento del bosque, fenología y reproducción de especies para la obtención de productos no madereros y a su vez generar información para aplicar sistemas de pagos por servicios ambientales (Campanello *et al.* 2019). Por otro lado, es muy importante la caracterización genética de estas especies para identificar aquellas poblaciones de mayor diversidad genética, las cuales serían las de mayor probabilidad de adaptación al cambio climático.

Especies de bambúes leñosos presentes en la Argentina

Los “bambúes” pertenecen a la familia de las poáceas (gramíneas), subfamilia *Bambusoideae* representados en las tribus

Arundinarieae, *Bambuseae* y la *Olyreae*, pudiéndose encontrar especies leñosas y herbáceas.

Respecto a los bambúes leñosos neotropicales que comprende el área entre los 28° lat. N en México hasta los 47° lat. S en Chile y la Argentina, según Ruiz-Sánchez *et al.* (2021), la Argentina se encuentra entre los 10 países con una alta diversidad de especies, presentando cinco géneros y 21 especies.

Los géneros-tribu de bambúes leñosos nativos presentes en el país son *Chusquea* de la tribu Chusqueinae, *Guadua* de la tribu Guaduiinae y *Colantheria*, *Merostachys* y *Rhipido-cladum* de la tribu Arthrostylidiinae. Los bambúes introducidos, especialmente desde Asia, pertenecen a los géneros *Arundinaria*, *Phyllostachys*, *Bambusa* y *Dendrocalamus*.

Los bambúes nativos

En la Argentina, los bambúes leñosos nativos se encuentran distribuidos en dos regiones fitogeográficas: la *región neotropical*, dominio amazónico en provincia de las Yungas y provincia paranaense, y la *región antártica*, dominio subantártico en la provincia subantártica.

Provincia de las Yungas

En el noroeste del país, como una franja estrecha a lo largo de las laderas orientales montañosas desde los 500 a los 2500 msnm, siendo su extremo austral la provincia de Catamarca. La vegetación dominante es la selva nublada con grandes árboles, lianas y epífitas, con un estrato inferior de arbustos y hierbas.

Distrito de las selvas montanas

Selva caracterizada por ser húmeda y sombría. Especies de bambúes presentes: *Rhipido-cladum racemiflorum*, *R. neumannii*, *Chusquea lorentziana* (Fig. 3), *C. deficiens*, *C. egluma* y *C. floribunda*.

Provincia paranaense

En el noreste del país (Misiones y noreste de Corrientes), extendiéndose como selva marginal hacia el sur formando galerías a lo largo de los ríos Paraná y Uruguay y en torno a los cursos de agua en Formosa, Chaco, Corrientes, Santa Fe y Entre Ríos. La vegetación característica es la selva.

Distrito de las selvas mixtas

Es donde se desarrollan y habitan los bambúes *Colantheia rhizantha*, *Chusquea ramosissima*, *C. tenella*, *C. juergensii*, *Gua-dua chacoensis*, *G. paraguayana*, *G. trinii*, *G. tagoara* subsp. *tagoara*, *G. variegata*, *Merostachys clausenii* y *M. multiramea*.

Provincia subantártica

Se encuentra al sudoeste del país, sobre la patagonia andina. Presenta formaciones de bosques templados y fríos, caducifolios y perennifolios, en especial de coníferas y del género *Nothofagus*.

Distrito del pewen

Desde el centro oeste de Neuquén, en las laderas del volcán Copahue hasta el extremo occidental del lago Lolog. La comunidad predominante es el bosque de pehuén, *Araucaria araucana*, a 900-1800 msnm asociados en parte con *Nothofagus pumilio* –lenga–, que llega a las altitudes más altas. Se encuentra el bambú *Chusquea culeou* (Fig. 3) –caña coliwé–, en espacios abiertos, periféricos del bosque de araucaria, adoptando forma arbustiva con cañas rígidas de cortas ramificaciones densas.



