

# Quebracho

**Revista de Ciencias Forestales**

Publicación anual, editada por la Facultad de Ciencias Forestales  
de la Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina.

Av. Belgrano (S) 1912 – 4200 Santiago del Estero, Argentina. Tel. +54-385-450-9550 Fax. 54-385-439-5550  
E-mail: revistaquebracho@unse.edu.ar http://fcf.unse.edu.ar/index.php/quebracho-revista-de-ciencias-forestales/

Diciembre 2022

Volumen 30 (1,2)

## Comité editor interno

Equipo Editor Principal

*Dr. Miguel Sarmiento*  
*Esp. Ing. Ind. Forestales Myriam Ethel Ludueña*  
*Téc. Fabián Zubrinic*

Editores Asociados titulares

*Dra. Juana Graciela Moglia*  
*Dra. Sandra Josefina Bravo*  
*Dr. Diego Meloni*

Editores Asociados suplentes

*Dr. Carlos Turc*

## Comité editor externo

*M.Sc. Manuel Chavesta Custodio / UNALM. Lima, Perú.*  
*Dra. Maria Elena García Delgado / UE. Cáceres, España.*  
*Dra. Maria Teresa Sobrero / UNSE. Santiago del Estero, Argentina.*  
*Dra. Sonia C. Calvo / UNC. Córdoba, Argentina.*  
*M.Sc. Walter I. Abedini / UNLP. La Plata, Argentina.*  
*Dra. Graciela I. Bolzón / UFP. Curitiba, Brasil.*  
*M.Sc. Juan Adolfo López / EEA INTA Bella Vista. Corrientes, Argentina.*  
*Dr. Sigfredo Ortuño Pérez / UPM. Madrid, España.*  
*Dr. Santiago Barros Asenjo / INFOR. Santiago, Chile.*  
*Dr. Carlos Sanqueta / UFP. Curitiba, Brasil.*  
*Dr. Manuel Moya Ignacio / UE. Plasencia. España.*

Revisión Inglés

*M. Sc. Ing. Ramón Ledesma*

Asistente editorial

*Tec. Rocío Marianella Ledesma Cáceres*

## Edición

Facultad de Ciencias Forestales  
Universidad Nacional de Santiago del Estero  
República Argentina

## Financia



**FACULTAD DE  
CIENCIAS FORESTALES**  
*Ing. Néstor René Ledesma*

El objetivo de Quebracho es difundir trabajos científicos, notas técnicas y comunicaciones referidos a temas de interés en las Ciencias Forestales y cuyo ámbito geográfico sea, en orden de prioridad: el Parque Chaqueño Seco, Argentina, América Latina y el Mundo.

Se invita a los investigadores forestales a publicar en *Quebracho*. Las contribuciones serán sometidas a un sistema de arbitraje que consiste en el examen de las mismas por dos referentes como mínimo, quienes juzgarán su aptitud para ser publicadas y harán sugerencias u observaciones en caso de revisión. Los jueces son investigadores de reconocida trayectoria en diferentes centros de la República Argentina, América y Europa.

Incorporada por **CONICET** y **CAICYT** (Centro Argentino de Información Científica y Tecnológica) al núcleo básico de Revista Científicas de Argentina en el rubro Ciencias Agrarias, Ingeniería y Materiales. Portal **SciELO** (Scientific Electronic Library Online)

Quebracho está indizada por **Forestry Abstracts** y **Forest Products Abstracts**.

Ha sido calificada por el **Centro Argentino de Información Científica y Tecnológica** como publicación periódica de primer nivel y como tal está incluida en el catálogo **LANTINDEX**.

Quebracho. Revista de Ciencias Forestales ha sido aprobada para ingresar a la Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal (**Red ALyC**), ya que cumple con los criterios de calidad evaluados.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.



La revista Quebracho adhiere a la declaración de DORA sobre la evaluación de la investigación.



Sello DOAJ: Promoviendo las mejores prácticas de publicación en acceso abierto

Foto de tapa: Fabian Zubrinic

## REFERENTES

M. Sc. **Adriana Gómez** / INTA EEA Santiago del Estero, Argentina  
**Dr. Patricio Mac Donagh** / Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Misiones, Argentina  
**Dra. Liliana Diodato** / Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina  
**Dr. Ing. Forestal Diego Meloni** / Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina  
**M. Sc. Ing. Forestal Lidia Mirta López Cristóbal** / FCF, Universidad Nacional de Misiones, Argentina  
**Dr. Mauricio Ponce Donoso** / Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Talca. Talca, Chile  
**Dra. Pamela Villalba** / CICVyA - INTA, Hurlingham, Buenos Aires, Argentina  
**Dr. José Omar Bava** / Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico (CIEFAP). Esquel. Chubut, Argentina.  
**Ph.D. Olga Patricia Pinzón.** / Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá. Colombia  
**Dr. Eng. Diego M. Yepes Maya** / Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Brasil  
**Dra. Ing. Romina Ingrid Romaniuk** / INTA CONICET. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Buenos Aires. Argentina  
**Dr. Luis Fornés** / INTA EEA - Famaillá. Tucumán, Argentina  
**Dra. Patricia Hernández** / Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina  
**Prof. Dr. Flávio Augusto de Oliveira Garcia** / UNICENTRO, Guarapuava-PR, Brasil.  
**Dra. Gabriela Cardona** / Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina  
**Dr. Héctor Alejandro Keller** / IBONE CONICET. Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). Corrientes, Argentina  
**Dra. María Teresa Sobrero** / Facultad de Agronomía y Agroindustrias, UNSE. Santiago del Estero, Argentina  
**Mg. Manuel Palacio** / Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina  
**M. Sc. Ing. Forestal Pabla Yolanda Genes** / EEA INTA Bella Vista, Corrientes, Argentina  
**Dr. Federico Létourneau** / EEA INTA Bariloche, Río Negro, Argentina  
**M. Sc. Ing. María Virginia Inza** / INTA Castelar, Buenos Aires, Argentina  
**M. Sc. Ing. Forestal Gerardo Denegri** / FCAYF, UNLP. La Plata, Buenos Aires, Argentina  
**Mag. Ing. Forestal Norma Vera** / Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Misiones, Argentina  
**M. Sc. Ing. Forestal Gustavo Salvador** / UNPSJB Sede Esquel. Esquel, Chubut, Argentina  
**Dra. Susana Saavedra** / Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina  
**Dr. Lucas Cosci** / EDUNSE. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina  
**M. Sc. Ing. Silvia Ana Carla Cravero** / Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta, Argentina  
**Dr. Ignacio Aspiázu** / Universidade Estadual de Montes Claros. Janaúba. Brasil  
**M. Sc. Verónica Parra** / Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina  
**Dr. José Antonio Díaz Zirlopo** / Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina  
**Dra. Ing. Forestal Natalia Raffaeli** / Facultad Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Buenos Aires, Argentina  
**M. Sc. Ing. Forestal Hugo Fassola** / Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) E.E.A. Montecarlo, Misiones, Argentina  
**Dra. Liliani Tiepolo** / Universidade Federal do Paraná, Setor Litoral, Marinhos PR - Brasil  
**Dr. Ing. Forestal Héctor Gonda** / CIEFAP y Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Esquel, Chubut, Argentina  
**Dra. Ana Juan** / Universidad de Alicante. España  
**Dr. Samuel Rivera** / Utah State University. Logan. Utah. Estados Unidos  
**Dr. Alejandro Friedl** / Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Misiones, Argentina  
**Dra. Renita Betero Corrêa Frigeri** / Universidad Federal de Rondonia. Brasil.  
**Dr. Pablo Aceñolaza** / Universidad Nacional de Entre Ríos, Entre Ríos, Argentina.  
**M. Sc. Ing. Analía Anriquez** / Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina.  
**M. Sc. Ing. Forestal Ernesto Crechi** / INTA Montecarlo, Misiones, Argentina  
**Dra. Marta Boetto** / Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UNC, Córdoba, Argentina  
**Dr. Oscar Alberto Aguirre-Calderón** / Facultad Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León, México  
**Dra. Ing. Gabriela S. Lucero** / Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo (UNCuyo), Mendoza, Argentina  
**Dr. Diego López Lauenstein** / Instituto Fisiología y Recursos Genéticos Vegetales. INTA Córdoba, Argentina  
**Dra. Ing. Silvia Guillén** / Facultad de Agronomía y Zootecnia, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina  
**Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos** / Universidade Federal do Paraná (UFPR-Br), Curitiba, Brasil  
**Dra. Lcda. Ecología Carla Rueda** / Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina  
**Dr. Ing. Forestal Juan Manuel Cellini** / Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina  
**M. Sc. Ing. Claudia Gallardo.** Facultad Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Jujuy, Argentina  
**Dr. Carlos Martínez** / Universidad Federal de São Paulo, Brasil  
**Dra. Natalia Macedo Ivanaukas** / Instituto Florestal do Estado de São Paulo, Universidade do Estado de Mato Grosso, São Paulo, Brasil  
**Dr. Luis Mario Chauchard** / Asentamiento Universitario San Martín de los Andes, Universidad Nacional del Comahue, Argentina  
**Dra. Cecilia Andrea Gomez** / Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de la Patagonia “San Juan Bosco”, Argentina  
**Dr. Hugo Acosta** / Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina  
**Mag. Ing. Forestal Teresa Suirezs** / Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Misiones, Argentina  
**Dr. Gabriel Loguercio** / Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico (CIEFAP) y UNPSJB. Esquel. Chubut  
**Dra. Ana Haide Ladio** / INIBIOMA / CONICET. Universidad Nacional del Comahue. Neuquen, Argentina  
**Dr. Miguel Sarmiento** / Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina  
**Dra. Silvana Nisgoski** / Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil  
**Dr. José Corronca** / Universidad Nacional de Salta. Argentina  
**Dra. Ana María Cenzano** / Centro Nacional Patagónico (CENPAT) – CONICET. Chubut, Argentina  
**Dr. Paulo Ricardo Gherardi Hein** / Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil  
**Dra. Romina Cavagnaro** / Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina  
**Dr. Pablo Peri** / Universidad Nacional de la Patagonia Austral - UTN - CONICET, Argentina  
**Dr. Néstor Javier Mancera Rodríguez** / Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín, Colombia  
**Dr. Hugo Raul Zerda** / Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina  
**Dra. María de los Ángeles Basualdo** / Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina  
**Dr. Damián C. Castro** / Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral (UNL), Santa Fe, Argentina  
**Dr. Pablo Villagra** / IANIGLA - CONICET y Facultad de Ciencias Agrarias, UNCuyo, Mendoza, Argentina  
**Dra. Cecilia Curis** / Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Litoral, Esperanza, Santa Fe, Argentina  
**Dr. Martín Gonzalo Sirombra** / Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán, Argentina  
**Magister Ing. Forestal María de los Ángeles García** / INTA EEA Concordia, Entre Ríos, Argentina  
**Mag. Ing. Forestal Obdulio Pereyra** / Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Misiones, Misiones, Argentina  
**Dr. Carlos Sanquetta** / Universidad Federal de Paraná (UFPR). Curitiba. Brasil  
**Esp. Ing. Ind. Forestales Myriam Ethel Ludueña** / Instituto de Tecnología de la Madera, FCF, Univ. Nacional de Santiago del Estero, Argentina  
**M. Sc. Ing. Forestal Sergio Ramos** / EEA Concordia, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Concordia, Entre Ríos, Argentina

## Editorial

*Cuando abrimos una puerta de madera o nos acercamos a una mesa a trabajar, leemos un libro, consumimos miel, volcamos nuestras ideas o pensamiento en un cuaderno o en una hoja de papel, o simplemente disfrutamos de aire puro, no siempre lo relacionamos con los bosques. Sin embargo, esos y otros muchos aspectos de nuestras vidas tienen que ver con ellos llegando a tener una relación indiscutible.*

*De la misma manera cuando estudiamos a los bosques y a sus servicios con más interés para entender su esencia o lo que encierran en sí, no asociamos a que los conocimientos que podemos obtener de él están ligados indefectiblemente a las Ciencias Básicas que son el contexto que contiene las bases conceptuales desde las cuales emergen los nuevos conocimientos que nos ayudan a crecer como sociedad.*

*Es necesario reconocer el gran valor que revisten las ciencias básicas para la humanidad y también que una mayor conciencia mundial y fortalecimiento de su enseñanza son esenciales para lograr el desarrollo sostenible y mejorar la calidad de vida de las personas en todo el mundo.*

*Las aplicaciones de las ciencias básicas son fundamentales para lograr avances en la medicina, la industria, la agricultura, la silvicultura, los recursos hídricos, la planificación energética, el medio ambiente, las comunicaciones y la cultura. Es necesario que las ciencias básicas y las tecnologías emergentes respondan a las necesidades de la humanidad para dar acceso a la información y mejorar la salud y el bienestar de las personas, las comunidades y las sociedades.*

*Con esa idea la FAO proclama el año 2022 Año Internacional de las Ciencias Básicas para el Desarrollo Sostenible. No podemos imaginar un desarrollo sostenible sin ciencias básicas. Éstas, sirven para comprender y entender el comportamiento de la naturaleza y poder representar y describir con ecuaciones, modelos y fórmulas su desempeño y poder, con esta información, predecir y analizar el comportamiento futuro de los ecosistemas.*

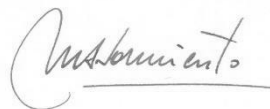
*También las Naciones Unidas designó al 2022 como Año Internacional del Desarrollo Sostenible de las Montañas. En esa misma línea los bosques siguen teniendo un rol fundamental y clave en los procesos de conservación asociado a la producción sostenible en las montañas. No solamente apuntan a atender las necesidades de la sociedad con la producción de bienes y servicios sino a adoptar medidas que mitiguen el cambio climático en estos territorios. El desarrollo sostenible también apunta a usar adecuadamente las montañas ya que son una fuente importante de agua, energía, diversidad biológica, recursos vitales, minerales, productos forestales y agrícolas, y medios de esparcimiento además de ser el ámbito donde se conservan costumbres y hábitos de pueblos indígenas e identidades culturales que ayudan a conservar la naturaleza.*

*A pesar de todas las características y riquezas que encierra una montaña, sigue siendo un ecosistema frágil por los riesgos de erosión cuando se deforesta, peligros de incendios cuando no se gestiona adecuadamente su entorno, y objeto de degradación cuando se realizan cambios de uso de los suelos.*

*El 2022 también ha sido designado como Año Internacional de la Pesca y la Acuicultura Artesanales. Esas actividades están fuertemente relacionadas a lo que se acaba de describir anteriormente. Es decir, que de la salud de los ecosistemas montañosos, que son el sitio de fuentes de agua, dependen la calidad de la pesca en ríos y acuicultura artesanales, y por consiguiente la alimentación de muchos pueblos.*

*No hace falta profundizar más en la reflexión para darnos cuenta que cuidando los bosques cuidamos nuestros alimentos y hábitos culturales asociados a la naturaleza.*

*En todo este contexto nuestra Revista Forestal Quebracho de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Santiago del Estero, hace sus aportes con notas técnicas y artículos científicos desde el ámbito forestal y ambiental. Ello permite acrecentar los conocimientos y enriquecer las acciones basadas en la gestión adecuada de los recursos naturales. En esta línea, las ciencias básicas juegan un rol importante al ser incorporadas en los análisis de las correctas gestiones de ecosistemas montañosos en pos de mejorar actividades como la acuicultura y pescas artesanales en diversos sitios de nuestro país.*



Dr. Miguel Sarmiento  
Equipo Editor  
Revista Quebracho  
Santiago del Estero, diciembre de 2022

Las opiniones vertidas por los autores son de su exclusiva responsabilidad y no necesariamente reflejan los criterios ni la política de la Facultad de Ciencias Forestales. La mención de determinados nombres o modelos comerciales no implica aprobación ni recomendación por parte de la Facultad.

Cambio de denominación: A partir del año 2009 la publicación electrónica de la Revista Quebracho (ISSN 1851-3026) consta de dos fascículos. Asimismo, se reemplaza la denominación “Número” por “Volumen”. Ej.: Volumen 17 (1) 2009, Volumen 17 (2) 2009. La numeración de páginas será consecutiva. En tanto la versión impresa (ISSN 0328-0543) contendrá ambos fascículos. Ej.: Volumen 17 (1,2) 2009. Dicho cambio obedece a una necesidad de adecuación a nuevas políticas de publicación electrónica bajo el sistema SciELO.

Para canje de ejemplares y presentación de trabajos, dirigirse a la Secretaría de la Comisión de Edición de la revista *Quebracho*, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Av. Belgrano (S) 1912, 4200 Santiago del Estero, Argentina. Tel.: 54-385-422-1787, Fax: 54-385-439-5550, E-mail: [revistaquebracho@unse.edu.ar](mailto:revistaquebracho@unse.edu.ar)  
Web site: <http://fcf.unse.edu.ar/index.php/quebracho-revista-de-ciencias-forestales/>  
Tiraje: 300 ejemplares (solo para canje).

TRABAJO CIENTÍFICO

## Caracterización de la biodiversidad de la regeneración natural de especies perennes en plantación de *Prosopis alba* Griseb.

*Biodiversity characterization of the natural regeneration of perennial species in plantation of Prosopis alba Griseb.*

Rodríguez C. D.<sup>1</sup> y V. R. Pérez<sup>2</sup>

Recibido en mayo de 2021; aceptado en marzo de 2022

### RESUMEN

El presente estudio se realizó en plantación de *Prosopis alba* de 15 años, localizado en cercanías de Tres Lagunas (provincia de Formosa), con el objetivo de caracterizar la biodiversidad de la regeneración natural de especies perennes, evaluando los efectos del manejo silvícola, la cercanía de fragmentos de bosque nativo y la presencia del ganado en el sistema. Los datos proceden de muestras de regeneración de tres clases de tamaños, obtenidas en tres zonas de la plantación (con moderada y leve intervención silvícola y testigo, sin ninguna intervención) y del bosque nativo adyacente. Se evaluó la diversidad alfa a través de los índices de Margalef, Shannon-Wiener y dominancia de Simpson y diversidad beta a partir del coeficiente de similitud de Sørensen. La regeneración natural sucedió en todas las zonas de la plantación, sin evidenciarse efectos de los tratamientos silvícolas sobre la biodiversidad. Se identificaron 15 especies, registrándose 6 especies comunes a las tres zonas (*Prosopis nigra*, *Maclura tinctoria*, *Copernicia alba*, *Celtis tala*, *Achatocarpus praecox* y *Austroeupatorium inulifolium*). Los valores calculados para los índices de biodiversidad refieren en todos los casos que la regeneración natural de las zonas estudiadas presenta baja diversidad y sin que haya dominancia de alguna especie. Se determinó mayor abundancia en las zonas testigo y de leve intervención. El índice de similitud de Sørensen entre la regeneración natural de la plantación y el bosque nativo, fue de 0,73 evidenciando alta coincidencia.

**Palabras clave:** biodiversidad, índice, competencia, dinámica, sucesión.

### ABSTRACT

The present study was carried out on a 15-year-old *Prosopis alba* plantation, located near Tres Lagunas (Formosa province), with the objective of characterizing the biodiversity of perennial species' natural regeneration by evaluating the effects of silvicultural management, the proximity of native forest fragments and the presence of livestock in the system. The data come from regeneration samples of three size classes obtained in three plantation areas (moderate and slight silvicultural intervention and control, without any intervention) and from the adjacent native forest. The alpha diversity was evaluated through the Margalef, Shannon-Wiener and Simpson dominance indices while the beta diversity using the Sørensen's coefficient of similarity. Natural regeneration occurred in all the areas of the plantation, without evidence of effects on biodiversity due to the silvicultural treatments. Fifteen species were identified, being six the species common to the three zones (*Prosopis nigra*, *Maclura tinctoria*, *Copernicia alba*, *Celtis tala*, *Achatocarpus praecox* and *Austroeupatorium inulifolium*). The values calculated for the biodiversity indices refer in all cases that natural regeneration of the studied areas shows low diversity without any dominant species. Higher abundance was determined in the control and mild intervention areas. The Sørensen's similarity index between the natural regeneration of the plantation and the native forest was 0.73, evidencing high coincidence.