Figura 3. Especie de bambúsea nativa del género *Chusquea*: *Chusquea culeou* (foto: C. Guerreiro).

Distrito del bosque caducifolio

Borde oriental desde Neuquén hasta Tierra del Fuego. El bosque caducifolio está integrado por *Nothofagus antartica* –ñire– y *Nothofagus pumilio* –lenga–, que llega a los 1800 msnm (a partir de los 1400 msnm, se presenta achaparrada). En el extremo norte, entre los lagos Quillén y Lacar, existen bosques *Nothofagus nervosa* –raulí– y *Nothofagus obliqua* –roble pellín–, también caducifolias. Se encuentra la caña colibe –*Chusquea culeou*– en el estrato arbustivo con un desarrollo de hasta de 6-7 m de altura y ramificaciones más erectas y *Chusquea argentina*, especie muy afín a la anterior.

Distrito valdiviano

Franja discontinua, que limita con Chile, desde Neuquén, Río Negro hasta el paralelo 47° S en Chubut. Distrito muy húmedo, con precipitaciones que pueden llegar a 4000 mm. Se encuentra el bosque perennifolio de *Nothofagus dombeyi* –coiwe–, con sotobosque hasta los 42° S dominado por el género *Chusquea* con las especies *Chusquea culeou*, *C. argentina*, *C. montana*, *C. valdiviensis* y *C. quila*.

Sintetizando, las especies leñosas nativas de bambúes presentes en el país son: de la tribu Arthrostylidiinae en los géneros *Merostachys* (2), *Rhipidocladum* (2) y *Colantheia* (1), de la tribu Chusqueinae en *Chusquea* y en la tribu Guaduiinae en *Guadua*.

Anteriormente, las especies *Guadua angustifolia* y *G. paniculata* Munro fueron citados para la Argentina pero investigaciones recientes finalmente excluyen su presencia en el país (De Agrasar *et al.* 2013). Cabe resaltar que *G. angustifolia* es muy similar a la nativa *G. chacoensis*.

Chusquea deficiens, *Chusquea egluma*, *Chusquea floribunda* y *Guadua variegata* se encuentran dentro del catálogo de plantas endémicas de la Argentina como Categoría PlanEAR tipo 5, que se refiere a “plantas de distribución restringida pero con poblaciones escasas o sobre las que actúen uno o más factores de amenaza (destrucción de hábitat, sobreexplotación, invasiones biológicas, etc.)”.

Los bambúes introducidos

Los bambúes introducidos en la Argentina pertenecen principalmente a los géneros *Arundinaria*, *Bambusa* y *Phyllostachys* (Fig. 4), con unas 15 especies. Algunos con escasa representatividad, como especies del género *Dendrocalamus*, con matas cultivadas en zonas muy localizadas o restringidas.



Figura 4. Dos especies de bambúesas introducidas en la Argentina. A la izquierda: *Bambusa vulgaris vitatta* (foto: C. Guerreiro); a la derecha: *Phyllostachys nigra* (foto: C. Guerreiro).

La especie exótica *Phyllostachys aurea*, para la zona de Misiones, es considerada con potencial invasor (Broz *et al.* 2020), sin embargo, no aparece en listados nacionales ni internacionales de plantas invasoras.

En el caso de *Dendrocalamus asper* –bambú gigante–, existen algunos cultivos en la provincia de Misiones (Broz *et al.* 2020), y se la considera una especie promisoría ya que sus cañas poseen potencial para uso estructural, además de aportar ventajas en relación con su gran capacidad de fijación de carbono en biomasa. Según registros en la localidad de San Ignacio (Misiones), en más de 30 años de cultivo de esta especie, sea por rizomas o semillas, no ha mostrado comportamientos de una planta invasora (Broz *et al.* 2020). Durante este tiempo, la especie no ha florecido en la zona, por tanto, no ha producido semilla.

Institucionalidad

La Organización Internacional del Bambú y el Ratán (legalmente registrada como la Red Internacional del Bambú y el Ratán) conocida como INBAR es la entidad intergubernamental que promueve el desarrollo ambientalmente sostenible utilizando bambú y ratán. Fue creada en 1997, con

Secretaría en la China (país anfitrión de INBAR) y cinco oficinas regionales localizadas en Camerún, Ecuador, Etiopía, Ghana e India. La Argentina forma parte del INBAR desde su ingreso en octubre del 2006.

A nivel nacional, el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca es el punto focal ante el INBAR, y si bien el tema ha sido tratado en diferentes áreas del ministerio, en los últimos años las incumbencias le fueron designadas a la Dirección Nacional de Desarrollo Foresto Industrial.

A nivel provincial, la provincia de Misiones posee un plan de promoción del cultivo denominado “Plan Bambú Misiones” liderado por el Ministerio de Ecología y Recursos Naturales Renovables. Este plan está orientado al desarrollo regional, por lo cual brindan asesoramiento técnico a pequeños y medianos productores y les provee de los plántines necesarios para cultivar con bambú de 1 a 5 hectáreas por unidad productiva, promoviendo a la especie *Dendrocalamus asper* debido a que no es invasora.

Se estima que en la provincia de Misiones existen unas 250 ha de varios géneros de bambú cultivados, con predominio de *Dendrocalamus asper*, y cerca de unas 40.000 ha de bambú nativo, valores que surgen por cruzamiento de información del plan provincial, viveristas de bambú y académicos que tratan el tema en la zona (Diego Broz, com. per.).

Respecto a los estudios sobre el bambú, el Instituto de Botánica Darwinion ha realizado las publicaciones más actuales en el tema, haciendo aportes respecto a nuevas especies nativas identificadas en el país. En tiempos recientes, ha publicado un libro que reúne toda la información en el tema, brindando detalles acerca de caracteres morfológicos, de distribución y usos de las especies de bambúes en el país, tanto nativas como introducidas (Rúgulo de Agrásar 2017).

En cuanto a características relacionadas con la silvicultura y posibles usos, en la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Misiones (UNaM) se están

evaluando las propiedades físico-mecánicas y calorimétricas del carbón de varias especies de bambúes; además, se está estudiando la fabricación de recipientes biodegradables y evaluando la silvicultura de la especie bajo diferentes densidades de plantación.

La diversidad en el microbioma forestal

La identidad de los simbiontes microbianos dominantes asociados a las raíces en un bosque determina la capacidad de los árboles para acceder a los nutrientes limitantes de las reservas atmosféricas o del suelo, secuestrar carbono y resistir los efectos del cambio climático. Cuando se pierde un bosque por desmonte, las topadoras arrastran entre 10 y 20 cm de suelo, y cuando se produce un incendio forestal de alta intensidad este calcina hasta 60 cm o más de suelo, ello conlleva también a la pérdida de la diversidad del microbioma forestal. Esto trae consecuencias negativas con el uso posterior de ese suelo y con la recuperación natural o artificial de este.

Steidinger *et al.* (2019), en un estudio reciente realizado en un consorcio dentro del GBFI (Global Forest Biodiversity Initiative), realizaron la caracterización de la distribución global de estas simbiosis y la identificación de los factores que controlan esta distribución con el objetivo de comprender el funcionamiento presente y futuro de los ecosistemas forestales de modo integral. Para construir ese mapa global, utilizaron una base de datos de más de 1,1 millones de parcelas de inventario forestal que contienen más de 28.000 especies de árboles. Los resultados del análisis indican que las variables climáticas son los principales impulsores de la distribución global de los principales microorganismos que se encuentran en simbiosis con las plantas.