**Key words:** species richness, abundance, index, competence, succession.

<sup>1</sup> Ing. Ftal. Facultad de Recursos Naturales, Universidad Nacional de Formosa. Av. Dr. Luis Gutnisky 3200, (3600) Formosa, Argentina. E-mail: charlier023@gmail.com

<sup>2</sup> Prof. Tit. Silvicultura de Bosques Implantados. Facultad de Recursos Naturales, Universidad Nacional de Formosa. Av. Dr. Luis Gutnisky 3200, (3600) Formosa, Argentina. E-mail: victorforestal8@gmail.com

## 1. INTRODUCCIÓN

El establecimiento de ejemplares leñosos de especies nativas en las plantaciones representa un proceso altamente dinámico y consecuentemente es esperable encontrar diferentes patrones de composición y riqueza específica, en especial si se analizan individuos de diferentes tamaños (Ritter, 2017). La diversidad de esta regeneración se puede incrementar cuando las forestaciones se establecen en áreas degradadas por el uso agrícola o ganadero prolongado, conformando un ejemplo de restauración pasiva (Lugo, 1992). El proceso dinámico bajo el dosel de leñosas genera diversas condiciones microclimáticas permitiendo que plántulas de diferentes especies vegetales puedan establecerse (López y Ortuño, 2008).

Las especies de algarrobos, *Prosopis* sp., son conocidas por su rol de facilitadoras en los procesos de sucesión en bosques naturales. Esta capacidad conocida como síndrome nodriza se entiende como el efecto positivo de una especie o cierto tipo de vegetación sobre el crecimiento, supervivencia y desarrollo de otras especies, en comparación con unas condiciones existentes en el ambiente exterior (Vargas Ríos, 2011). Generan heterogeneidad espacial influyendo en la distribución de los estratos arbustivos y herbáceos, al modificar las condiciones climáticas bajo su cobertura a través de la moderación de temperaturas extremas, disminución de evaporación, redistribución de la intensidad lumínica; el incremento de la fertilidad a través de la acumulación de nutrientes; los efectos físicos y químicos del mantillo; la provisión de perchas para el asentamiento de aves dispersoras de frutos de otras especies y la competencia por luz y agua, entre otros (Villagra, 2000). Las consecuencias sobre la vegetación dependen del resultado de la interacción de todos estos procesos y se interpreta como una síntesis de los mecanismos facilitadores y los de interferencia para cada forma de vida que intervienen en un ecosistema.

El establecimiento de las plantaciones puede disminuir la presión sobre los bosques nativos, al proporcionar productos forestales de manera más eficiente (Lindenmayer *et al.*, 2003). Por otro lado, las áreas forestadas bajo la modalidad de silvicultura extensiva conforman ambientes menos contrastantes con los bosques nativos que las áreas destinadas a la producción agropecuaria, ofreciendo mejores hábitats para diversos seres vivos (Nájera y Simonetti, 2009; Kremen, 2015) e incluso pudiendo amortiguar efectos de borde y brindar funciones de conectividad entre remanentes de bosques nativos (Brockhoff *et al.*, 2003).

En la presente investigación se estudia la capacidad de facilitación de la plantación de *Prosopis alba* para el establecimiento de especies perennes nativas. Un antecedente inmediato constituye el estudio de la regeneración natural de especies leñosas nativas realizado en una plantación de *Prosopis alba* sin manejo, localizada en el nordeste de la provincia de Formosa, que aportó evidencias sobre la dinámica y magnitud del proceso de repoblación espontánea (Rodríguez y Pérez, 2020). La biodiversidad del bosque nativo adyacente y la acción de los vectores animales presentes en el ecosistema forestal resultaron factores influyentes del proceso.

Se plantea como problemática del estudio la falta de conocimientos científicos en cuanto a si resulta determinante, y en tal caso de qué modo, la presencia de ciertos animales y las intervenciones silvícolas, sobre la regeneración natural de especies perennes nativas y su dinámica, en una plantación de algarrobo. En este contexto, se definieron como objetivos la identificación y caracterización de la biodiversidad de la regeneración natural de especies perennes en una plantación de *Prosopis alba* evaluando los efectos del manejo de la forestación, la cercanía de fragmentos de bosque nativo y la presencia de animales domésticos en el sistema.

## 2. MATERIALES Y MÉTODO

El estudio se realizó en el predio rural del Sr. Vicente Ruíz Díaz ubicado en la jurisdicción de Tres Lagunas del Departamento Pilagás de la Provincia de Formosa. La forestación analizada se encuentra en la zona ecológica denominada Zona Este, húmeda de la provincia. La precipitación anual varía de Este (1.300 mm, con un ligero a nulo déficit invernal) a Oeste (900 mm, déficit marcado en el invierno) citado por Vicentini (2020). El clima según la clasificación de Thorntwaite corresponde a un clima húmedo subhúmedo, con nulo o pequeño déficit de agua, mesotermal.

El suelo es clasificado como *EutricFluvicGleysol (clayic, salic)*. Se caracteriza por tener textura arcillosa en todo el perfil (*clayic*), el porcentaje de arcilla en la textura de los horizontes fue superior al 40 %, salino (CE= 5,5 [dS/m]) citado por Pérez *et al.* (2018).

En el 2020 año de control de la regeneración natural, la plantación de algarrobo tenía una superficie de 6,4 ha y 15 años de edad. El establecimiento de la forestación se realizó con un distanciamiento de 4 m x 4 m correspondiente a una densidad de 625 pl.ha<sup>-1</sup>. En ciertos sectores de la plantación se efectuaron intervenciones silvícolas durante los años 2014 y 2015, permitiendo que en la misma puedan identificarse las siguientes áreas de control del presente estudio:

- Área Principal:
  - zona con moderada intensidad (M.I.) de intervención silvícola, año 2014 (raleo sistemático, raleo selectivo y poda sistemática). Extracción 1,93 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>. Reducción del área basal: 27,7 %.
  - zona con leve intensidad (L.I.) de intervención silvícola, año 2014 (raleo sistemático). Extracción 1,02 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>. Reducción del área basal: 13,8 %.
  - zona sin ninguna intervención silvícola (S.I.).
- Área Complementaria: dos fragmentos adyacentes de bosque nativo identificados con los códigos BN I y BN II.

En todas las áreas se realizó relevamiento de la regeneración natural de especies perennes a través de la técnica de muestreo aleatorio, estableciéndose dos estaciones de muestreo en cada zona y área. El procedimiento de recolección de datos de la regeneración natural, variables cuantitativas discretas, consistió en el conteo de especies (previa identificación) e individuos de cada especie registrados según categoría de tamaño, en los tres escenarios del área principal (plantación) y en las porciones de bosque nativo que rodean a la misma (BN I y BN II). Adoptando la metodología utilizada por Ritter (2017), la recolección se realizó en diversas unidades de muestreo establecidas en cada estación, representadas por parcelas rectangulares concéntricas para las diversas clases de tamaño de regeneración natural, modificándose en este estudio las dimensiones de dichas parcelas.

Así, en cada estación se utilizó: 1) Una parcela de 300 m<sup>2</sup> para individuos de Categoría III, con dimensiones de 5 a 9,9 cm de DAP (diámetro medido en el fuste a 1,30 m de altura) y para palmas con una altura superior a 2 m. 2) Una parcela de 100 m<sup>2</sup> para plantas de Categoría II, con 1,0 a 4,9 cm de DAP y palmas con altura superior a 1 m y menor o igual a 2 m. 3) Cinco subparcelas de 5 m<sup>2</sup> para los individuos más pequeños, Categoría I. Incluyen plantas con altura superior a 50 cm. El límite superior en el caso de especies arbóreas fue un DAP inferior a 1 cm; palmas y especies herbáceas perennes con altura menor o igual a 1 m.

Considerando a Moreno (2001) para la determinación de la biodiversidad, diversidad alfa y beta se utilizaron los siguientes índices:

- **Riqueza de especies (S):** número total de especies.
- **Índice de diversidad de Margalef (DMg):**

$$\frac{(S-1)}{\ln N}$$

Donde:

$S$  = número de especies

$N$  = número total de individuos

En esta expresión algebraica se transforma el número de especies por muestra a una proporción a la cual las especies son añadidas por expansión de la muestra. El valor de DMg varía entre 0 (cuando hay una sola especie) y 10.

A fin de medir la importancia de la abundancia de la comunidad se recurrió al:

- **Índice de Dominancia de Simpson ( $\lambda$ ).** Manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie. Está fuertemente influido por la importancia de las especies más dominantes. Cuando más se acerque el índice al valor de la unidad habrá mayor posibilidad de dominancia de una especie y de una población; y cuanto más se acerque al valor cero, mayor es la biodiversidad del ecosistema. Como su valor es inverso a la equidad, la diversidad puede calcularse como  $D = 1 - \lambda$  (Moreno, 2001).

$$\lambda = \sum p_i^2$$

Donde:

$p_i$  = abundancia proporcional de la especie  $i$ , es decir, el número de individuos de la especie  $i$  dividido entre el número total de individuos de la muestra.

También suele utilizarse la expresión  $1 - D$ , denominado índice de diversidad de Simpson, como una medida de la abundancia relativa de las diferentes especies que componen una comunidad.

- **Índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ).** Expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra. Mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección.

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

Asume que los individuos son seleccionados al azar y que todas las especies están representadas en la muestra, adquiriendo valores entre 0 cuando hay una sola especie y el logaritmo de  $S$ , cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos.

Para medir la diversidad beta de la regeneración natural de la plantación y del bosque nativo adyacente, es decir el grado en que las muestras de estos ambientes son semejantes por las especies presentes en ellas, se comparó la biodiversidad utilizando el índice de similitud denominado **Coeficiente de Comunidad de Sørensen ( $S_s$ )** referido por Moreno (2001). El intervalo de valores para este índice va de 0, cuando no hay especies compartidas entre ambos sitios, hasta 1 cuando los dos sitios tienen la misma composición de especies.

$$S_s = \frac{2c}{(a+b)}$$

Donde:

$a$  = número de especies en muestreo A (plantación)

$b$  = número de especies en muestreo B (bosque nativo adyacente)

$c$  = número de especies en común para ambos muestreos.

Para probar la hipótesis nula de igualdad de las diversidades procedentes de las muestras de regeneración natural de las tres zonas de estudio del área de plantación se efectuaron dos pruebas al nivel de significación 0,05 a saber: 1) prueba de  $t$  (Student) para los valores de regeneración total de cada zona (suma de las plantas registradas en las tres categorías de tamaño) medidos con

el índice de Shannon; se siguió el procedimiento formulado por Hutcheson (1970) referido por Moreno (2001). 2) análisis de la varianza con fuentes de variación tratamientos (zonas de intervención silvícola) y repeticiones de cada zona, para las variables “número de especies” y “número de individuos” modificadas según la función “Raíz cuadrada”, considerando únicamente las respuestas registradas en las parcelas la categoría I (ejemplares de reclutamiento) (categoría I).

Para complementar la información de regeneración natural y contextualizar la misma, se efectuaron mediciones de radiación fotosintéticamente activa (RFA) con ceptómetro a 1 m de altura; y se caracterizó la distribución diamétrica de los algarrobos plantados y de los rodales de bosques nativos (para ejemplares mayores a 10 cm de DAP) y su composición específica, estableciéndose al azar una muestra de 1.000 m<sup>2</sup> en cada zona del Área principal (plantación) y en cada fragmento del bosque nativo.

Los datos recolectados fueron digitalizados en planilla de cálculo electrónica para su análisis estadístico en InfoStat® (2019) y posterior determinación de índices de biodiversidad con el programa PAST®.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Regeneración natural en la plantación

A la edad de 15 años los aspectos destacables del rodal implantado, en la que se desarrolla la regeneración natural de especies autóctonas, fueron: 1) Respecto de la estructura diamétrica el rango de DAP varió entre más de 5 cm (árboles totalmente dominados, oprimidos) y menor a 30 cm (árboles dominantes). 2) El diámetro medio por zona fue de 17,3 cm en zona de moderada intervención (M.I.), 14,9 cm en zona de leve intervención (L.I.) y 14,2 cm en zona sin intervención (S.I.). 3) La densidad media a los 15 años de edad según zonas de estudio fue de 381 pl.ha<sup>-1</sup> en zona M.I. con espesura normal en adyacencia a la faja de tala rasa (raleo sistemático) y espesura ligeramente excesiva en sector con raleo selectivo, 491 pl.ha<sup>-1</sup> en zona de L.I. con espesura normal en adyacencia a la faja de tala rasa (raleo sistemático) y espesura muy excesiva en sector sin intervención y 589 pl.ha<sup>-1</sup> en zona S.I. con espesura muy excesiva, teniendo más del 57 % de la densidad con individuos dominados (con DAP inferior a la media diamétrica de esta zona).

En la Tabla 1 se aporta la información referida a la biodiversidad de la regeneración natural de todas las situaciones consideradas dentro de la plantación.

En relación a la diversidad alfa y concretamente a la riqueza específica se reconocieron en total quince especies perennes, la mayoría leñosas, registrándose seis especies comunes a las tres zonas. Las cinco especies leñosas o con tallo leñoso (caranday) comunes en las tres zonas se caracterizan por tener diseminación endozoica y tres de ellas son especies ornitócoras (mora amarilla, tala y palo inta).

En Tabla 2 se presentan los índices de biodiversidad alfa determinados para la regeneración natural registrada en cada zona dentro del área principal (plantación). Los valores bajos de 0,65 a 1,21 del índice de Margalef y de 1,09 a 1,35 del índice de Shannon-Wiener indican que los ambientes evaluados son de escasa biodiversidad. Giménez *et al.* (2007) precisan que en estudios de ecosistemas efectuados en Chaco y en Formosa, estos índices variaron entre 1,2 - 3,7 y 1,5 - 3,5, respectivamente.

**Tabla 1.** Composición florística de plantas perennes de regeneración natural según zonas de intervención silvícola dentro de la plantación de *Prosopis alba*.

| Familia         | Nombre Científico                                                | Nombre Vulgar      | Zona        |
|-----------------|------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------|
| Fabáceas        | <i>Prosopis nigra</i> Griseb.                                    | algarrobo negro    | Todas       |
| Moráceas        | <i>Maclura tinctoria</i> (L.) D. Don ex Steud.                   | mora amarilla      | Todas       |
| Palmáceas       | <i>Copernicia alba</i> Morong.                                   | palma, caranday    | Todas       |
| Cannabáceas     | <i>Celtis tala</i> Gilles ex Planch.                             | tala               | Todas       |
| Achatocarpáceas | <i>Achatocarpus praecox</i> Griseb.                              | palo tinta         | Todas       |
| Asteráceas      | <i>Austroeupatorium inulifolium</i> (Kunth) R. M. King & H. Rob. | doctorcito         | Todas       |
| Bignoniáceas    | <i>Tabebuia nodosa</i> (Griseb) Griseb.                          | palo cruz          | M.I. y S.I. |
| Fabáceas        | <i>Gleditsia amorphoides</i> (Griseb). Taub.                     | espina corona      | L.I.        |
| Anacardiáceas   | <i>Schinus fasciculatus</i> (Griseb) I. M. Johnst.               | molle              | L.I.        |
| Malváceas       | <i>Sida sp.</i> (L).                                             | escoba negra       | L.I. y S.I. |
| Fabáceas        | <i>Prosopis hassleri</i> Harms.                                  | algarrobo paraguay | S.I.        |
| Fabáceas        | <i>Prosopis affinis</i> Spreng.                                  | algarrobillo       | S.I.        |
| Solanáceas      | <i>Solanum argentinum</i> Bitter & Lillo                         | cabra yuyo         | S.I.        |
| Solanáceas      | <i>Lycium morongii</i> Britton                                   | pie de cabra       | S.I.        |
| Malváceas       | <i>Malvastrum americanum</i> (L)                                 | malva americana    | S.I.        |

En principio se puede expresar que para las dos variables evaluadas (número de especies y abundancia) se observa una relación inversa entre las variables y el nivel de perturbación antrópica por intervención del dosel arbóreo. Por ello, los resultados extremos se registraron entre las zonas de moderada intervención y sin intervención silvícola. Es así que la zona de M.I. presenta apenas poco más del 50 % del número de especies y del número de plantas por unidad de superficie que el registrado en la zona S.I. La condición intermedia representada por la zona de leve intervención (L.I.), en cuanto a biodiversidad está más cercana a la zona M.I. y respecto a abundancia no presenta diferencia significativa con el valor de la zona S.I.

**Tabla 2.** Índices de biodiversidad de la regeneración natural registrada en cada zona de estudio dentro de la plantación de *Prosopis alba*.

| Índices              | Moderada Intervención | Leve Intervención | Sin Intervención |
|----------------------|-----------------------|-------------------|------------------|
|                      | M.I.                  | L.I.              | S.I.             |
| Número de especies   | 7                     | 9                 | 13               |
| Abundancia (pl/ha)   | 10366                 | 20163             | 20320            |
| Dominancia D Simpson | 0,504                 | 0,473             | 0,456            |
| Simpson 1-D          | 0,496                 | 0,527             | 0,545            |
| Shannon - Wiener H'  | 1,093                 | 1,255             | 1,345            |
| Margalef             | 0,649                 | 0,807             | 1,210            |

En Tabla 3 se presenta información de la biodiversidad para las zonas de estudio de la plantación, detallada según categorías de tamaño de la regeneración natural. Entre las especies comunes a las tres zonas se destaca “doctorcito”, única especie herbácea perenne que tiene presencia en el sotobosque de manera regular, demostrando su gran capacidad de colonización y de adaptación a diversos niveles de “sombreamiento” y competencia; y la “palma, caranday”, colonizadora de tallo leñoso, abundante y frecuente en toda la Zona Este, húmeda de la provincia de Formosa.

**Tabla 3.** Número de especies y abundancia a nivel de rodal y de grupos característicos de la regeneración natural registrada en cada zona de estudio dentro de la plantación de *Prosopis alba*.

|                                          | M.I.  |     |     | L.I.   |     |     | S.I.   |     |     |
|------------------------------------------|-------|-----|-----|--------|-----|-----|--------|-----|-----|
|                                          | I     | II  | III | I      | II  | III | I      | II  | III |
| Rodal: Número de especies                | 6     | 2   | 2   | 9      | 2   | 3   | 9      | 6   | 2   |
| Rodal: Abundancia (pl.ha <sup>-1</sup> ) | 9.600 | 700 | 66  | 19.680 | 350 | 133 | 19.520 | 700 | 100 |
| doctorcito (pl.ha <sup>-1</sup> )        | 7.200 |     |     | 13.600 |     |     | 13.440 |     |     |
| palma (pl.ha <sup>-1</sup> )             | 320   | 500 |     | 1.440  | 250 | 67  |        | 100 | 33  |
| Especies Arbóreas (pl.ha <sup>-1</sup> ) | 640   |     | 33  | 1.440  |     |     | 2.240  | 400 |     |
| Otras especies (pl.ha <sup>-1</sup> )    | 1.440 | 200 | 33  | 3.200  | 100 | 66  | 3.840  | 200 | 67  |

**Referencias: 1) Especies Arbóreas:** mora amarilla, algarrobo negro, algarrobo paraguayo, algarrobillo, espina corona y Palo cruz.  
**2) Otras especies:** tala, palo tinta, molle, escoba negra, abra yuyo, pie de cabra y malva americana.

La desagregación de los resultados permitió determinar que en la categoría de tamaño de plantas más pequeñas (Cat. I) fue donde se concentró la mayor riqueza de especies y abundancia de plantas. Vale destacar que en esta categoría se encuentran los ejemplares reclutas del sistema (plantas pequeñas de especies arbustivas o arbóreas) y también incluye a las especies perennes cuya bioforma (herbáceas) es típica de los requerimientos para esta categoría de tamaño. Es así, que en esta categoría se encuentran los ejemplares de las familias de las Solanáceas, Malváceas y Asteráceas que se observan abundantemente en el área principal.

En el estrato herbáceo la especie característica y dominante es el “doctorcito”. Razonablemente no hay registro de plantas de ninguna especie herbácea en las categorías II y III. Entre las plantas leñosas, especies arbóreas de diversas magnitudes, la tendencia es clara. La abundancia resulta inversamente proporcional a la categoría de tamaño de plantas; es decir, la menor abundancia en la categoría de mayor tamaño (Cat. III) y la mayor abundancia en la categoría de plantas pequeñas (Cat. I). La palma resultó la única especie con representación en todas las categorías de tamaño. Mientras que la mora amarilla y algarrobo negro se posicionan como las especies más importantes en el proceso de colonización.

En el análisis estadístico comparativo de los resultados de regeneración total de cada zona no se encontraron diferencias significativas en ninguna de las pruebas de  $t$  ( $\alpha = 0,05$ ). En todos los casos el valor de  $t$  obtenido  $< 1,0$  resultó mayor que el valor de  $t$  tabulado 1,96, por lo que no se rechazó la hipótesis nula de igualdad de la diversidad de la regeneración natural correspondiente a las diversas zonas de estudio del área de plantación. Igualmente en el análisis de varianza efectuado con resultados de regeneración de la categoría I utilizando la variable “número de especies, modificada”, no se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre zonas de intervención. En tanto, al considerar la variable “número de individuos, modificada” se evidenciaron diferencias estadísticas significativas a nivel de zonas de tratamientos; es así que la abundancia de la zona de Moderada Intervención resultó significativamente menor que las registradas en las otras dos zonas, las cuales (Leve Intervención y Sin Intervención) mantienen valores similares de abundancia. Los resultados consignados son parcialmente coincidentes con los informados por Rodríguez y Pérez (2020), quienes en estudio de biodiversidad de la regeneración natural de plantas perennes pequeñas (Cat. I) en plantación de algarrobo que no tuvo ninguna intervención silvícola (sin podas ni raleos), no constataron diferencias estadísticas en ninguna de las variables analizadas (número de especies y número de plantas).

### Regeneración natural en el bosque nativo

Con el propósito de una mejor comprensión y contextualización de las condiciones predominantes en las que se produjo y desarrolla la regeneración natural, a continuación, en Tabla 4 se dan referencias sobre la composición y densidad de los rodales de bosque nativo adyacente. El primer bosque nativo (BN I) resultó el más avanzado en el proceso de sucesión forestal, registrando mayor biodiversidad y desarrollo de sus ejemplares (22,3 cm de DAP medio), aunque con menor densidad (300 pl.ha<sup>-1</sup>). El segundo bosque nativo (BN II) en fase más temprana de sucesión

forestal, registró escasa biodiversidad y ejemplares de menor tamaño (18,7 cm de DAP medio), con alta densidad (540 pl.ha<sup>-1</sup>).

**Tabla 4.** Composición y densidad por clase diamétrica de los rodales de bosques nativos (BN I y BN II adyacentes a la plantación de *Prosopis alba*).

|                             | Clase Diamétrica BN I (cm) |         |         |       | Clase Diamétrica BN II (cm) |         |       |
|-----------------------------|----------------------------|---------|---------|-------|-----------------------------|---------|-------|
|                             | 10-20                      | 20,1-30 | 30,1-40 | Total | 10-20                       | 20,1-30 | Total |
| <i>Copernicia alba</i>      | 25                         | 100     |         | 125   | 230                         | 180     | 410   |
| <i>Prosopis alba</i>        | 40                         |         |         | 40    | 40                          |         | 40    |
| <i>Prosopis nigra</i>       |                            |         | 20      | 20    | 70                          | 20      | 90    |
| <i>Prosopis hassleri</i>    | 15                         |         |         | 15    |                             |         |       |
| <i>Prosopis affinis</i>     | 20                         |         |         | 20    |                             |         |       |
| <i>Maclura tinctoria</i>    |                            |         | 40      | 40    |                             |         |       |
| <i>Celtis tala</i>          | 20                         |         |         | 20    |                             |         |       |
| <i>Schinus fasciculatus</i> | 20                         |         |         | 20    |                             |         |       |
|                             | 140                        | 100     | 60      | 300   | 340                         | 200     | 540   |

Conforme a la composición florística y abundancia de especies de los fragmentos de bosques nativos analizados, en los que se destacan palmas y algarrobos, estos ecosistemas encuentran correspondencia con la fase inicial del tipo forestal de bosque en formación (Hampel, 1997; Cabral, 2019). Es una etapa de la sucesión forestal con muy baja riqueza florística y abundante en plantas de especies heliófilas colonizadoras.

En cuanto al relevamiento total de la regeneración natural del bosque nativo adyacente (Tabla 5) se identificaron quince especies, presentando una coincidencia del 60 % para ambas áreas (BN I y BN II). En cada fragmento de bosque relevado se registró la misma cantidad de especies (doce).

**Tabla 5.** Composición florística de plantas perennes de regeneración natural en fragmentos de bosque nativo (BN I y BN II) adyacente a la plantación de *Prosopis alba*.

| Familia         | Nombre Científico                                                                                                  | Nombre Vulgar      | Área  |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------|
| Fabáceas        | <i>Prosopis alba</i> Griseb                                                                                        | algarrobo blanco   | Ambas |
| Fabáceas        | <i>Prosopis nigra</i> Griseb.                                                                                      | algarrobo negro    | Ambas |
| Fabáceas        | <i>Prosopis hassleri</i> Harms.                                                                                    | algarrobo paraguay | Ambas |
| Fabáceas        | <i>Gleditsia amorphoides</i> (Griseb). Taub.                                                                       | espina corona      | Ambas |
| Moráceas        | <i>Maclura tinctoria</i> (L) D. Don ex Steud.                                                                      | mora amarilla      | Ambas |
| Palmáceas       | <i>Copernicia alba</i> Morong.                                                                                     | palma, caranday    | Ambas |
| Cannabáceas     | <i>Celtis tala</i> Gilles ex Planch.                                                                               | tala               | Ambas |
| Achatocarpáceas | <i>Achatocarpus praecox</i> Griseb.                                                                                | palo tinta         | Ambas |
| Asteráceas      | <i>Austroeupeatorium inulifolium</i> (Kunth) R. M. King & H. Rob.                                                  | doctorcito         | Ambas |
| Solanáceas      | <i>Solanum argentinum</i> Bitter & Lillo                                                                           | cabra yuyo         | BN I  |
| Primuláceas     | <i>Vallesia glabra</i> (Cav.) Link                                                                                 | ancoche            | BN I  |
| Anacardiáceas   | <i>Schinus fasciculatus</i> (Griseb) I. M. Johnst.                                                                 | molle              | BN I  |
| Malváceas       | <i>Sida sp.</i> (L).                                                                                               | escoba negra       | BN II |
| Fabáceas        | <i>Microlobius foetidus</i> (Jacq.) M. Sousa & G. Andrade subsp. <i>paraguensis</i> (Benth.) M. Sousa & G. Andrade | ibirá-né           | BN II |
| Sapindáceas     | <i>Allophylus edullis</i> (A. St.-Hil., A. Juss. & Cambess.) Hieron. ex Niederl                                    | cocú               | BN II |

En la Tabla 6 se presentan los resultados de los índices de biodiversidad alfa determinados para la regeneración natural de plantas perennes del bosque nativo, detallados en las tres categorías de tamaño. La mayor riqueza y abundancia específica se registra en la Categoría I, que agrupa a las especies cuyas bioformas encuentran correspondencia con las dimensiones establecidas para esta categoría y a las plantas reclutas del sistema, es decir ejemplares pequeños de especies arbustivas,

arbóreas o con tallo leñoso. El 52,1 % (12.000 pl.ha<sup>-1</sup>) del total de individuos de la Categoría I está conformado por plantas de las especies doctorcito y palma caranday. El porcentaje restante se distribuyen en 11 especies, entre las cuales sobresalen por abundancia la escoba negra, molle y tala. En las Categorías II y III se destacan algarrobos, palma y tala. Estas tres especies más mora y molle son las cinco que tienen presencia en las tres clases de tamaños de regeneración.

A nivel general, los índices de Margalef y Shannon-Wiener muestran valores bajos (1,38 y 2,14, respectivamente), propios de comunidades de escasa diversidad. En el mismo sentido, el índice de Simpson D adquiere valores bajos, reflejo que en la comunidad no hay dominancia de ninguna especie. Los altos valores del índice de diversidad de Simpson 1-D, corroboran la existencia de una población equilibrada, considerando la abundancia de las especies.

**Tabla 6.** Índices de biodiversidad de la regeneración natural según categorías de tamaño, correspondiente al bosque nativo adyacente a la plantación de *Prosopis alba*.

| Índices              | Cat. I | Cat. II | Cat. III | Total  |
|----------------------|--------|---------|----------|--------|
| Número de especies   | 13     | 6       | 8        | 15     |
| Abundancia (pl/ha)   | 23.040 | 1.050   | 549      | 24.639 |
| Dominancia D Simpson | 0,170  | 0,202   | 0,189    | 0,161  |
| Simpson 1-D          | 0,830  | 0,798   | 0,812    | 0,839  |
| Shannon - Wiener H'  | 2,077  | 1,687   | 1,866    | 2,140  |
| Margalef             | 1,195  | 0,719   | 1,110    | 1,384  |

Según el valor de 0,733 para el Cociente de Sørensen determinado para este estudio, es alta la similitud de composición florística (73,3 %) entre las muestras de regeneración natural del área estudiada de plantación y bosque nativo. Este resultado expresa la importancia determinante que tiene el bosque nativo en la biodiversidad de la regeneración natural desarrollada en el área de plantación. Es decir, el ecosistema forestal autóctono adyacente a la plantación constituye un proveedor potencial permanente de material genético, al encontrarse una gran correspondencia en la composición específica de ambas áreas.

### **Análisis del proceso de regeneración natural en la plantación**

En la Figura 1 se presenta la infografía del modelo que expresa de manera resumida los principales resultados cuantitativos del estudio de la biodiversidad de la regeneración natural realizado en diversas zonas de intervención silvícola de una plantación de *Prosopis alba*. Seguidamente se examinan los aspectos relevantes del proceso.

En la parte central se representó el área plantada y a ambos lados, los sectores de fragmentos de bosques nativos alternados con pastizales naturales. La presencia del ganado y su recorrido conectando todos los ambientes del predio fue simbolizado por dibujo del animal vacuno comiendo o descansando y líneas punteadas, respectivamente. En cada sector se insertó información cuantitativa importante (grupos de especies y densidad en los bosques nativos, tanto de plantas mayores a 10 cm de DAP como de la regeneración natural; radiación fotosintéticamente activa, grupos de especies y densidad de la regeneración natural registrada en la plantación, en la parte sin tratamientos silvícolas, y con leve y moderada intervención silvicultural).

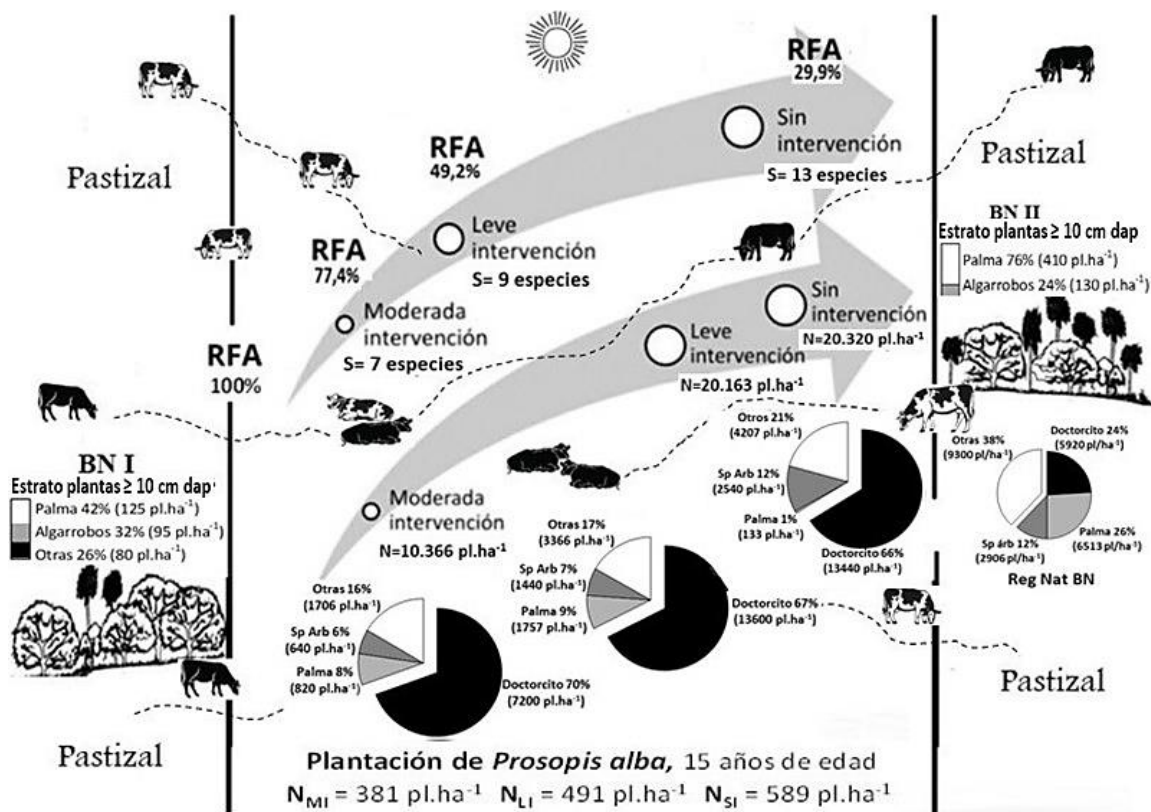


**Figura 1.** Infografía del proceso de regeneración natural de especies perennes y los principales indicadores de biodiversidad según zonas de intervención silvícola en una plantación de *Prosopis alba*, con presencia de ganado y en adyacencia de fragmentos de bosque nativo.

Durante los controles se visualizaron animales domésticos dentro de la plantación, con un promedio de 50 animales bovinos de diferentes tamaños. A partir de evidencias *in situ* de huellas y deyecciones en diferentes grados de descomposición, sumadas a la información proporcionada por el productor, se precisó que la presencia frecuente del ganado data desde los 7 años de vida de la plantación. Estas evidencias se presentaron con mayor frecuencia en las zonas con intervenciones silvícolas, mientras que en la zona sin intervención fue de escasa magnitud. También durante el relevamiento a campo se observaron diversas especies de aves en la plantación, que según Rodríguez y Pérez (2020), son importantes en el proceso de dispersión de ciertas especies arbóreas, como la mora amarilla, tala y palo tinta, dado que después de comer sus frutos en un lugar, luego expulsan las partes duras (semillas) no digeribles en otro sitio, listas para germinar.

Las especies de regeneración natural que se encuentran con mayor abundancia en todas las zonas son doctorcito, especie dominante (más del 65 % de participación relativa), herbácea perenne y, en menor medida, la palma, especie leñosa. La distribución de la regeneración natural de estas especies se explica con base al temperamento y oportunidad de instalación. Respecto de la especie doctorcito, Castro (2018) expone que se trata de una planta no palatable por los mamíferos herbívoros, gran colonizadora de todo tipo de terreno, natural, cultivado o en descanso. Aunque prefiere lugares soleados, en el presente estudio la mayor abundancia se registró en zonas sin intervención y de leve intervención, en las que la radiación fotosintéticamente activa varió entre el 30 y el 50 % de la luminosidad existente a cielo abierto. Su menor aparición en la zona de mayor luminosidad (de moderada intervención silvícola) puede atribuirse a los fuertes disturbios ocasionados por el ganado, ya que son sitios escogidos por estos animales para descansar, impactando fuertemente en forma mecánica sobre el suelo y su cobertura vegetal (el ganado apoya el cuerpo sobre la superficie por varias horas, en forma reiterada) y química (gran cantidad de orina esparcida en un área reducida).

Es reconocido que la presencia recurrente de los animales en los bosques nativos tiene trascendencia en el proceso de regeneración natural, ya que se constituyen en vectores importantes de la diseminación y dispersión de diversas especies, especialmente de las leñosas (Moraes, 1991; Wunderle, 1997; Baigorria, 2007; Haene y Montaldo, 2015; Mendes *et al.*, 2011). En este sentido, Rodríguez y Pérez (2020), al estudiar una plantación de algarrobos cercana a la aquí analizada, consideraron que las aves fueron protagonistas esenciales del proceso de dispersión de semillas de especies arbóreas. En el presente estudio se constató que el ganado atraviesa diariamente la forestación; durante la mañana dirigiéndose hacia áreas con gramíneas o aguadas ubicadas en sectores bajos del predio y durante la tarde regresando a los lugares altos para dormir. Así, los animales se quedan transitoriamente en la plantación para descansar y protegerse de las condiciones climáticas extremas, y a fines de la primavera, comer frutos caídos de algarrobos implantados. Aparentemente el ganado desempeñó un rol principal en la dispersión de algunas especies, ya que esta circulación diaria provocó disturbios en la plantación que tienen influencia en el proceso de sucesión que se da bajo el dosel arbóreo. Una evidencia constituye los excrementos esparcidos sobre el suelo en diferentes lugares, que incluyen semillas de diversas especies (acción endozoica), especialmente de palmas y algarrobos, de plántulas y plantines.

En este contexto, la abundancia de *Copernicia alba* registrada dentro de la plantación en parte es explicada por la acción de estos vectores animales. Debido a la fuerte presencia de la especie en los fragmentos de bosques nativos cercanos resulta creíble que su diseminación dentro del área de plantación es resultado del tránsito y permanencia de los animales, dado que como lo exponen Lorenzi *et al.* (1996) y Castellani *et al.* (2014), sus abundantes frutos palatables son consumidos habitualmente por la fauna silvestre y por los mamíferos domésticos criados en forma extensiva, constituyéndose a su vez en sus mayores dispersores. La diseminación a través de deyecciones animales y posterior regeneración y establecimiento dentro del algarrobal es consecuencia inequívoca que la especie está totalmente adaptada a las condiciones ecológicas locales, caracterizada por períodos de sequía alternados con inundaciones, especie muy heliófila, que tolera bien extremos de alcalinidad o acidez y aceptablemente el frío, con crecimiento medio en altura de 35 cm.año<sup>-1</sup> en ambientes adecuados. En la plantación estudiada los mayores valores de abundancia de esta especie se registraron en los sitios con mayor perturbación antrópica relacionada con los tratamientos silvícolas y el tránsito y la permanencia temporal del ganado, en los que la radiación solar llega a la superficie del suelo por un largo periodo (años). Por otro lado, cabe destacar que en la zona de mayor intervención silvícola (M.I.) y consecuente menor competencia forestal, fue donde se relevaron las palmas de mayor tamaño, es decir, las clasificadas en las categorías II y III.

Un aspecto relevante de las observaciones de campo fue la presencia en la plantación de ejemplares de regeneración natural de especies con disimiles caracteres culturales; es decir, estaban presentes no solo las especies heliófilas y colonizadoras (p.e. algarrobos, palma, molle) sino otras de temperamento medio (p.e. espina corona, tatané *Chloroleucon tenuiflorum* y guaraniná *Sideroxylon obtusifolium*, estas dos últimas observadas fuera de las áreas de muestreo), acompañando a los algarrobos plantados y alcanzando en algunos casos, casi las mismas dimensiones que los árboles cultivados. Al respecto Rodríguez y Pérez (2020) en otra forestación observaron que diversas especies forestales oportunistas se adaptaron a las condiciones de sombra por cierre de la canopia de los algarrobos plantados, presentando fustes rectos, con baja densidad de ramas inferiores, todas de diámetros pequeños. La situación comentada es coherente con la teoría de sucesión denominada Composición Florística Inicial (Finegan, 1993) que plantea que el ingreso de una especie en el ecosistema forestal está dado por la oportunidad, es decir el momento en que la especie encuentra lugar y condiciones adecuadas para su establecimiento y desarrollo.

Resumiendo, una lectura posible del caso aquí estudiado es que la plantación de algarrobo ha funcionado como un sistema abierto de corredor biológico, posibilitando y facilitando el flujo e intercambio genético vegetal y animal (aunque aquí solo se evaluó la componente vegetal y focalizando en las especies perennes), con los diversos fragmentos de bosque nativo que se encuentran en su adyacencia.