Se estimó que los árboles con simbiosis ectomicorrícas representan aproximadamente el 60 % de los árboles de

la Tierra. La *simbiosis ectomicorrícica* domina los bosques en los que los climas son estacionalmente fríos y secos y, por lo tanto, inhiben la descomposición. Esta forma de simbiosis es predominante en latitudes y elevaciones altas. Por el contrario, los árboles de *micorrizas arbusculares* (*endomycorizas*) dominan en bosques tropicales cálidos estacionales, es decir, en biomas en los que los climas estacionales cálidos y húmedos aumentan la descomposición. Finalmente, los árboles en simbiosis con *fijadores de nitrógeno* son más abundantes en biomas áridos con suelos alcalinos y temperaturas máximas altas.

Si tenemos en cuenta las dos principales causas de pérdida de los RGF en la Argentina (desmonte e incendios) y la distribución de las siete ecorregiones forestales del país, se podría asumir razonablemente que el país pierde diversidad genética de endomicorrizas y bacterias fijadoras de nitrógeno esencialmente por desmonte y de ectomicorrizas, principalmente, por incendios forestales de alta intensidad.

Toda esta gran diversidad del microbioma forestal ha sido muy poco estudiada. Sabemos que se pierde con la pérdida de los bosques y que resulta imprescindible para su adaptación, crecimiento y evolución. La REDGEN del INTA considera la importancia de la conservación de los recursos genéticos microbianos como uno de los elementos centrales de los ecosistemas boscosos en particular y de los agroecosistemas en general, por lo que una de sus subredes está orientada especialmente a la conservación y manejo sostenible de esos organismos.

Rhizobacterias

Existe gran diversidad de microorganismos capaces de colonizar las raíces de especies forestales nativas de la familia *Fabaceae* (*Leguminosae*) en la región chaqueña argentina y establecer una simbiosis mutualista benéfica, que implica la inducción en las raíces de estructuras nuevas llamadas

nódulos. En ellos, ocurre la fijación biológica de nitrógeno, que es un proceso de adquisición de N₂ desde el aire por actividad específica de estas rizobacterias y su transformación en compuestos asimilables por la planta.

Se han encontrado nódulos en leguminosas arbóreas nativas del género *Acacia* (*A. aroma*, *A. bonariensis* y *A. tucumanensis*) (Rothschild 1968). Se aislaron también bacterias de los nódulos de tres especies nativas como *Poecilanthe parviflora* (lapachillo), *Vachellia caven* (espinillo), y *Enterolobium contortisiliquum* (timbó) (Alcántara *et al.* 2020). Durante el año 2022, se observó en viveros y en bosques nativos nodulación en *Parasenegalia visco*, en *Prosopis caldenia* y en *Geoffrea decorticans*. Esta última especie fue considerada durante muchos años no fijadora de nitrógeno (Peticari 2022, comunicación personal) (Figura 5).



Figura 5. Nodulación observada en plantines de *Parasenegalia visco* (foto: A. Peticari).

Rizobios específicos para *Prosopis alba*, *P. flexuosa* y *P. ruscifolia*

Las leguminosas arbóreas suelen ser especies pioneras en estadios tempranos de la sucesión secundaria ecológica, debido a su asociación con los rizobios fijadores de nitrógeno. Se ha visto que dicha asociación puede promover además la tolerancia de las plantas a condiciones de salinidad principalmente por la mayor incorporación de nutrientes y la actividad antioxidante (Ren *et al.* 2016, Fall *et al.* 2019).

En todo el Parque chaqueño (árido, semiárido y húmedo) de la Argentina se encuentran rizobacterias que fueron caracterizadas en función de patrones de marcadores moleculares y de su capacidad de tolerar restricciones hídricas y por salinidad. Se evaluó además su función en la promoción del crecimiento en los *Prosopis sp* con los que establecen simbiosis.

En la actualidad, se cuenta con una colección de rizobacterias simbióticas específicas para *Prosopis alba* (Figura 2) y *Prosopis flexuosa*, y algunos de ellos pueden ser empleados para inducir simbiosis en plantines producidos en condiciones de vivero, contribuyendo a su adaptación y desarrollo durante el trasplante a través de la fijación de nitrógeno.