#### 4. CONCLUSIONES

En función al estudio exploratorio realizado con la finalidad de evaluar la biodiversidad de la regeneración natural de especies forestales en una plantación *Prosopis alba* se concluye que:

- La regeneración natural sucedió en todas las zonas de la plantación, sin evidenciarse efectos de los tratamientos silvícolas sobre la biodiversidad. Aun la indiferenciación aludida conviene resaltar la tendencia de relación inversa entre el número de especies de regeneración natural y la intensidad del disturbio provocado por los tratamientos silvícolas.
- Respecto de la riqueza específica se reconocieron en total quince especies perennes, la mayoría leñosas, registrándose seis especies comunes a las tres zonas (*Prosopis nigra*, *Maclura tinctoria*, *Copernicia alba*, *Celtis tala*, *Achatocarpus praecox* y *Austroeupatorium inulifolium*). Los valores calculados para los índices de Margalef (<1,3) y Shannon-Wiener (<1,4) refieren en todos los casos que la regeneración natural de las zonas estudiadas presenta baja diversidad, y según el índice de Simpson (<0,6) no hay dominancia de ninguna especie.
- El ecosistema forestal autóctono adyacente a la plantación constituyó un proveedor potencial permanente de material genético, al encontrarse una gran correspondencia en la composición específica de la regeneración natural de ambas áreas.
- Las prácticas silviculturales sí generan condiciones en el ecosistema que afectan la abundancia de la regeneración. En la zona de moderada perturbación del ecosistema por la aplicación de raleos y podas, hay mayor ingreso de luz a nivel de sotobosque (6 años después de la disminución de la espesura por las cortas silvícolas, aún registra 77 % de la RFA observada fuera del bosque), condición en la que se registró la menor abundancia, estimada en 10.366 pl.ha<sup>-1</sup>. La zona con escaso disturbio silvícola (leve intervención) no difiere estadísticamente del sector sin intervención, mostrando valores altos de abundancia, algo superior a 20.000 pl.ha<sup>-1</sup>, con 49 y 30 % de la RFA registrada a cielo abierto, respectivamente.

#### 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baigorria, J. 2007. *La interacción de leñosas – aves como condicionante de la composición de los ambientes boscosos en el predio de Santa Catalina (Provincia de Buenos Aires)*. Tesis de Licenciatura. Departamento de Ecología, Genética y Evolución. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 58 p.
- Brockerhoff, E. G.; C. E. Ectroyd; A. C. Leckiea and M. O. Kimberley. 2003. Diversity and succession of adventive and indigenous vascular understorey plants in *Pinus radiata* plantation forests in New Zealand. *Forest Ecology and Management*. 185: 307-326.
- Cabral, A. C. 2019. *El medio físico y su relación a las formaciones vegetales de la provincia de Formosa*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. 1ª Ed. Edit. Autores de Argentina. 170 p.
- Castellani, P.; O. Valiente; M. Corrales; S. Rosthoj y J. Reinoso. 2014. Valoración de la utilización digestiva in vivo del fruto de *Copernicia alba* (karanda'y) en un ensayo de digestibilidad en ovinos. *Compendio cienc. vet.* 04(1): 13-18.
- Castro, M. R. 2018. *Evaluación de los efectos de la intensidad de raleo sobre los estratos arbóreo y herbáceo de una forestación de Prosopis alba Griseb*. Becas de Estímulo a las Vocaciones Científicas 2016. Universidad Nacional de Formosa. 23 p.
- Finegan, B. 1993. *Bases ecológicas de la Silvicultura*. En: IV Curso Intensivo Internacional de Silvicultura y Manejo de Bosques Naturales Tropicales. CATIE, Turrialba, C.R. 229 p.

- Giménez, A.; P. Hernández, R. Gerez y R. Ríos. 2007. Diversidad vegetal en siete unidades demostrativas en el Chaco Semiárido Argentino. Artículo de Investigación. *Madera y Bosques* 13(1): 61-78.
- Haene E. y Montaldo N. 2015. *Plantas que atraen aves: Horquetero o palo víbora*. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/319261458>
- Hampel, H. 1997. *Dinámica de vegetación y manejo silvícola de bosques del Chaco Húmedo argentino*. Tesis de doctorado, Fac. Ftal. de Universidad de Freiburg, Alemania, 210 p.
- Kremen, C. 2015. Reframing the land sparing/land sharing debate for biodiversity conservation. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1355(1), 52-76.
- Lindenmayer, D. B.; R. J. Hobbs and D. Salt. 2003. Plantation forests and biodiversity conservation. *Australian Forestry* 66: 62-66.
- López, R. P. y T. Ortuño. 2008. La influencia de los arbustos sobre la diversidad y abundancia de plantas herbáceas de la Prepuna a diferentes escalas espaciales. Asociación Argentina de Ecología. *Ecología Austral* 18: 119-131.
- Lorenzi, H.; H. Moreira De Souza; J. T. Medeiros-Costa; L. S. Coelho De Cerqueira y N. Von Behr. 1996. *Palmeiras No Brasil*. Edit. Plantarum Ltda. Brasil.
- Lugo, A. E. 1992. Comparison of tropical tree plantations with secondary forests of similar age. *Ecological Monographs* 62(1): 1-41.
- Mendes, G.; A. Ruggeri; E. Oliveira Silva; E. Castelo Gomes y H. Valdesprietto Roche. 2011. Especies vegetales y síndromes de dispersión del área de protección ambiental municipal de Inhamum, Caxias, Maranhão, Brasil. *Ambi-Agua, Taubaté* 6(2): 129-142.
- Moraes, R. M. 1991. Contribución al estudio del ciclo biológico de la palma *Copernicia alba* en un área ganadera (Espíritu, Beni, Bolivia). *Ecología en Bolivia* 18: 1-20.
- Moreno, C. E. 2001. *Métodos para medir la biodiversidad*. M&T-Manuales y Tesis SEA, Vol.1. Zaragoza, 84 p.
- Nájera, A. and J.A. Simonetti. 2009. Enhancing avifauna in commercial plantations. *Conservation Biology* 24 (1): 319-324.
- Pérez, V. R.; M. C. Cañete y G. M. Vicentini. 2018. *Efectos de la intensidad de raleo sobre los estratos arbóreo, herbáceo y edáfico de plantaciones de Prosopis alba*. Informe final Proyecto 54/R197. Facultad de Recursos Naturales, Universidad Nacional de Formosa. 60 p.
- Ritter, L. J. 2017. *Regeneración de árboles nativos en plantaciones de Pinus taeda L. en el Norte de Misiones: efectos del manejo a nivel del rodal y el paisaje*. Tesis doctoral Facultad Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. 159 p.
- Rodríguez, C. y V. Pérez. 2020. *Biodiversidad de la regeneración natural en plantación de Prosopis alba Griseb. de la provincia de Formosa*. XXXIV Jornadas Forestales de Entre Ríos, 137-141.
- Vargas Ríos, O. 2011. Restauración ecológica: biodiversidad y conservación. Universidad Nacional de Colombia. *Acta Biológica Colombiana* 16(2): 221-246.
- Vicentini, G. M. 2020. *Aptitud de suelos en forestaciones de Prosopis alba Griseb. de la Provincia de Formosa, Argentina*. Tesis de Maestría de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Misiones. 67 p.
- Villagra, P. E. 2000. Aspectos ecológicos de los algarrobales argentinos. Ecology of the *Prosopis* woodlands from Argentina. *Multequina: Latin American Journal of Natural Resources* 9(2): 35-51.
- Wunderle, J. M. 1997. The role of animal seed dispersal in accelerating native forest regeneration on degraded tropical lands. *Forest Ecology and Management* 99(1-2): 223-235.



TRABAJO CIENTÍFICO

## Duramen de *Robinia pseudoacacia* con evidencias de pudrición: agente causal y caracterización anatómica y química de la madera atacada

*Robinia pseudoacacia* heartwood with evidence of rot: causal agent and anatomical and chemical characterization of the attacked wood.

Murace, M. A.<sup>1,4</sup>; M. C. N. Saparrat<sup>2,4</sup>; A. Perelló<sup>3,4</sup> y M. L. Luna<sup>5</sup>

Recibido en juliode 2021; aceptado en agosto de 2022

### RESUMEN

*Robinia pseudoacacia* es reconocida por su valor estético y por ello cultivada en ambientes urbanos. Objetivo: identificar al hongo responsable de la pudrición del duramen de *Robinia pseudoacacia* y analizar las alteraciones anatómicas y químicas que causa en el leño. Se trabajó con muestras provenientes de árboles de los espacios públicos de La Plata. El hongo fue identificado en base a sus características culturales. Se realizaron estudios anatómicos y químicos en duramen atacado y testigo. Para las observaciones con MO las muestras fueron fijadas en FAA y embebidas en Paraplast. Secciones sin teñir se utilizaron para detectar pérdida de birrefringencia (indicador de celulólisis). Las observaciones con MEB se realizaron en muestras montadas sobre platinas y cubiertas con oro. Para el análisis químico se usó FT-IR. Se estimaron las relaciones entre los niveles de absorbancia correspondientes a diferentes grupos funcionales químicos de los polímeros de la madera atacada versus aquellos obtenidos en muestras control. Las características de los cultivos se correspondieron con lo descripto para *L. sulphureus*. La madera atacada presentó coloración castaña, fractura cúbica, abundante micelio y clamidosporas. Con MO y MEB: deformación generalizada del tejido; fracturas; colapso de fibras; micelio en vasos, radios y fracturas; perforaciones en tñlides; punteaduras erosionadas y pérdida total de birrefringencia en fibras. Químicamente, fue notable la degradación de los carbohidratos por sobre la lignina y el ataque preferencial a las unidades guayacil del polímero aromático.

**Palabras clave:** falsa acacia, duramen, alteraciones microestructurales, FT-IR, pudrición castaña.

### ABSTRACT

*Robinia pseudoacacia* is recognized worldwide for its aesthetic importance and so cultivated in urban environments. The objective of this paper was to: identify the fungus responsible for the rot of *Robinia pseudoacacia* heartwood and analyze the anatomical and chemical alterations it causes in the wood. The samples were obtained from trees growing in public spaces of La Plata City. The fungus identification was performed based on its cultural characteristics. Anatomical and chemical studies were performed in attacked and sound heartwood. For the LM observations the samples were fixed in FAA and embedded in Paraplast. The unstained sections were used to detect loss of birefringence (cellulolysis indicator). The MEB observations were made on samples mounted on stubs and covered with gold. For the chemical analysis FT-IR was used. The relationships between the absorbance levels corresponding to different chemical functional groups of the polymers of the attacked wood versus those obtained in control samples were estimated. The features of the pure cultures corresponded to *L. sulphureus*. The attacked wood presented brown discoloration, cubic pattern of fractures, abundant mycelium and chlamydospores. With LM and MEB it was observed: generalized tissue deformation; fractures; collapse of fibers; mycelium in vessels, rays and fractures; perforation in tyloses; eroded pits and complete loss of birefringence in fibers. Chemically, both the degradation of the carbohydrates over the lignin and the preferential attack of the guayacil units of the aromatic polymer were noticeable.

**Key words:** black locust, heartwood, microstructural alterations, FT-IR, brown rot.

<sup>1</sup> Cátedra Protección Forestal. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), calle 60 y 119 (1900) La Plata, Buenos Aires, Argentina. E-mail: mmurace@gmail.com

<sup>2</sup> Instituto de Fisiología Vegetal (INFIVE), Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Centro Científico Tecnológico (CCT) La Plata. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina / Instituto de Botánica Spegazzini, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata.

<sup>3</sup> Cátedra Fitopatología. Centro de Investigaciones en Fitopatologías (CIDEFI) -CONICET.

<sup>4</sup> Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, (UNLP), calle 60 y 119 (1900) La Plata, Buenos Aires, Argentina.

<sup>5</sup> Laboratorio de Anatomía Comparada, Propagación y Conservación de Embriofitas "Dr Elías de la Sota", Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. Boulevard 120 y 61, (B1900FWA), La Plata, Argentina

## 1. INTRODUCCIÓN

Los árboles desempeñan un papel fundamental en los núcleos urbanos, ya que contribuyen a mejorar la calidad de vida de sus habitantes aportando beneficios desde los puntos de vista ambiental, estético, paisajístico, recreativo, social y económico (Urcelay *et al.*, 2012; Ding *et al.*, 2020). Entre las especies representativas del arbolado urbano se encuentra *Robinia pseudoacacia* L. (“falsa acacia”, Fabaceae). Los atributos ornamentales de esta especie y su adaptación a las condiciones de estrés que se presentan en el contexto urbano determinan que sea ampliamente cultivada en parques, calles y avenidas en distintos continentes, fuera de su área natural de distribución (USA) (Cierjacks *et al.*, 2013). Por su porte y la forma y densidad de su copa, estos ejemplares aportan valor estético y ambiental a la forestación urbana. Sin embargo, con frecuencia se ven alterados por prácticas de manejo inadecuadas como también por la acción de diversos patógenos, entre ellos los hongos xilófagos, responsables de las pudriciones del leño o madera (Robles *et al.*, 2011; Ding *et al.*, 2020).

Los hongos xilófagos causan la pudrición de la madera a través de la degradación enzimática de las paredes celulares. Se reconocen dos tipos principales de pudriciones: blancas y castañas. Durante el curso de las pudriciones blancas, son atacadas la celulosa, las hemicelulosas y la lignina. En las pudriciones castañas son despolimerizadas la celulosa y hemicelulosas; la lignina es parcialmente modificada por oxidación (Blanchette, 1995; Riley *et al.*, 2014). Las pudriciones, en particular las castañas, afectan negativamente las propiedades de resistencia del duramen de los ejemplares atacados. Por ello, la presencia de estas enfermedades en los árboles significa un alto riesgo para el patrimonio forestal, la población y sus bienes, principalmente cuando se asocian con prácticas y/o decisiones de implantación y mantenimiento inadecuadas y fenómenos atmosféricos intensos (Schwarze *et al.*, 2000 a, b; Terho y Hallaksella, 2005). No obstante, para cada tipo de pudrición se reconocen diferentes patrones de degradación que impactan de modo diferente sobre las propiedades físico-mecánicas de las maderas. Dichos patrones son únicos para cada interacción hospedante-patógeno y resultan, entre otros, del potencial enzimático de la cepa fúngica y de las características del leño del hospedante (Schwarze *et al.*, 2000 a). En este sentido, la importancia de diagnosticar y caracterizar las pudriciones que afectan a los ejemplares ya que contribuye a explicar y dimensionar el riesgo que significa su presencia en los ambientes urbanos a la vez que aportan información valiosa para la toma de decisiones fitosanitarias. De acuerdo con ello, el objetivo del trabajo fue identificar al hongo responsable de la pudrición del duramen de *Robinia pseudoacacia* y analizar las alteraciones anatómicas y químicas que causa en el leño.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El material fue obtenido en el marco de un relevamiento de las pudriciones presentes en las especies arbóreas más representativas de los espacios públicos de la Ciudad de La Plata (34°55'17.2" S -57°57.272' W). Se recolectaron 60 muestras cúbicas de madera de *R. pseudoacacia*, de aproximadamente 2 cm de lado, correspondientes a duramen sano (testigo, N = 20) y duramen con rasgos de pudrición (N = 40), expuesto a través de heridas localizadas a lo largo del fuste de ejemplares en pie (vivos) (Fig. 1 A-C; foto C, ejemplar cortado luego del muestreo). De acuerdo con esto, el muestreo fue dirigido y se considera acorde al objetivo planteado.

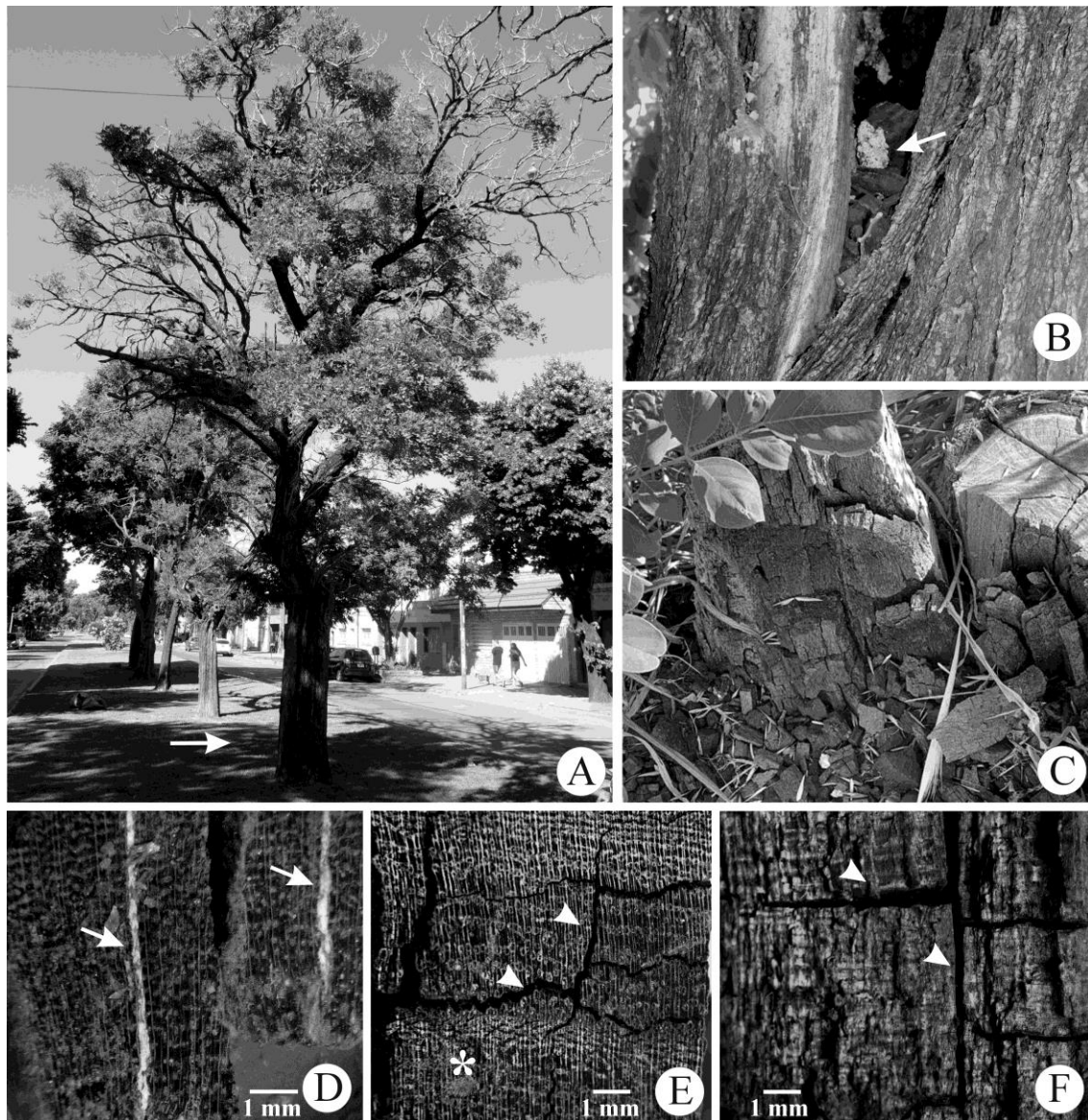


**Figura 1.** Ejemplares de *Robinia pseudoacacia* atacados por *Laetiporus sulphureus* y apariencia de la madera degradada.

**A.** Ejemplar de *R. pseudoacacia* implantado en la ciudad La Plata (flecha). **B.** Tronco con duramen degradado expuesto (flecha). **C.** Tocón con detalle de pudrición castaña en duramen, de ejemplar infectado en pie, mostrando el patrón de fractura cúbico y color castaño (flecha). **D-F.** Vistas con microscopio estereoscópico. **D.** Muestras de madera degradada mostrando el micelio fúngico localizado en las fracturas (flechas). **E.** Detalle de fracturas en vista transversal siguiendo un patrón cúbico (puntas de flecha). Clamidosporas también son observadas (asterisco). **F.** Muestra en vista longitudinal mostrando fracturas paralelas y perpendiculares al grano (puntas de flecha). Fracturas en la totalidad de los tipos celulares.

### Aislamiento e identificación del hongo asociado a las muestras atacadas

Los aislamientos fueron obtenidos a partir de pequeños trozos de duramen con evidencias de ataque fúngico (alteraciones estructurales, micelio y clamidosporas). Las muestras fueron flameadas y sembradas en agar malta al 2 % suplementado con antibiótico y benomil e incubadas a 25 °C en condiciones de oscuridad (Murace *et al.*, 2017). La identificación fue realizada a partir de los rasgos morfo-biométricos de cultivos puros (Deschamps y Wright, 1976; Stalper, 1978). Lo obtenido fue confirmado mediante la confrontación de los rasgos de los cultivos obtenidos con los rasgos de los aislamientos identificados a partir de la amplificación de la región ITS (utilizando los primeros ITS4 e ITS5) por la reacción en cadena de la polimerasa (PCR), siguiendo la metodología descrita por Lucentini *et al.* (2021) y posterior secuenciación en Macrogen (Seúl, Corea).

### Estudios anatómicos

El material leñoso fue analizado con microscopios estereoscópico (lupa) Nikon SMZ 1000, óptico (MO) Nikon E200 y electrónico de barrido (MEB) FEI, modelo Quanta 200 (Servicio de Microscopía Electrónica de Barrido y Microanálisis del LIMF, Facultad de Ingeniería, UNLP). Para los estudios con MO, muestras de duramen sano y atacado fueron fijadas en formaldehído-ácido acético- alcohol (FAA), deshidratadas a través de una serie ascendente de etanol y embebidas en Paraplast. Las secciones de leño atacado (10-12  $\mu\text{m}$ ) realizadas en los tres planos de corte (transversal, longitudinal radial y longitudinal tangencial) fueron montadas sin teñir para su observación mediante luz polarizada con el fin de detectar la despolimerización de la celulosa (celulólisis), la cual se manifiesta como pérdida de birrefringencia. Las secciones microscópicas de material sano (testigo) (20-30  $\mu\text{m}$ ) en los tres planos de corte fueron obtenidas utilizando un xilótomo y teñidas con safranina *fast-green* (D'Ambroggio de Argüeso, 1986). Para las observaciones con MEB, porciones de leño obtenidas con cuchillas descartables fueron montadas sobre platinas y metalizadas con oro. La descripción de los caracteres de diagnóstico de la pudrición fue realizada siguiendo las directrices de Anagnost (1998) y Schwarze (2007). Para la descripción del material testigo se consultaron la lista de caracteres de la IAWA (1989) y la base de datos INSIDEWOOD-DATABASE.

### Estudios químicos

El análisis químico del material atacado y testigo fue realizado mediante Espectroscopía Infrarroja Transformada de Fourier (FT-IR). Para ello, el material fue particulado con una lima metálica (<0,4 mm), triturado con Nitrógeno líquido en mortero de porcelana y luego pasado por un lienzo de voile para homogeneizar el tamaño de las partículas. Posteriormente, las muestras fueron expuestas a una serie de lavados utilizando Triton X-100, agua, etanol, metanol y acetona, con el fin de eliminar sus extraíbles hidro- y liposolubles, siguiendo el procedimiento reportado por Espiñeira *et al.* (2011). Culminada la serie de lavados, el material fue secado en estufa a 60 °C y mantenido en una atmósfera libre de humedad hasta el momento de proceder al armado de las pastillas para FT-IR. Para obtener los espectros FT-IR se elaboraron pastillas de 13 mm de diámetro, utilizando 2 mg de cada muestra seca y 20 mg de bromuro de potasio grado infrarrojo, como así también pastillas blanco con sólo 22 mg de bromuro de potasio. Los espectros de absorción FT-IR fueron registrados entre 1.800  $\text{cm}^{-1}$  y 800  $\text{cm}^{-1}$  empleando un espectrómetro modelo *Spectrum* (Perkin- Elmer-Instruments). El análisis espectral se realizó a una velocidad de 1  $\text{cm s}^{-1}$  con 4 $\text{cm}^{-1}$  de resolución bajo atmósfera de aire seco (cámara con silicagel), obteniéndose un espectro promedio resultante de 64 escaneos. Se trabajó con 3 repeticiones por condición de la muestra. Para el procesamiento de los datos se utilizó el software EZ-OMNIC y se llevó a cabo la corrección de cada espectro, sustrayendo automáticamente aquel correspondiente a la pastilla blanco obtenida inmediatamente antes del registro de cada muestra. Se seleccionaron bandas de referencia dentro de la región 800-1.800  $\text{cm}^{-1}$  que reflejan grupos funcionales característicos de los polímeros de la madera, y se estimaron sus intensidades relativas (Tabla 1). Entre tratamientos (madera testigo vs. atacada), se estimó la existencia de diferencias significativas en los valores de las intensidades de absorbancia relativas (IARs) según la prueba de Anova (Tukey,  $P \leq 0,05$ ).

**Tabla 1.** Asignación de bandas de absorción en los espectros FT-IR de las muestras de madera

| Número de onda (cm <sup>-1</sup> ) | Grupos funcionales                                                    | Referencia                                                                    |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 896 ± 3                            | vibraciones de grupos C1-H en celulosa                                | Hinterstoisser <i>et al.</i> (2001)                                           |
| 1.164 ± 3; 1.158                   | vibraciones de grupos glicosílicos C-O-C (holocelulosa)               | Fackler <i>et al.</i> (2010); Saparrat <i>et al.</i> (2010)                   |
| 1.268 ± 2                          | vibraciones de C-O del anillo guayacil (lignina)                      | Pandey y Pitman (2003; 2004)                                                  |
| 1.335 ± 3                          | vibraciones del C-O del anillo siringyl (lignina)                     | Pandey y Pitman (2003; 2004)                                                  |
| 1.420 – 1.430                      | celulosa cristalina                                                   | Poletto <i>et al.</i> (2014)                                                  |
| 1.508 ± 3                          | vibraciones de esqueletos aromáticos (lignina)                        | Saparrat <i>et al.</i> (2010); Jelle y Hovde (2012); Shi <i>et al.</i> (2012) |
| 1.734                              | grupos carbonilos no conjugados de pectinas y hemicelulosas (xilanos) | Luna <i>et al.</i> (2015)                                                     |

### 3. RESULTADOS

#### Identificación fúngica

Los rasgos morfo-biométricos de las esporas presentes en el material muestreado y de los cultivos obtenidos se correspondieron con aquellos que integran la clave-patrón de *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill (Deschamps y Wright, 1976; Stalper, 1978), LPSC1391; LPS 49110. Dichas características culturales además se correspondieron con las de otros aislamientos obtenidos en estudios previos (Murace *et al.*, 2017) que, según se indicó, fueron identificados mediante técnicas moleculares como *L. sulphureus* (OM574648, OM574635, OM574645).

#### Características macroscópicas de la madera atacada

A diferencia de la madera sana (duramen en tonos claros del color marrón), la madera con evidencias de pudrición presentó color castaño rojizo intenso y un patrón de fractura cúbico debido a la presencia de rajaduras paralelas y perpendiculares a la dirección del grano, algunas de ellas con abundante micelio (Fig. 1 D-F). Con lupa se identificaron clamidosporas del hongo a modo de eflorescencias ferruginosas (Fig. 1 E).

#### Características microscópicas de la madera sana (testigo) y atacada

En cortes transversales (CT), longitudinales radiales (CLR) y longitudinales tangenciales (CLT) de madera sana, con microscopio óptico (MO) se registraron los siguientes caracteres generales: anillos de crecimiento demarcados por la porosidad anular, vasos del leño temprano solitarios, los del leño tardío solitarios o agrupados en bandas tangenciales, en ambos casos con abundantes tílides obstruyendo los lúmenes (Fig. 2 A). Parénquima axial de tipo vasicéntrico confluyente, con depósitos de cristales en los lúmenes y fibras libriformes de paredes delgadas a gruesas, estas últimas en el leño tardío (Fig. 2 A). Radios parenquimáticos homocelulares, conformados por células procumbentes (Fig. 2 B), multiseriados (4-10 células de ancho) (Fig. 2 C). Elementos de vaso con placa de perforación simple, recta a levemente inclinada (Fig. 2 C).

En cuanto a la madera atacada, con MO se registró la deformación generalizada del tejido en todos los tipos de corte (Fig. 2 D-G) y la presencia de fracturas con abundantes hifas (Fig. 2 D, E). De acuerdo con ello, los vasos del leño temprano y tardío aparecieron deformados y los radios presentaron recorrido sinuoso. Las fracturas se extendieron por el leño temprano y el leño tardío alcanzando todos los tipos celulares (elementos de vaso, parénquima axial y radial y fibras) (Fig. 2 E). El micelio se alojó también en el interior de los vasos (Fig. 2 D, G). Las células más afectadas debido al ataque fúngico fueron las fibras, presentándose en ciertos sectores totalmente colapsadas (Fig. 2 F-G). Mediante luz polarizada se observó la pérdida de birrefringencia en los sectores

correspondientes a las fibras, con respecto al material testigo (Fig. 3 A-D). Tanto los vasos, como el parénquima axial y los radios parenquimáticos aparecieron en cambio birrefringentes, reflejando la descomposición diferencial de la celulosa entre tipos celulares (Fig. 3 C-D).

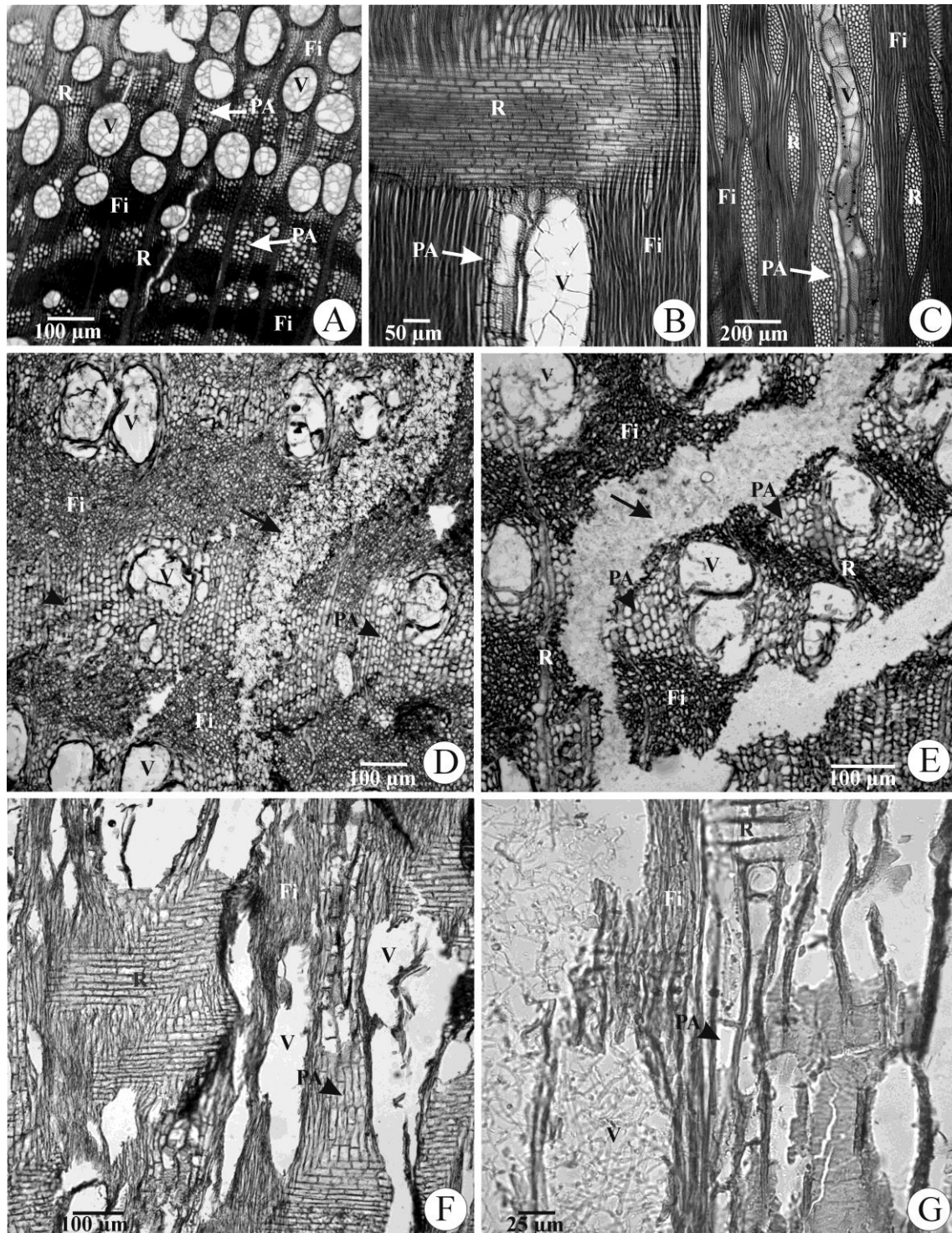


**Figura 2.** Características anatómicas de la madera sana y degradada de *Robinia pseudoacacia* observada con MO. **A-C.** Madera sana. Secciones teñidas con safranina *fast-green*. **A.** Sección transversal. **B.** Sección longitudinal radial. **C.** Sección longitudinal tangencial. **D-G.** Madera atacada. Secciones sin teñir donde se observa la coloración castaña característica. **D.** Sección transversal mostrando la deformación generalizada del tejido y el micelio fúngico localizado en las fracturas (flecha). **E.** Sección transversal de la madera con degradación avanzada. Hifas abundantes en las fracturas (flecha), degradación de tíldes en vasos y ataque pronunciado en fibras. **F.** Sección longitudinal radial mostrando la deformación del tejido y el recorrido sinuoso de las células. El ataque es más pronunciado en las fibras. **G.** Sección longitudinal radial en detalle mostrando hifas en el interior de los vasos y erosión generalizada de la pared celular. Fi: fibra; PA: parénquima axial; R: radio parenquimático; V: vaso.

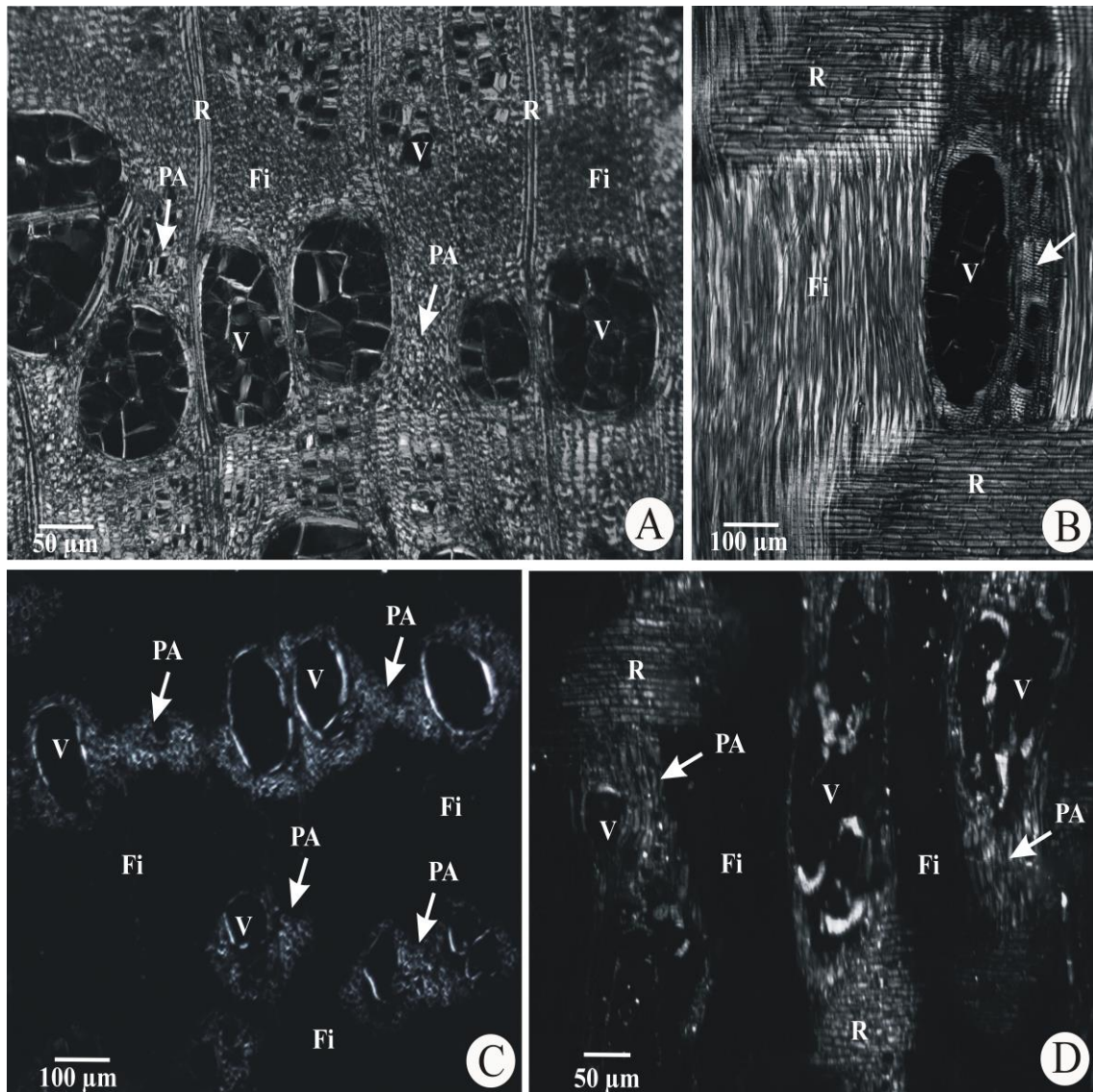


**Figura 3.** Características anatómicas de la madera sana y atacada de *Robinia pseudoacacia* observada con microscopio óptico y luz polarizada. **A-B.** Madera sana. Todos los tipos celulares presentan birrefringencia. **A.** Sección transversal. **B.** Sección longitudinal radial. **C-D.** Madera atacada. Pérdida de birrefringencia total en la pared de las fibras. **C.** Sección transversal. **D.** Sección longitudinal radial. Fi: fibra; PA: parénquima axial; R: radio parenquimático; V: vaso.

Con microscopio electrónico de barrido (MEB), se registró el desarrollo de micelio y la presencia de clamidosporas en el interior de los vasos (Fig. 4 A). Las tílides se presentaron perforadas por las hifas fúngicas. En ciertas áreas de las muestras la degradación de las fibras fue total observándose clamidosporas en los agujeros resultantes (Fig. 4 B-C). El micelio se concentró también en los radios parenquimáticos y en las fracturas (Fig. 4 C-D). Las fracturas alcanzaron todos los tipos celulares (Fig. 4 D-E). En ocasiones se observó la erosión de punteaduras asociada a la presencia de hifas fúngicas (Fig. 4F).