El vinal –*Prosopis ruscifolia*– es una leguminosa nativa de la región chaqueña semiárida, leñosa, que se destaca por su elevada tolerancia a la salinidad y al estrés hídrico y por su capacidad de adaptarse a suelos degradados (Giménez y Moglia 2003, Meloni 2012). Esta planta, denominada *Neda-soik* en el lenguaje toba, brinda numerosos beneficios (sus hojas se utilizan como antiséptico, la madera se utiliza para leña, producción de postes y de parquet, y sus frutos de alto contenido proteico son aptos para el consumo humano y del ganado (Bernardi *et al.* 2004).

Dieciocho poblaciones diferentes (perfiles Rep-PCR) de rizobios se aislaron mediante el uso de plantas trampas en suelos provenientes del área de influencia de las raíces de *Prosopis ruscifolia* crecidos en la región occidental del Parque

chaqueño (Fig. 6A). El análisis de las secuencias ribosomales *16S ARNr* mostró que los aislamientos se distribuyen equitativamente en los géneros *Ensifer* y *Mesorhizobium* (Fig. 6B). Los aislamientos del género *Mesorhizobium* se agrupan en dos *subclusters*, soportados por un *bootstrapping* ≥ 94 %, relacionados con las especies *M. chacoense* y *M. sanjuanii*, respectivamente. En el género *Ensifer*, la mayoría de los aislamientos forman un *subcluster* (*bootstrapping* 100 %) con las especies *E. meliloti* y *E. numidicus*, mientras que dos aislamientos se separaron relacionándose con las especies *E. teranga* y *E. sesbaniae*, respectivamente. La predominancia de los géneros *Mesorhizobium* y *Ensifer* en los rizobios asociados a *P. ruscifolia* concuerda con lo observado en varias especies de *Acacia* (Ba *et al.* 2002) y *Prosopis* (Fall *et al.* 2019), incluyendo a *P. alba* en el Parque chaqueño argentino (Velázquez *et al.* 2001; Chávez Díaz *et al.* 2013).

Se ha observado que la salinidad afecta en menor grado a los rizobios, en comparación con los efectos observados en sus plantas hospedadoras o en el establecimiento de la simbiosis, particularmente en la formación del nódulo y la fijación de nitrógeno (Zahran 1999). La comunidad de rizobios aislada de *P. ruscifolia* fue capaz de crecer en condiciones de salinidad (4 % NaCl) y un amplio rango de pH (pH4 a pH11) y temperatura (hasta 40 °C), demostrando una marcada tolerancia a los estreses que se pueden presentar en su ambiente. En *Ensifer* se observa mayor tolerancia al pH –crecen a pH 12–, mientras que en *Mesorhizobium* los aislamientos son capaces de crecer hasta 45 °C y en algunos casos hasta 47 °C (Fig. 6 C-E). Particularmente, uno de los aislamientos, relacionado con *E. meliloti*, es capaz de crecer en altas condiciones de salinidad (7,5 % NaCl), pH y temperatura (47 °C), presentando un excelente potencial para el desarrollo de estrategias de recuperación de suelos salinos basadas en el uso de especies forestales nativas multipropósitos.