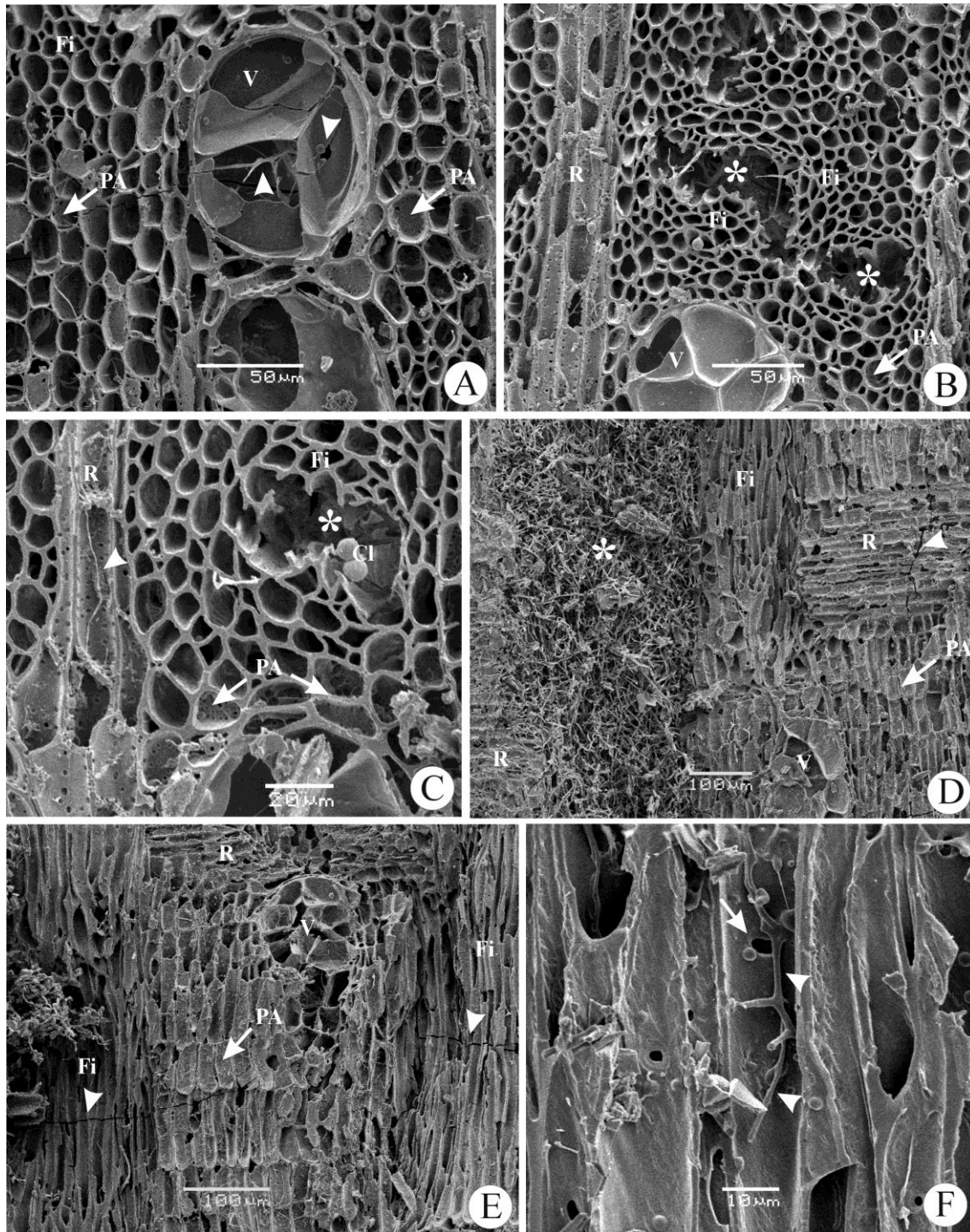


**Figura 4.** Alteraciones anatómicas en madera degradada de *Robinia pseudoacacia* observada con microscopio electrónico de barrido (MEB). **A-C.** Sección transversal. **D-F.** Sección longitudinal radial. **A.** Detalle de vaso con hifa y tílido perforada (puntas de flecha). **B.** Agujeros en el tejido producto del colapso de las fibras (asteriscos). **C.** Hifas en células parenquimáticas de los radios (punta de flecha) y clamidosporas fúngicas en agujeros (asterisco). **D.** Detalle de la presencia de abundante micelio en una fractura paralela al grano (asterisco). **E.** Fracturas perpendiculares al grano notables en las fibras (puntas de flecha). **F.** Detalle de hifa en el lumen de una fibra (puntas de flecha) y punteadura erosionada (flecha). Fi: fibra; PA: parénquima axial; R: radio parenquimático; V: vaso.

#### Estudios mediante FT-IR de las alteraciones químicas en la madera atacada

Respecto de las muestras testigo, en la madera atacada se registró un incremento en el índice de absorbancia relativa (IAR)  $I_{1508}/I_{1164}$  y reducciones en las relaciones  $I_{1734}/I_{1508}$  y  $I_{896}/I_{1508}$ . También

se detectaron menores IARs para  $I_{896}/I_{1164}$  e  $I_{896}/I_{1734}$  así como una mayor IAR para  $I_{1429}/I_{896}$ . En cuanto a la lignina, en la madera atacada se observó un incremento relativo en la relación  $I_{1335}/I_{1268}$ , respecto del testigo (Tabla 2; Fig. 5).

En términos generales, las modificaciones químico-anatómicas identificadas se corresponden con los rasgos de pudrición castaña (Anagnost, 1998; Schwarze, 2007).

**Tabla 2.** Intensidades de absorbancia relativa (IAR)<sup>1</sup> estimadas a partir de los datos de espectroscopía FT-IR

| Muestra | $I_{896}/I_{1164}$ | $I_{896}/I_{1508}$ | $I_{896}/I_{1734}$ | $I_{1508}/I_{1164}$ | $I_{1734}/I_{1508}$ | $I_{1508}/I_{1335}$ | $I_{1508}/I_{1268}$ | $I_{1335}/I_{1268}$ | $I_{1429}/I_{896}$ | $I_{1429}/I_{1164}$ |
|---------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| Testigo | 0,334a             | 0,664a             | 0,563a             | 0,594a              | 1,180a              | 0,740a              | 0,637a              | 0,861a              | 2,011a             | 0,672a              |
| Atacada | 0,232b             | 0,210b             | 0,326b             | 1,102b              | 0,646b              | 0,991b              | 1,009b              | 1,018b              | 4,396b             | 1,018b              |

<sup>1</sup>Referencias:  $I_{896}/I_{1164}$ , celulosa/holocelulosa;  $I_{896}/I_{1508}$ , celulosa/lignina;  $I_{896}/I_{1734}$ , celulosa/hemicelulosa;  $I_{1508}/I_{1164}$ , lignina/holocelulosa;  $I_{1734}/I_{1508}$ , hemicelulosa/lignina;  $I_{1508}/I_{1335}$ , lignina/syringyl (S);  $I_{1508}/I_{1268}$ , lignina/guaiacyl (G);  $I_{1335}/I_{1268}$ , syringyl (S)/guaiacyl (G);  $I_{1429}/I_{896}$ , celulosa cristalina/celulosa;  $I_{1429}/I_{1164}$ , celulosa cristalina/holocelulosa. Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey,  $P \leq 0,05$ ).

#### 4. DISCUSIÓN

La presencia de *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill. en el duramen de *Robinia pseudoacacia* L. con alteraciones químico-anatómicas compatibles con los de una pudrición castaña, se corresponde con el tipo de deterioro que causa esta especie. *Laetiporus sulphureus* es reconocido a nivel mundial como un patógeno del arbolado urbano, responsable de provocar pudrición castaña en la zona del duramen de falsa acacia (Schwarze *et al.*, 2000 a) y de numerosas Latifoliadas, y Coníferas (Schwarze, 2004; Ota *et al.*, 2009; Urcelay *et al.*, 2012; Murace *et al.*, 2017). Este hongo causa pudriciones de copa, produciéndose el ataque en las ramas con duramen expuesto y descendiendo luego hacia el tronco (Rayner y Boddy, 1988), sitio en el cual fue observada la pudrición en los ejemplares bajo estudio.

Los caracteres macro y microscópicos registrados en la madera atacada corresponden a un estado avanzado de pudrición castaña: color pardo intenso, patrón de fractura cúbico y presencia de micelio y de clamidosporas (Anagnost, 1998). En este tipo de deterioro, la despolimerización preferencial de los carbohidratos estructurales, tal como fue evidenciada mediante FT-IR y luz polarizada, provoca la deshidratación del tejido y su consecuente encogimiento, deformación y ruptura siguiendo un patrón cúbico característico. La madera degradada queda así constituida por un frágil marco de lignina que se desintegra bajo presión, tal como fue determinado en las muestras al presionarlas entre los dedos. La oxidación parcial de la lignina otorga la coloración castaña que caracteriza y da el nombre a este tipo de deterioro (Blanchette, 1995; Schwarze, 2007).

La contracción y deformación del tejido observadas, se corresponde con lo descrito para distintas Latifoliadas infectadas naturalmente por este hongo (Murace *et al.*, 2017). No obstante, en falsa acacia, la presencia de contenidos (tíldes y cristales), el espesor de la pared de sus fibras y el ancho de sus radios atenuarían dicha condición. Murace *et al.* (2017) asocian la menor deformación y colapso del tejido de fresno, eucalipto y paraíso atacados por *L. sulphureus* con la presencia de tíldes, compuestos gomosos, cristales, con el espesamiento de la pared de sus fibras y el ancho de sus radios. Los contenidos celulares y el grado de lignificación dificultan la deformación celular (Rivera y Lenton, 1999).

La mayor concentración de micelio detectada en los lúmenes de los vasos y en los radios parenquimáticos coincide con lo observado por Schwarze *et al.* (2000 a) y por Murace *et al.* (2017) en *R. pseudoacacia* y otras Latifoliadas respectivamente, atacadas por este patógeno. En las Latifoliadas la colonización se produce a través de los vasos (sistema axial), particularmente

los de diámetro mayor del leño temprano, y de las células parenquimáticas de los radios (sistema radial) (Schwarze *et al.*, 1997; Schwarze *et al.*, 2000 b). Si bien falsa acacia posee porosidad anular, el avanzado estado de pudrición identificado podría estar enmascarando la colonización preferencial por los vasos del leño temprano.

La presencia de agujeros en ciertos sectores de las muestras debido al colapso del tejido, junto con la erosión de las punteaduras, las cuales constituyen vías de colonización del sustrato, son también rasgos típicos de estadios avanzados de degradación (Wilcox 1993 a, b; Anagnost, 1998).

La observación de tílides perforadas suma evidencias respecto de la reconocida capacidad de *L. sulphureus* de superar las barreras a la colonización, entre las que se encuentran también la presencia de altas concentraciones de fenoles y flavonoides características del duramen maduro de *R. pseudoacacia* (Schwarze *et al.*, 1997; Schwarze y Fink, 1998; Dünisch *et al.*, 2010), extraíbles abundantes en vasos y parénquima axial (Latorraca *et al.*, 2011).

La pérdida acentuada de birrefringencia registrada en el leño atacado también se asocia con un estado avanzado de pudrición castaña. Autores como Wilcox (1993 a, b) y Anagnost (1998) consideran esta característica como la evidencia más relevante para diagnosticar este tipo de deterioro. En las muestras analizadas, la pérdida total de birrefringencia se observó en las paredes de las fibras, tipo celular estrechamente vinculado con la capacidad resistente de las maderas. Schwarze *et al.* (2000 a, b; 2003) atribuyen este rasgo a la disposición radial de las microfibrillas de celulosa en el estrato S2 de la pared (rasgo ausente en vasos y parénquima), lo cual favorece la difusión de los agentes de degradación. La birrefringencia observada en los elementos de vaso y en el parénquima axial también resultó compatible con la presencia de cristales y de los compuestos fenólicos citados para la especie.

El incremento relativo de la lignina respecto de la holocelulosa ( $I_{1164}$ ), celulosa amorfa ( $I_{896}$ ) y hemicelulosas ( $I_{1734}$ ) determinado mediante FT-IR en las muestras con pudrición, evidencia el ataque preferencial de los polisacáridos estructurales, forma de ataque característica de los hongos de pudrición castaña. Pandey y Pitman (2004) y Fabiyi *et al.* (2011) arribaron a resultados similares utilizando esta técnica para la caracterización química de leños de Latifoliadas expuestos a los hongos de pudrición castaña *Coniophora puteana* y *Gloeophyllum trabeum*. Asimismo, en las muestras de *R. pseudoacacia* se registró una degradación pronunciada de la celulosa amorfa, la cual se halla de modo preponderante y es más susceptible a la descomposición, siendo rasgos que permiten explicar el notable incremento en el índice de cristalinidad (Fackler *et al.*, 2010; Gawron *et al.*, 2012; Hastrup *et al.*, 2012).

La detección de una mayor relación  $I_{1335}/I_{1268}$  (S/G) en la madera atacada, sugiere un ataque preferencial del hongo sobre las unidades de tipo guayacil (G) de la lignina. Lo hallado podría asociarse a la metoxilación de este tipo de subunidad y su consecuente transformación en syringil (S). La metoxidación/demetoxidación es considerada la principal estrategia empleada por los hongos de pudrición castaña para la transformación inicial de la lignina (Yelle *et al.*, 2011; Fackler y Schwanninger, 2012).

*Laetiporus sulphureus* es reconocido por disminuir notablemente la capacidad resistente de las maderas atacadas (Schwarze y Fink, 1998; Schwarze, 1995, tomados de Schwarze *et al.*, 2000 a). En las pudriciones castañas, la intensa despolimerización de la celulosa y hemicelulosas que ocurre desde las primeras etapas del proceso de degradación afecta negativamente las propiedades de resistencia de la madera, otorgadas principalmente por la celulosa (Schwarze, 2007).

Para nuestro país, este trabajo constituye el primer registro de la presencia de *L. sulphureus* asociado al duramen de *Robinia pseudoacacia* y de las alteraciones químico-anatómicas presentes en el leño de estos ejemplares, modificaciones resultantes de infecciones naturales en el contexto urbano. Lo hallado se suma a otras interacciones registradas previamente por Murace *et al.* (2017) entre este patógeno y distintas especies de Latifoliadas presentes en la ciudad de La Plata (Argentina).

## 5. CONCLUSIONES

Del duramen de ejemplares de falsa acacia con rasgos de pudrición castaña fue aislado *Laetiporus sulphureus*. Si bien este xilófago es reconocido como un patógeno frecuente en el contexto urbano, responsable de este tipo de deterioro, la realización de los postulados de Koch permitirá confirmar su rol patogénico en los árboles bajo estudio. Las alteraciones químico-anatómicas resultantes de la interacción *L. sulphureus*-*R. pseudoacacia* se corresponden con un estado avanzado de pudrición castaña, reflejando una probable pérdida de la capacidad resistente del leño y un riesgo en la estabilidad de estos árboles implantados en espacios urbanos.

## AGRADECIMIENTOS:

Esta investigación fue parcialmente subsidiada por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva a través del proyecto PICT 2015-1620 (Mario Carlos Nazareno Saparrat), CONICET (PUE INFIVE) y UNLP, Argentina y por la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de La Plata, a través de los Proyectos I+D A344 (Mario Carlos Nazareno Saparrat); A296 (Analía Perelló).

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anagnost, S. E. 1998. Light microscopic diagnosis of Wood decay. *IAWA J.* 19:141-167.
- Blanchette, R. A. 1995. Degradation of the lignocellulose complex in wood. *Can. J. Bot.* 73(Suppl. 1):999-1010.
- Cierjacks, A.; I. Kowarik; J. Joshi; S. Hempel; M. Ristow; M. vander Lippe and E. Weber. 2013. Biological Flora of the British Isles: *Robinia pseudoacacia*. *Journal of Ecology* 101:1623-1640.
- D'ambrogio de Argüeso, A. 1986. *Manual de técnicas histológicas en plantas*. Ed. Hemisferio Sur, Buenos Aires.
- Deschamps, J. R. y J. R. Wright. 1976. Clave para el reconocimiento en cultivo de las especies xilófagas de Basidiomycetes argentinae. *Rev. Invest. Agrop.*, INTA, Bs. As., Rep. Argentina. Serie 5, Pat. Veg. 12(2).
- Ding, S.; H. Ho and J. D. Gu. 2020. Diversity, abundance and distribution of wood-decay fungi in major Parks of Hong Kong. *Forests* 11:1030.
- Dünisch, O.; H. G. Richter and G. Koch. 2010. Wood properties of juvenile and mature heartwood in *Robinia pseudoacacia* L. *Wood Science and Technology* 44(2):301-313.
- Espiñeira, J. M.; E. Novo Uzal; L. V. Gómez Ros; J. S. Carrión; F. Merino; A. Ros Barceló and F. Pomar. 2011. Distribution of lignin monomers and the evolution of lignification among lower plants. *Plant Biology* 13:59-68.
- Fabiyi, J. S.; A. G. Mcdonld; J. J. Morrell and C. Freitag. 2011. Effects of Wood species on durability and chemical changes of fung aldecayed of Wood plastic composites. Composites Part A: *Applied Science and Manufacturing* 42(5):501-510.
- Fackler, K. and M. Schwanninger. 2012. How spectroscopy and microspectroscopy of degraded Wood contribute to understand fung al Wood decay. *Applied Microbiology and Biotechnology* 96:587-599.
- Fackler, K.; J. S. Stevanic; T. Ters; B. Hinterstoisser; M. Schwanninger and L. Salmén. 2010. Localization and characterization of incipient brown-rotdecay within spruce Wood cell walls using FT-IR imaging microscopy. *Enzyme Microbiology and Technology* 47(6): 257-267.

- Gawron, J.; M. Szczesna; T. Zielenkiewicz and T. Gołofit. 2012. Cellulose crystallinity index examination in oak wood originated from antique woodwork. *Drewno. Pr. Nauk. Donies. Komunik* 55(188):109-114.
- Hastrup, A. C. S.; C. Howell; F. H. Larsen; N. Sathitsuksanoh; B. Goodell and J. Jellison. 2012. Differences in crystallinity in cellulose modification due to degradation by brown and white rot fungi. *Fungal Biology* 116(10):1052-1063.
- Hinterstoisser, B.; R. Jalkanen; M. Nowotny and M. Schwanninger. 2001. Lignification of Scots Pine trees from Arctic Circle up to timberline. *Buvisindi Icel. Agr. Sci.* 14:55-59.
- Iawa Committee. 1989. *List of Microscopic Features for Hardwood Identification*. Wheeler, Baas & Gasson (Eds).
- Insidewood Database. 2004 -onwards. Disponible en: insidewood.lib.ncsu.edu. [Fecha de consulta: Octubre del 2019]. Wheeler, E.A. 2011. InsideWood - a web resource for hardwood anatomy. *IAWA Journal* 32(2):199-211.
- Jelle, B. P. and P. J. Hovde. 2012. Fourier Transform Infrared Radiation Spectroscopy for wood rot decay and mould fungi growth detection. *Advances in Materials Science and Engineering* Article ID 969360, 6 pp.
- Latorraca, J. V. F.; O. Dunisch and G. Koch. 2011. Chemical composition and natural durability of juvenile and mature heart Wood of *Robinia pseudoacacia* L. *An Acad. Bras. Cienc.* 83(3):1059-1068.
- Lucentini, C. G.; R. Medina; M. E. Franco; C. N. Saparrat and P. A. Balatti, 2021. *Fulvia fulva* [syn. *Cladosporium fulvum*, *Passalora fulva*] races in Argentina are evolving through genetic changes and carry polymorphic *vr* and *ecp* gene sequences. *Eur J Plant Pathol* 159:525-542.
- Luna, M. L.; J. P. Ramos Giacosa; G. E. Giudice; P. V. Fernández; M. Ciancia and M. C. N. Saparrat. 2015. Structure and chemistry of the xylem of arborescent species of *Blechnum* from South America. *IAWA J.* 36:3-21.
- Murace, M. A.; M. L. Luna; M. G. García Ciuffani y A. Perelló, A. 2017. Modificaciones anatómicas y químicas en el leño de ejemplares del arbolado de la ciudad de La Plata (Buenos Aires) causadas por *Laetiporus sulphureus* (Basidiomycota, Polyporales). *Bol. Soc. Argent. Bot.* 52(4):647-661.
- Ota, Y.; T. Hattori; M. T. Banik; G. Hagedorn; K. Sotome; S. Tokuda and Y. Abe. 2009. The genus *Laetiporus* (Basidiomycota, Polyporales) in East Asia. *Mycol. Res.* 113:1283-1300.
- Pandey, K. K. and A. J. Pitman. 2003. FTIR studies of the changes in Wood chemistry following decay by Brown rot and white-rot fungi. *Int. Biodeterior. Biodegradation* 52:151-160.
- Pandey, K. K. and A. J. Pitman. 2004. Examination of the Lignin Content in a Softwood and a Hardwood Decayed by a Brown-Rot Fungus with the Acetyl Bromide Method and Fourier Transform Infrared Spectroscopy. *Journal of Polymer Science: Part A: Polymer Chemistry* 42:2340-2346.
- Poletto, M.; H. L. Ornaghi and A. J. Zattera. 2014. Native Cellulose: Structure, characterization and thermal properties. *Materials* 7:6105-6119.
- Rayner, A. D. M. and L. Boddy. 1988. *Colonization of the standing tree in Fungal decomposition of wood*. Wiley, Chichester, England.
- Riley, R.; A. A. Salamov; D. W. Brown; L. G. Nagy; D. Floudas; B. W. Held; A. Levasseur; V. Lombard; E. Morin; R. Otillar; E. A. Lindquist; H. Sun; K. M. Labutti; J. Schmutz; D. Jabbour; H. Luo; S. E. Baker; A. G. Pisabarro; J. D. Walton; R. A. Blanchette; B. Henrissat; F. Martin; D. Cullen; D. S. Hibbett and I. V. Grigoriev. 2014. Extensive sampling of basidiomycete genomes demonstrates inadequacy of the white-rot/brown-rot paradigm for wood decay fungi. *PNAS* 111:9923-9928.
- Rivera, S. M. and M. S. Lenton. 1999. La xilología y las propiedades mecánicas de cinco maderas nativas argentinas. *Quebracho* 7: 72-78.

- Robles, C. A.; C. C. Carmarán and S. E. López. 2011. Screening of xylophagous fungi associated whit *Platanus acerifolia* in urban landscapes: Biodiversity and potential biodeterioration. *Landscape and Urban Planning* 10:129-135.
- Saparrat, M. C. N.; J. M. Estevez; M. I. Troncozo; A. Arambarri and P. Balatti. 2010. In-vitro depolymerization of *Scutiabuxifolia* leaf-litter by a dominant Ascomycota *Ciliochorella* sp. *International. Biodeterioration and Biodegradation* 64:262-266.
- Schwarze, F. W. M. R. 2004. Forest Pathology: Heart Rot and Wood Decay. *En: Burley, J., J. Evans, J. Youngquist (Eds), Encyclopedia of Forest Sciences* (pp. 808-816). Elsevier Science.
- Schwarze, F. W. M. R. 2007. Review Wood decay under the microscope. *Fungal Biol. Rev.* 21:133-170.
- Schwarze, F. W. M. R.; D. Lonsdale and S. Fink. 1997. An overview of Wood degradation patterns and the implications for tree Hazard assessment. *Arb. Jour.* 21:1-32.
- Schwarze, F. W. M. R.; J. Engels and C. Mattheck. 2000a. *Fungal strategies of wood decay in trees*. Springer Verlag, Berlin.
- Schwarze, F. W. M. R.; S. Baum and S. Fink. 2000b. Resistance of fibre regions in wood of *Acer pseudoplatanus* degraded by *Armillaria mellea*. *Mycological Research* 104(9):1126-1132.
- Schwarze, F. W. M. R. and S. Fink. 1998. Host and cell type affect the mode of degradation by *Meripilus giganteus*. *New Phytol.* 139:721-731.
- Schwarze, F. W. M. R.; S. Fink and D. Deflorio. 2003. Resistance of parenchymacells in Wood to degradation by Brown rot fungi. *Mycological Progress* 2(4):267-274.
- Shi, J.; D. Xing and J. Li. 2012. FTIR Studies of the Changes in Wood Chemistry from Wood Forming Tissue under Inclined Treatment. *Energy Procedia* 16:758-762.
- Stalpers, J. A. 1978. Identification of wood-inhabiting Aphyllophorales in pure culture. *Stud. Mycol.* 16:1-248.
- Terho, M. and A. M. Hallaksela. 2005. Potential Hazard characteristic of *Tilia*, *Betula*, and *Hacer* trees removed in the Helsinki City Area during 2001-2003. *Urban Forestry & Urban Greening* 3:113-120.
- Urcelay, C.; G. Robledo; F. Heredia; G. Morera y F. García Montaña. 2012. *Hongos de la madera en el arbolado urbano de Córdoba*. 1ra ed. Córdoba: Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal. Universidad Nacional de Córdoba - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (UNC-CONICET).
- Wilcox, W. W. 1993 a. Comparative morphology of early stages of brown-rot wood decay. *IAWA J.* 14:127-138.
- Wilcox, W. W. 1993 b. Comparison of scanning electron microscopy and light microscopy for the diagnosis of early stages of Brown rot decay. *IAWA J.* 14:219-226.
- Yelle, D. J.; D. Wei; J. Ralph and K. E. Hammel. 2011. Multidimensional NMR analysis reveals truncated lignin structures in Wood decayed by the Brown rot basidiomycete *Postia placenta*. *Environmental Microbiology* 13:1091-1100.



NOTA TÉCNICA

## Sobrevida post-anillado de tres especies exóticas invasoras arbóreas de las Sierras de Córdoba (Argentina)

*Post-girdling survival in three invasive alien woody species from the Sierras de Córdoba (Argentina)*

Karlin, M.<sup>1,2</sup>; A. Cora<sup>1,3</sup>; J. Bernasconi Salazar<sup>1</sup> y F. Ontivero<sup>1</sup>

Recibido en septiembre de 2021; aceptado en julio de 2022

### RESUMEN

Se evaluó la sobrevida de *Morus alba* L., *Melia azederach* L. y *Ligustrum lucidum* W.T. Aiton a partir de la aplicación del anillado simple como técnica de control de especies exóticas invasoras. En una microcuenca de la Reserva Natural de la Defensa La Calera se identificaron, marcaron y anillaron 60 individuos adultos mediante un corte de radio superior al 12 % del diámetro de fuste. Cada población tratada fue dividida en dos clases diamétricas, inferior y superior, según la mediana del diámetro a la altura del pecho (DAP). Se contabilizaron árboles vivos y muertos a los 72, 204, 439, 600 y 972 días de realizado el tratamiento. El tratamiento tuvo diferentes grados de efectividad según la población tratada. *M. azederach* fue la población más sensible al tratamiento con el 83 % de mortandad a los dos años y medio del tratamiento, mientras que *M. alba* mostró una sensibilidad ligeramente menor, con 66 %. *L. lucidum* tuvo la menor sensibilidad al tratamiento, con 20 % de mortandad. La mortandad de los individuos de *M. alba* y *L. lucidum* tratados fue mayor en aquellos de DAP inferior, mientras que la efectividad en *M. azederach* no varió según la clase de diámetro de fuste.

**Palabras clave:** Invasiones biológicas, *Melia azederach*, mortalidad, *Morus alba*, *Ligustrum lucidum*, tratamiento silvicultural.

### ABSTRACT

The survival of *Morus alba* L., *Melia azederach* L. and *Ligustrum lucidum* W.T. Aiton was evaluated after the application of simple girdling as a technique for controlling invasive alien species. In a micro-basin of the Reserva Natural de la Defensa La Calera, 60 adult individuals were identified, marked and girdled using a radius cut larger than 12 % of the stem diameter. Each treated population was divided into two diameter classes, inferior and superior, according to the median of the breast height diameter (DAP). Alive and dead trees were counted at 72, 204, 439, 600 and 972 days after the treatment. The treatment had different degrees of effectiveness according to the population treated. *M. azederach* was the most sensitive population to the treatment with 83% mortality at two and a half years of treatment, while *M. alba* showed a slightly lower sensitivity, with 66 %. *L. lucidum* showed the lowest sensitivity to the treatment, with 20 % mortality. The mortality of *M. alba* and *L. lucidum* treated individuals was higher in those with lower DAP, while the effectiveness in *M. azederach* did not vary according to the stem diameter class.

**Key words:** Biological invasions, *Melia azederach*, mortality, *Morus alba*, *Ligustrum lucidum*, silvicultural treatment.

<sup>1</sup>Asociación Civil El Cuenco, Equipo Ambiental. Personería Jurídica Res. N°364 "A"/13. Tucumán 438, Pilar, CP 5972. Córdoba, Argentina. E-mail: mkarlin@agro.unc.edu.ar

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Félix Marrone 746, Ciudad Universitaria, CC 509, CP 5000, Córdoba, Argentina.

<sup>3</sup>Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, EEA-Manfredi, Ruta 9 km 636, CP 5972. Córdoba, Argentina.

## 1. INTRODUCCIÓN

La introducción intencional o accidental, adaptación, instalación y propagación de especies exóticas es un fenómeno común en la era de la globalización, como consecuencia de los flujos acelerados de materia e información. Algunas de estas especies exóticas pueden encontrar en sus nuevos hábitats espacios susceptibles a ser invadidos, compitiendo con especies locales por sus recursos. La invasión biológica de especies exóticas implica un impacto importante sobre las comunidades de plantas nativas y trae como consecuencia la modificación del ecosistema en general (Ceballos *et al.*, 2015).

Las áreas montanas son particularmente susceptibles de ser invadidas, especialmente en zonas donde circula agua libre (arroyos, ríos) ya que muchas especies con alto potencial de invasión consumen grandes volúmenes de agua y desarrollan estrategias que les permiten competir exitosamente contra las especies nativas (Hoyos *et al.*, 2010; Tickner *et al.*, 2001; Schnitzler *et al.*, 2007; Zeballos *et al.*, 2014).

La invasión de especies exóticas puede provocar importantes cambios en el funcionamiento de los ecosistemas y los servicios que estos pueden brindar, generando pérdidas importantes en términos económicos (Aragón *et al.*, 2014; Ayup *et al.*, 2014; Giorgis *et al.*, 2011; Jobbagy *et al.*, 2013; Karlin *et al.*, 2014; Karlin *et al.*, 2019).

En las Sierras de Córdoba, la invasión de especies exóticas es un fenómeno ecológico de alto impacto (Hoyos *et al.*, 2010). Por lo tanto, desarrollar estrategias de control de estas especies es un tema central para el manejo y conservación del bosque nativo. Para ello es necesario estudiar estrategias de control que resulten sencillas, económicas, expeditivas y de bajo impacto ambiental, que contribuyan a reducir los impactos ecológicos, mitigando los impactos económicos y sociales.

La apertura del dosel de especies exóticas permitiría la repoblación natural o bien la aplicación de métodos de enriquecimiento forestal a fin de modificar la estructura y la composición florística, restableciendo la diversidad original del área. La eliminación de individuos mediante las técnicas de anillado es eficiente para una apertura gradual de las copas (Brassiolo *et al.*, 2008) pero, a la actualidad, son escasos los estudios que analicen la efectividad del anillado como método para el control de especies exóticas leñosas (Bernasconi Salazar *et al.*, 2018; Goodland *et al.*, 1998; Loh y Daehler, 2008). Por otro lado, a pesar de haber obtenido algunos buenos resultados para el control de exóticas en algunas experiencias y con algunas especies, debe destacarse que la técnica de anillado, dependiendo de la fenología y fisiología de la especie en cuestión, podría estimular durante los primeros años post-anillado una mayor floración y fructificación, que podría incrementar la lluvia de semillas de las especies tratadas (Markiewicz, 2007), aumentando el número de propágulos en el banco de semillas. Es por esto que a futuro se deberían considerar estudios de producción de semillas en las especies tratadas luego del anillado.

La hipótesis planteada es que la técnica de anillado simple será efectiva para el control de las especies *Morus alba* L., *Melia azederach* L. y *Ligustrum lucidum* W.T. Aiton.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la sobrevida de tres especies exóticas invasoras forestales del Chaco Serrano (Argentina) frente a la aplicación de la técnica de anillado simple.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en una microcuenca de la Reserva Natural de la Defensa La Calera, Córdoba (Argentina), específicamente en el sector ripario intermedio de la Quebrada del Pumahuá (punto extremo aguas arriba: 31°24'18"S- 64°24'35"O; punto extremo aguas abajo: 31°24'17"S- 64°24'32"O), abarcando un área de aproximadamente 4.000 m<sup>2</sup>. En dicho sector se encontraba

una comunidad riparia de substitución con dominancia de *M. alba* y co-dominancia de *M. azederach* y *L. lucidum*. Como especie forestal remanente del bosque original se encontró *Sebastiania comersioniana* (Baill.) L.B.Sm. et Downs.

Se identificaron, marcaron y anillaron 60 individuos, de los cuales 45 correspondieron a *M. alba* (mediana del diámetro a la altura del pecho –DAP– de 27 cm), 10 a *M. azederach* (mediana del DAP 22 cm) y 5 a *L. lucidum* (mediana del DAP 31 cm). Cada población fue dividida en dos clases diamétricas, una superior y otra inferior a la mediana del DAP de cada población, a los fines de evaluar el tratamiento sobre árboles de mayor y menor porte. Para la clase diamétrica inferior se analizaron 22 individuos de *M. alba*, 5 de *M. azederach* y 2 de *L. lucidum*. Para la clase diamétrica superior se analizaron 23 de *M. alba*, 5 de *M. azederach* y 3 de *L. lucidum*.

El tratamiento consistió en un anillado simple considerando que el corte radial tuviera una profundidad superior al 12 % del diámetro del fuste (por debajo de la zona del cambium), de acuerdo a lo experimentado por Bernasconi *et al.* (2018), y un ancho equivalente al grosor de la espada de una motosierra Stihl MS 271 (8,25 mm), utilizada para este ensayo. De esta forma el tratamiento asegura una intensidad de corte proporcional de acuerdo al tamaño del individuo tratado.

El tratamiento se realizó el 10 de octubre de 2018. Los individuos fueron relevados a los 72, 204, 439, 600 y 972 días post-tratamiento. Se registraron los árboles vivos (0) y muertos (1) como variable binaria que sirvió posteriormente para el análisis estadístico de sobrevida.

Se analizaron las curvas de Kaplan-Meier (Efron, 1988) a fin de estudiar la sobrevida de los individuos tratados. Primero se compararon las tres especies independientemente de su categorización por clase diamétrica; luego se analizó cada especie por separado teniendo en cuenta la clase diamétrica de los individuos. Por último, se trataron los datos de *M. alba* y *L. lucidum* en conjunto a través de un análisis de Sensibilidad-Especificidad (Fleming y Harrington, 1991) cuyas curvas, al cruzarse, definen un punto que corresponde al diámetro a la altura del pecho crítico (Threshold) a partir del cual el tratamiento pierde efectividad. La variable binaria analizada (vivo/muerto; 0/1) consideraba como éxito del tratamiento el individuo muerto a los 972 días desde el comienzo del tratamiento. Los análisis estadísticos se realizaron mediante software estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2020).

### 3. RESULTADOS

Las curvas de sobrevida muestran comportamientos diferentes de acuerdo a la especie y al porte de los individuos. Comparando las tres especies en su totalidad (Figura 1) se observa que *M. azederach* es la especie más sensible al anillado, mientras que *L. lucidum* es muy poco sensible. *M. alba* posee un comportamiento similar a la primera, pero en menor grado de sensibilidad. Entre las tres especies existen diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,0001$ ).

El modelo muestra que al año de transcurrido el tratamiento, sólo el  $23 \pm 2$  % (aproximadamente uno de cada cuatro) individuos de *M. alba* mueren; a los dos años, el  $51 \pm 3$  % (uno cada dos), y al final del estudio, a poco más de dos años y medio desde su inicio,  $66 \pm 2$  % (dos de cada tres). En el caso de *M. azederach*, el modelo muestra que al año mueren el  $33 \pm 5$  % de los individuos (uno de cada tres); a los dos años,  $67 \pm 5$  % (dos de cada tres), y al final,  $83 \pm 3$  % (aproximadamente cuatro de cada cinco). La especie *L. lucidum* muestra muy poca sensibilidad al tratamiento, a lo largo del tiempo sólo se registró un deceso entre los cinco individuos tratados.

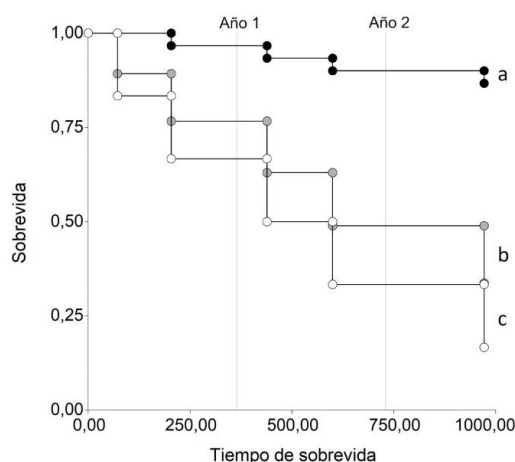


**Figura 1.** Curvas de supervivencia de Kaplan-Meier para *Morus alba* (—●—), *Melia azederach* (---○---) y *Ligustrum lucidum* (—●—). Las marcas verticales indican 1 y 2 años transcurridos desde el anillado. Chi-cuadrado para el log Rank test=28,2;  $P < 0,0001$ . Letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas al  $P$ -valor=0,05.

En relación a la respuesta según clase diamétrica, los resultados pueden observarse en las Figuras 2, 3 y 4, para *M. alba*, *M. azederach* y *L. lucidum*, respectivamente.

En el primer caso (Figura 2) puede observarse que los individuos de *M. alba* de menor porte (< 27 cm DAP) son ligeramente pero significativamente ( $P = 0,0169$ ) más sensibles al tratamiento que los individuos de mayor porte (> 27 cm DAP). La mortalidad encontrada a los 972 días desde el tratamiento fue del  $73 \pm 3$  y  $59 \pm 4$  % para DAP inferiores y superiores, respectivamente.

En *M. azederach* no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre clases diamétricas ( $P = 1$ ). Como ya se mencionará, la eficiencia del anillado para ambas clases fue del  $83 \pm 3$  %.

Finalmente, para *L. lucidum* la eficiencia del anillado es baja para ambas clases diamétricas,  $33 \pm 13$  % para la inferior y 0 para la superior; la diferencia de la eficiencia entre las clases resultaron ser estadísticamente significativas ( $P = 0,00869$ ).

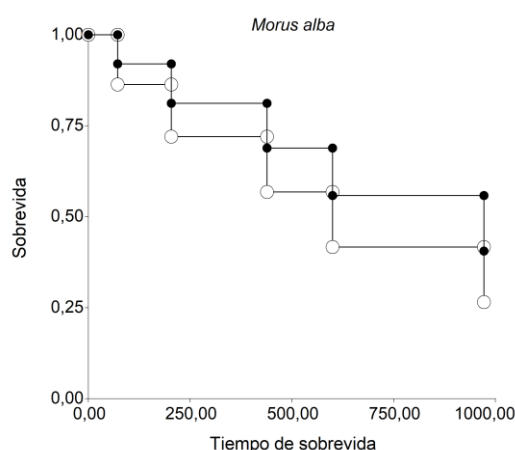


**Figura 2.** Curvas de supervivencia de Kaplan-Meier para *Morus alba*. ---○---: clases diamétricas inferiores (<27 cm DAP); —●—: clases diamétricas superiores (>27 cm DAP). Chi-cuadrado para el log Rank test = 5,71;  $P = 0,0169$ , significativo al  $P$ -valor=0,05.

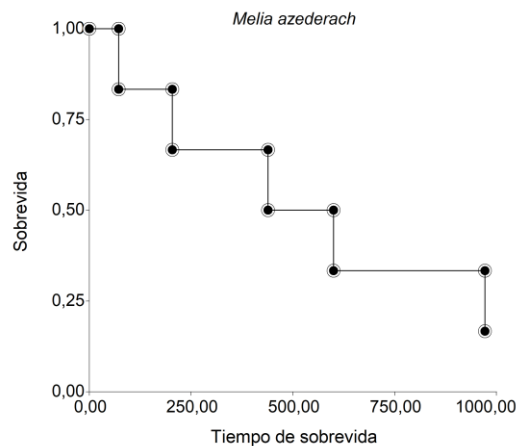


**Figura 3.** Curvas de sobrevida de Kaplan-Meier para *Melia azederach*. —○—: clases diamétricas inferiores (<22 cm DAP); —●—: clases diamétricas superiores (>22 cm DAP). Chi-cuadrado para el log Rank test = 0,00; P = 1,00, no significativo al P-valor=0,05.

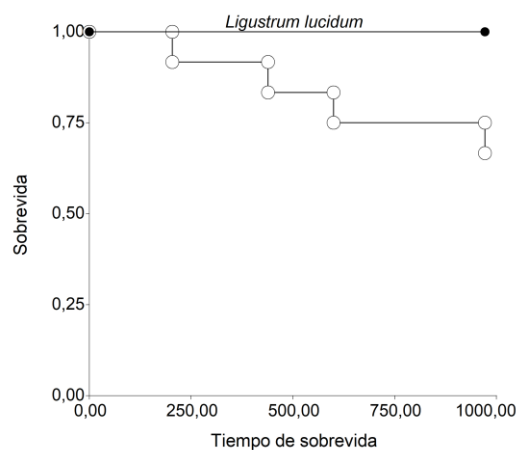


**Figura 4.** Curvas de sobrevida de Kaplan-Meier para *Ligustrum lucidum*. —○—: clases diamétricas inferiores (<31 cm DAP); —●—: clases diamétricas superiores (>31 cm DAP). Chi-cuadrado para el log Rank test = 6,89; P = 0,00869, significativo al P-valor=0,05.