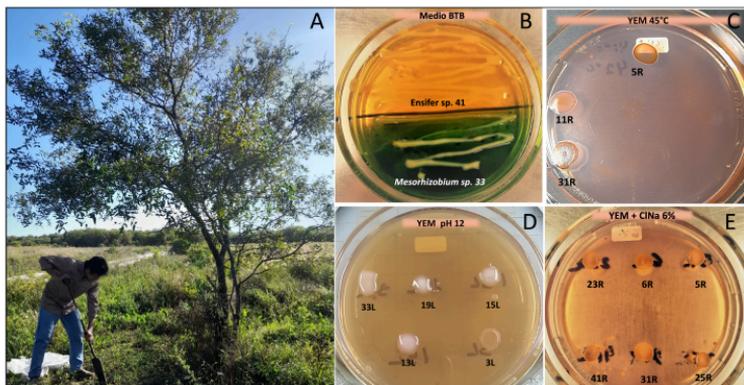


Figura 6. Toma de muestra en suelos del área de influencia de las raíces de vinales crecidos en la región occidental del Parque chaqueño (A). Crecimiento de aislamientos de *Ensifer* y *Mesorhizobium* en medio azul de bromo timol (B). Crecimiento de los aislamientos en alta temperatura (C), pH (D) y salinidad (E). Fotos de los autores.

Hongos micorrícicos

La extensa red de micelio formada por los hongos formadores de micorrizas es capaz de alcanzar lugares hasta donde las raíces no llegan, por lo que aumentan la capacidad de absorción de la planta, tanto de agua (hasta en un 60 %) como de nutrientes (P, N, K, Na, Zn); estos beneficios se hacen especialmente relevantes en zonas con suelos pobres o durante periodos de estrés por sequía. Además, el hongo produce sustancias defensivas que protegen a la planta contra patógenos. Sin las micorrizas, las plantas no podrían haber llegado a colonizar de forma tan efectiva el medio terrestre.

Basados en las características de la infección y en los microorganismos que las establecen, a los efectos prácticos, se distinguen dos grandes tipos de micorrizas: las ectomicorrizas y las endomicorrizas. Los hongos micorrícicos tienen una gran importancia ecológica y económica para las especies arbóreas. La micorrización ocurre de forma natural, pero también puede realizarse artificialmente con ciertas especies de interés, dirigiendo este proceso hacia un mejor establecimiento y

aprovechamiento de las plantaciones forestales. De esta manera, la planta micorrizada en vivero está mejor preparada para los primeros estadios en campo y podrá estar asociada a hongos productores de setas comestibles. La combinación de la fertilización e inoculación con hongos micorrícicos nativos se presenta como una estrategia efectiva ya que promueve el crecimiento en diámetro, altura y número de hojas, lo que permitiría reducir el empleo de fertilizantes en la producción en vivero. Este uso tan beneficioso debería ser tenido en cuenta para la conservación de los recursos genéticos de estos hongos.

Las ectomicorrizas (ECM) generan una simbiosis con el importante grupo de especies de coníferas de la familia *Pinaceae* y latifoliadas de las familias *Fagaceae*, *Nothofagaceae*, *Betulaceae*, *Tiliáceae* y *Salicáceae*, que corresponden al 3-5 % de las plantas superiores que predominan en ecosistemas forestales con gran acumulación de materia orgánica, ubicados en latitudes y altitudes intermedias, de clima templado-frío. Es frecuente el uso de estas ectomicorrizas en viveros de diferentes especies del género *Pinus* (Nouhra y Becerra, 2001) y de algunas especies nativas (*Nothofagus nervosa*) (Fernández *et al.* 2013 y 2015).

En la Argentina, en la restauración de ambientes degradados, este tipo de hongos se emplea para incrementar la supervivencia y el crecimiento de los árboles o para la producción de esporocarpos comestibles/medicinales, como, por ejemplo, los de las especies del género *Morchella* (morrillas) de los bosques nativos de *Nothofagus* y *Austrocedrus* en los bosques andino-patagónicos o del género *Suillus* en las plantaciones de pinos patagónicas. También fueron encontrados árboles micorrizados con ectomicorrizas en aliso del cerro, *Alnus acuminata*, en los bosques de Yungas (Becerra *et al.* 2005a) y en el Parque Nacional Calilegua (Argentina) (Becerra *et al.* 2005b, Becerra *et al.* 2009). Además, se ha demostrado la presencia de ectomicorrizas en varias especies del género *Nothofagus* (Fernández *et al.* 2013 y 2015) y de endomicorrizas arbusculares nativas en especies del género *Prosopis* (Sagadin *et al.* 2018, Sagadin 2019) (Figura 7) y en *Austrocedrus chilensis* (Fontenla *et al.* 1991) y *Araucaria araucana* (Diehl y Fontenla 2010), coníferas de la región del bosque

andino patagónico. Por su parte, el único sauce nativo de la Argentina, el *Salix humboldtiana*, presenta un comportamiento dual en cuanto a presencia de micorrizas, mostrando ectomicorrizas específicas y endomicorrizas vesículo-arbusculares (Lugo *et al.* 2012).

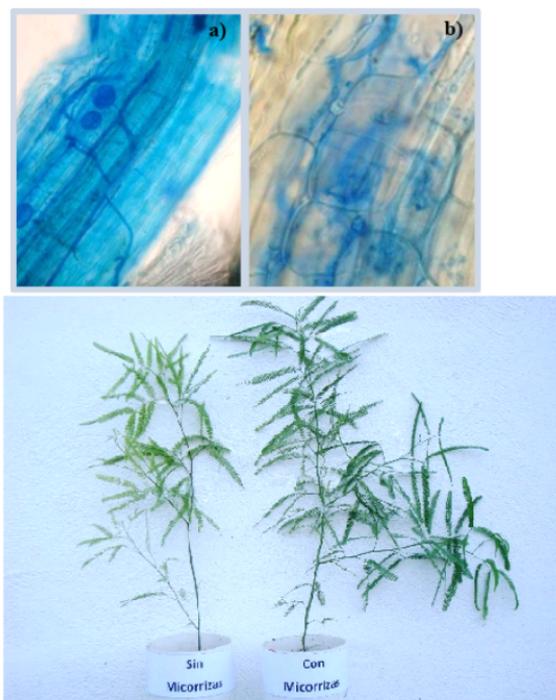


Figura 7. Hongos micorrícicos arbusculares (HMA) en plantas de algarrobo. Arriba: raíces micorrizadas de plantines de algarrobo blanco; a) hifas y vesículas b) arbuscúlos. Abajo: efecto de la inoculación con HMA sobre el crecimiento inicial de *Prosopis alba* (fotos: M. Sagadin).

Además, se ha registrado la presencia de micorrizas arbusculares en la Argentina en *Schinopsis haenkeana* (orco quebracho) y *Schinopsis brasiliensis* (Fracchia *et al.* 2009, Pagano y Cabello 2011). Estudios realizados sobre diversi-

dad de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) asociados a diferentes especies de árboles maderables y no maderables han demostrado que existe una amplia gama de morfoespecies de HMA asociados a la rizosfera de estos árboles (Chaiyasen *et al.* 2017, Geoffroy *et al.* 2017), lo que sugiere que los HMA pueden ser utilizados en especies arbóreas o arbustivas en forma de biofertilizantes, en plantas con cualquier tipo de reproducción por semilla, vegetativa o por producción *in vitro*, constituyéndose en una alternativa valiosa para solucionar problemas de propagación, aclimatación y nutrición de las especies, permitiendo establecer sistemas de producción más eficientes, precoces y productivos, que contribuyen con la sostenibilidad porque requieren una menor aplicación de insumos fertilizantes, riego y pesticidas, con sus respectivas reducciones en costos de insumos y mejoras en la eficiencia en el establecimiento y producción en sistemas forestales.

Microbioma en algunas especies forestales introducidas

Se sabe que las plantas se encuentran colonizadas internamente por una comunidad diversa de bacterias, arqueas, hongos y protozoos. El interior de las plantas constituye un ambiente protegido en comparación con el suelo: la menor competencia por nutrientes, la protección de condiciones ambientales externas y la interacción directa con la planta confieren una ventaja ecológica a los endófitos (Hallmann *et al.* 1997). A su vez, este “microbioma interno” desempeña un rol clave en el crecimiento, adaptación y diversificación de las plantas. La mayoría de la información disponible sobre bacterias endofíticas proviene de especies de importancia agrícola, predominando los estudios relacionados con arroz (Chaintreuil *et al.* 2000), maíz (Szilagyi-Zecchin *et al.* 2014), caña de azúcar (Rosenblueth *et al.* 2004), soja (Kuklinshy-Sobral *et al.* 2005) y maní (Sobolev *et al.* 2013). Por el contrario, la información acerca de la comunidad endofítica en

especies forestales es limitada, lo que representa un potencial interesante dado que los árboles pueden proporcionar circunstancias ecológicas únicas para las bacterias endófitas, que pueden no verse en plantas de cultivo que son en su mayoría anuales y se cultivan en áreas bastante restringidas (Izumi 2011).

El paraíso (*Melia azedarach* L.), originario de la región del Himalaya, es un árbol muy plantado en el noreste y centro de la Argentina, en especial en la provincia de Misiones, donde la variedad gigantea adquiere un mayor crecimiento que el paraíso común. Presenta excelente adaptabilidad a distintos tipos de suelo y condiciones climáticas, tiene un rápido crecimiento en zonas tropicales y subtropicales y es altamente resistente al ataque de insectos (Mangieri *et al.* 1977).

Las bacterias endofíticas cultivables de paraíso son predominantemente proteobacterias, particularmente de los órdenes *Pseudomonadales*, *Enterobacteriales* y *Burkholderiales*, mientras que los *Firmicutes* se encuentran principalmente representados por el orden *Bacillales*. Estas bacterias muestran un alto potencial relacionado con actividades de promoción del crecimiento vegetal (PGP), siendo las actividades más comunes la solubilización de P y la producción de AIA, encontradas en el 97 % y el 89 % de los aislamientos, respectivamente, mientras que la actividad fijadora de N presenta menor frecuencia (38 %). Actividades como la producción de sideróforos (moléculas portadoras de hierro) (60 %), el antagonismo bacteriano (38 %) y la actividad de ACC desaminasa (15 %) presentan una distribución desigual entre órdenes. La producción de sideróforos se encuentra principalmente en *Burkholderiales* y *Pseudomonadales*, mientras que la actividad ACC desaminasa se observa mayormente en el orden *Burkholderiales*, con máxima actividad en los géneros *Variovorax*, *Paraburkholderia* y *Burkholderia*. La actividad antagónica, ensayada frente a seis bacterias fitopatógenas, se observa principalmente en aislamientos de los

géneros *Pseudomonas*, *Burkholderia* y *Kosakonia* (López *et al.* 2017, Tedersoo *et al.* 2018).

Cinco de estas bacterias PGP eficientes –*Bacillus sp* A101, *Burkholderia sp* M55, *Pseudomas sp* A116, *Pseudomonas sp* A60 y *Cupriavidus sp* N1– fueron capaces de promover el crecimiento de plantas de paraíso en condiciones de invernáculo, observándose incrementos en el contenido de clorofila b (178 %), área foliar (149 %), área foliar específica (65 %), peso seco de hojas (58 %) y peso seco total (52 %) con respecto al testigo.

En *Eucalyptus globulus* se encuentra *Azospirillum brasilense* Az39 (Figura 8), que posee un efecto beneficioso en la tasa de germinación y el crecimiento en diferentes procedencias de la especie. El uso de formulaciones a base de *A. brasilense* es una estrategia prometedora para el manejo de *Eucalyptus* dentro del vivero y es importante señalar que es un procedimiento económico y sencillo.



Figura 8. Efecto de la inoculación de *Azospirillum brasilense*. (A) sobre la emergencia de semillas de *Eucalyptus globulus*. A la izquierda: control. Derecha: inoculado. (B) sobre el crecimiento inicial en condiciones controladas. A la Izquierda: control sin tratamiento. Derecha: inoculado. Fotos: Mariana Puente.