En *M. alba* y *L. lucidum* se aprecia que la eficiencia disminuye en función del porte. Al comparar clases diamétricas en conjunto de ambas especies (excluido *M. azederach*), aquellas con DAP > 40 cm se diferencian significativamente del resto (Chi-cuadrado para el log rank test=21,550  $p=0,000021$ ), mientras que comparando únicamente la clase entre 30 y 40 cm con la clase menor 20 cm de DAP, éstas no se diferencian estadísticamente (Chi-cuadrado para el log rank test=1,331  $p=0,248695$ ), lo que indicaría que no existe una relación lineal entre el diámetro del fuste y la sensibilidad al tratamiento, sino que existen umbrales críticos a partir del cual la efectividad del tratamiento disminuye significativamente. Ese umbral (Threshold), al analizar en conjunto *M. alba* y *L. lucidum*, resultó ser de 31,75 cm de DAP (Figura 5). El análisis se hizo en conjunto para ambas especies puesto que el número de individuos disponibles para *L. lucidum* era reducido; sin embargo sería conveniente realizar en el futuro análisis por separado con un mayor número de individuos.

A partir de los resultados obtenidos se podrían definir estrategias de control de especies exóticas invasoras. Si el bosque de sustitución posee individuos de gran porte, es posible que se deba complementar esta técnica de anillado con otras tales como productos fitosanitarios para leñosas.

El aumento progresivo de la mortandad en el tiempo resulta útil en planes de remediación. Esto se debe a que se evitan problemas de erosión al haber un gradual cambio de estructura, dónde la apertura de la canopia y el incremento en la entrada de luz fomentan la vegetación nativa en el sotobosque en reemplazo de la invasora (Loh y Daehler, 2008).

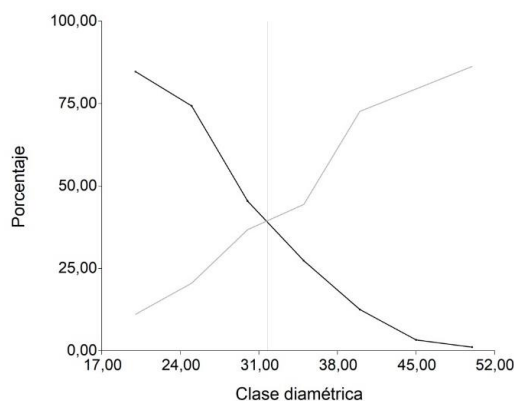


**Figura 5.** Curvas de sensibilidad (—) y especificidad (—) para el conjunto de individuos de *Morus alba* y *Ligustrum lucidum* (Threshold: 31,75 cm DAP; n = 50)

#### 4. CONCLUSIONES

La efectividad del método anillado simple varía según la especie y al porte de los individuos tratados. En *L. lucidum* no resultó ser efectivo, aunque se recomienda a futuro efectuar ensayos con mayor número de individuos. La especie más sensible fue *M. azederach*, seguida por *M. alba* con una sensibilidad ligeramente inferior al tratamiento. Además, en *M. alba* y *L. lucidum* la eficiencia del método se reduce con el aumento del porte del árbol. De esta forma, la hipótesis planteada es parcialmente aceptada.

La mortandad de los individuos tratados de *M. alba* y *L. lucidum* depende de un umbral crítico de DAP de 31,75 cm, por encima del cual se reduce la efectividad del tratamiento, aunque dicha efectividad depende de la especie en cuestión. La efectividad en *M. azederach* no varía de acuerdo al DAP.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Fundación AVINA por el financiamiento efectuado al proyecto “El manejo como herramienta para la recuperación de cuencas”.

#### 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aragón, R.; L. Montti; M. M. Ayup and R. Fernández. 2014. Exotic species as modifiers of ecosystem processes: Litter decomposition in native and invaded secondary forests of NW Argentina. *Acta Oecologica* 54: 21-28.
- Ayup, M. M.; L. Montti; R. Aragón and H. R. Grau. 2014. Invasion of *Ligustrum lucidum* (Oleaceae) in the southern Yungas: Changes in habitat properties and decline in bird diversity. *Acta Oecologica* 54: 72-81.

- Bernasconi Salazar, J.; A. Cora; M. S. Karlin y L. González. 2018. Eficiencia del anillado y profundidad de corte óptima para el control de dos especies leñosas exóticas invasoras del Chaco Serrano argentino. *Agriscientia* 35(2): 11-18.
- Brassiolo, M. M.; C. Gómez; M. G. Senilliani and C. López. 2008. Mortalidad selectiva inducida para raleos en bosques nativos. *Quebracho* 16: 94-101.
- Ceballos, S. J.; A. Malizia and N. P. Chacoff. 2015. Influencia de la invasión de *Ligustrum lucidum* (Oleaceae) sobre la comunidad de lianas en la sierra de San Javier (Tucumán–Argentina). *Ecología Austral* 25(1): 65-74.
- Di Rienzo, J.; F. Casanoves; L. González; M. Tablada; C. Robledo y M. Balzarini. 2020. Infostat. Software estadístico. Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Argentina.
- Efron, B. 1988. Logistic regression, survival analysis, and the Kaplan-Meier curve. *Journal of the American Statistical Association* 83(402): 414-425.
- Fleming, T. R. y D. P. Harrington. 1991. *Counting processes and survival analysis*. John Wiley y Sons, Inc., NY, US. 448 p.
- Giorgis, M. A.; P. A. Tecco; A. M. Cingolani; D. Renison; P. Marcora P. and V. Paiaro. 2011. Factors associated with woody alien species distribution in a newly invaded mountain system of central Argentina. *Biological Invasions* 13(6): 1423-1434.
- Goodland, T. C. R.; J. R. Healy and P. Binggeli. 1998. *Control and management of invasive alien woody plants in the tropics*. Publication Number 14, School of Agricultural and Forest Sciences, University of Wales. 21 p.
- Hoyos, L. E.; G. I. Gavier-Pizarro; T. Kuemmerle; E. H. Bucher; V. C. Radeloff and P. A. Tecco. 2010. Invasion of glossy privet (*Ligustrum lucidum*) and native forest loss in the Sierras Chicas of Córdoba, Argentina. *Biological Invasions* 12(9): 3261-3275.
- Jobbágy, E. G.; A. M. Acosta y M. D. Noretto. 2013. Rendimiento hídrico en cuencas primarias bajo pastizales y plantaciones de pino de las sierras de Córdoba (Argentina). *Ecología Austral* 23(2): 87-96.
- Karlin, M. S.; C. Schneider; S. Rufini; J. Bernasconi; R. Accietto; U. Karlin and Y. Ferreyra. 2014. Caracterización florística de la Reserva Natural Militar Estancia La Calera. *Nature and Conservation* 7(1): 6-18.
- Karlin, M. S.; J. Bernasconi Salazar; A. Cora; S. Sánchez; S. Arnulphi y R. Accietto. 2019. Cambios en el uso del suelo: capacidad de infiltración en el centro de Córdoba (Argentina). *Ciencia del Suelo* 37(2): 196-208.
- Loh, R. K. and C. C. Daehler. 2008. Influence of woody invader control methods and seed availability on native and invasive species establishment in a Hawaiian forest. *Biological Invasions* 10(6): 805-819.
- Markiewicz, P. 2007. Problems with seed production of European larch in seed orchards in Poland. En: *Proceedings of a Seed Orchard Conference*, 26-28 September 2007, p 161-164. Swedish University of Agricultural Sciences, Umeå, Suecia.
- Schnitzler, A.; B. W. Hale and E. M. Alsum. 2007. Examining native and exotic species diversity in European riparian forests. *Biological Conservation* 138(1): 146-156.
- Tickner, D. P.; P. G. Angold; A. M. Gurnell and J. O. Mountford. 2001. Riparian plant invasions: hydrogeomorphological control and ecological impacts. *Progress in Physical Geography* 25(1): 22-52.
- Zeballos, S. R.; M. A. Giorgis; A. M. Cingolani; M. Cabido; J. I. Whitworth Hulse and D. E. Gurvich. 2014. Do alien and native tree species from Central Argentina differ in their water transport strategy? *Austral Ecology* 39(8): 984-991.



NOTA TÉCNICA

## Rendimientos operativos y costos de poda en plantaciones de *Prosopis alba*

### *Operating yields and pruning costs in Prosopis alba plantations*

García, J.<sup>1</sup>; M. Sarmiento<sup>2</sup>; G. Cardona<sup>2</sup>; R. Sanchez Ugalde<sup>2</sup>

Recibido en abril de 2022; aceptado en septiembre de 2022

#### RESUMEN

La poda forestal es una práctica necesaria para obtener una madera de calidad, libre de nudos y de mayor valor en el mercado. La misma requiere llevarse a cabo en varias etapas utilizando técnicas y herramientas adecuadas. La provincia de Santiago del Estero cuenta con casi 3.000 ha forestadas con algarrobo blanco (*Prosopis alba*), en la cual la mayoría carece de manejo silvícola. El objetivo de este trabajo es evaluar rendimientos operativos y costos de poda en plantaciones forestales de diferentes edades. La muestra estuvo conformada por 3 productores con parcelas ubicadas en los departamentos Robles y Loreto de la provincia de Santiago del Estero. El trabajo de campo permitió registrar los tiempos operativos de prácticas de poda con diferentes herramientas, como así también estimar los costos. El estudio demuestra que la 1ª poda de formación demanda 0,32 min. árbol<sup>-1</sup>, la 2ª poda de conducción requiere 0,81 min. árbol<sup>-1</sup> y la 3ª poda 1,21 min. árbol<sup>-1</sup>. Asimismo, los rendimientos de poda por hombre resultaron en: 1,25 ha. jornal<sup>-1</sup> para la 1ª poda; 0,66 ha. jornal<sup>-1</sup> para la 2ª poda y 0,25 ha. jornal<sup>-1</sup> para la 3ª poda. Se concluye que la especie Algarrobo blanco (*Prosopis alba*) requiere de una silvicultura de formación en tiempo y forma para garantizar una buena calidad de madera y reducir costos de ejecución.

**Palabras clave:** tratamiento silvícola, especie nativa, motosierra, madera de calidad, poda.

#### ABSTRACT

Forest pruning is a practice necessary to obtain wood of quality, free of knots and of greater value in the market. It should be carried out in several stages using appropriate techniques and tools. The province of Santiago del Estero has almost 3.000 hectares planted with algarrobo blanco (*Prosopis alba*), most of which lack forestry management. The objective of this work is to evaluate the operating yields and pruning costs in forest plantations of different ages. The sample comprised 3 producers with plots located in the Robles and Loreto Departments of the province of Santiago del Estero. The field work allowed to record the operative times of the pruning practices with different tools, as well as to estimate the costs. The study shows that the first formation pruning requires 0.32 min. tree<sup>-1</sup>, the second conduction pruning requires 0.81 min. tree<sup>-1</sup> and the third pruning 1.21 min. tree<sup>-1</sup>. Likewise, pruning yields per man were: 1.25 ha. journal<sup>-1</sup> for the first pruning; 0.66 ha. journal<sup>-1</sup> for the second pruning, and 0.25 ha. journal<sup>-1</sup> for the 3rd pruning. It is concluded that the species Algarrobo blanco (*Prosopis alba*) requires timely forestry training to guarantee a good quality of wood and reduce execution costs.

**Keywords:** silvicultural treatment, native species, chainsaw, wood of quality, pruning.

<sup>1</sup>Becario CONICET. E-Mail: jorgegarcia5439@gmail.com

<sup>2</sup>Docente Cátedra de Economía y Administración Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE). Av. Belgrano (s) 1912. Santiago del Estero, Argentina.

## 1. INTRODUCCIÓN

El algarrobo blanco (*Prosopis alba* Griseb.) se destaca como especie forestal nativa de gran importancia en las Regiones Semiáridas Argentinas. Es muy abundante en la zona centro y norte del país y en las provincias fitogeográficas del Chaco, Espinal y del Monte. La especie es utilizada en mueblería y carpintería (FAO, 2011), además ofrece frutos aptos para el consumo humano y como forraje (Bender *et al.*, 2016; Ledesma *et al.*, 2008; Meloni *et al.*, 2017).

La Ley Nacional N° 25.080 y su prórroga Ley N° 27.487 (Poder Legislativo, 2019), fomentan en el territorio nacional un régimen de promoción forestal de especies nativas y exóticas mediante Apoyos Económicos No Reintegrables (AENR). Actualmente, el algarrobo blanco es la principal especie nativa promocionada para realizar plantaciones comerciales en la región del Parque Chaqueño (Coronel de Renolfi y Gómez, 2014).

Las plantaciones de algarrobo, cuyo objetivo principal es la producción maderable, exigen manejos silviculturales de podas y raleos para optimizar el crecimiento y la producción de madera de calidad (Atanasio *et al.*, 2019).

La poda forestal consiste en la eliminación de las ramas vivas o muertas de la parte inferior del fuste del árbol, utilizando técnicas y herramientas adecuadas (Davel *et al.*, 2009). Su objetivo principal es mejorar la calidad de la madera. Mediante esta intervención se busca obtener una producción de madera libre de nudos (Dimarco, 2014; Flores Alvarado, 2018; Vera y Larocca, 2004). La poda de formación es clave para mejorar la forma y calidad del fuste y a su vez eliminar ramas secundarias que compiten con el eje principal (Di Marco, 2013).

En la actividad forestal resulta de sumo interés la determinación de los costos operativos en los trabajos de poda para las distintas especies (Vega y Pérez, 2010). En este sentido, Coronel de Renolfi y Ortuño Pérez (2009) indican que para garantizar el éxito de las actividades forestales se requiere que cada etapa se realice con la asignación óptima de los recursos y que se emplee el tiempo operativo apropiado.

A nivel nacional se pueden mencionar algunos antecedentes sobre la temática. En la región Patagónica, Claps (2020) muestra el resultado económico de una plantación forestal de pino ponderosa en la cual contempla las tareas silvícolas de poda. En la misma región, Davel y Arquero (2017) estudian diferentes intensidades de podas para madera de calidad en plantaciones de álamos. Por otro lado, en la provincia de Entre Ríos, Vera y Larocca (2004) investigan la evaluación económica de plantaciones de eucaliptos y rendimientos de poda.

En el Parque Chaqueño se investiga aspectos de la especie algarrobo blanco como su biología, dendrología, silvicultura y manejo forestal (Atanasio, 2014; Cisneros y Moglia, 2011; Delvalle y Petkoff, 2008; Kees, 2016; Pérez *et al.*, 2010; Senilliani y Brassiolo, 2020). El estudio más apreciable en aspectos económicos, es el expuesto por Vega y Pérez, (2010) quienes determinan el costo medio de la primera poda en plantaciones de algarrobo blanco en la provincia de Formosa.

Cardona *et al.*, (2018) señalan que en la provincia de Santiago del Estero son exigüos los estudios sobre tiempos operativos, rendimientos y costos forestales. Del mismo modo, Coronel de Renolfi *et al.*, (2014), remarcan la escasez de investigación de aspectos económicos del algarrobo blanco tales como rendimientos y costos.

El objetivo de esta investigación es determinar los rendimientos operativos durante las actividades de podas en plantaciones de *Prosopis alba* y estimar los costos incurridos en la actividad.

La información obtenida de este estudio aportará parámetros orientativos para planificar la ejecución de tareas de poda y estimar con mayor precisión su impacto económico en los proyectos de plantaciones de *Prosopis*.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Área de estudio

La provincia de Santiago del Estero está situada en el centro norte de Argentina y tiene una superficie de 145.690 km<sup>2</sup>, siendo la décima en extensión del país. Se encuentra ubicada entre los 25° 35' y los 30° 41' de latitud sur y entre los 61° 34' y los 65° 34' de longitud oeste (Pérez-Carrera *et al.*, 2008). Las precipitaciones en la provincia disminuyen en sentido este a oeste, con un promedio anual de 575 mm (Moscuza *et al.*, 2003).

El estudio tuvo lugar en los departamentos Robles (localidades de Beltrán y Colonia El Simbolar) y departamento Loreto (ciudad homónima). Ambos departamentos se encuentran ubicados dentro del área de riego de la provincia (Figura 1).

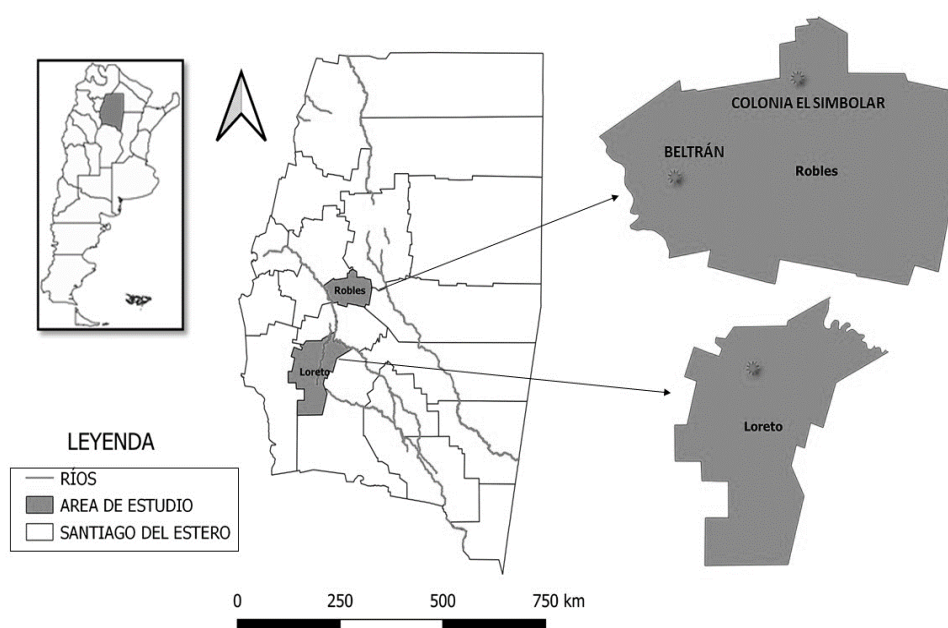


**Figura 1.** Área de estudio: Departamentos Robles y Loreto provincia de Santiago del Estero, Argentina.

### 2.2 Relevamiento de los datos

La muestra de estudio estuvo compuesta por tres lotes con plantaciones de algarrobo blanco de diferentes edades y densidades (Tabla 1). Se evaluaron tres tipos de podas en función de la situación silvícola presentada en cada sitio.

Se analizaron dos casos situados en el departamento Robles cuyos marcos de plantación fueron de 4m x 5m (500 pl/ha) y un tercer caso en el departamento Loreto con un marco de plantación de 4m x 4m (625 pl/ha).

**Tabla 1.** Tipo de poda ejecutada por muestra y características de la plantación.

| Poda                 | Sitio            | Edad (años) | Densidad (pl/ha) | Diámetro medio(cm) | Altura total media(m) |
|----------------------|------------------|-------------|------------------|--------------------|-----------------------|
| 1ª Poda (Formación)  | Col. El Simbolar | 3           | 500              | 3                  | 1.5                   |
| 2ª Poda (Conducción) | Beltrán          | 5           | 500              | 15                 | 5                     |
| 3ª Poda (Conducción) | Loreto           | 8           | 625              | 12                 | 4                     |

Las características de manejo de las plantaciones se detallan a continuación.

- Colonia El Simbolar: Plantación con riego a manto.
- Beltrán: Plantación con manejo (1ª poda previa) y riego a manto.
- Loreto: Plantación sin manejo y sin riego (árboles bifurcados y tortuosos).

## 2.3 METODOLOGÍA

El muestreo de estudio fue del tipo intencional (Otzen y Manterola, 2017). Se seleccionaron lotes de plantaciones de diferentes edades con el fin de evaluar el rendimiento y costo en distintos contextos silvícolas. Las unidades experimentales consistieron en 3 lotes con plantaciones puras de algarrobo blanco, incluidos dentro de la categoría Pequeños Productores (Forestaciones de hasta 10 ha).

La mano de obra empleada y herramientas utilizadas (Tabla 2) depende del tipo de poda realizada y condición silvícola del rodal (Figura 2). El jornal de trabajo considerado fue de 8 h/día (6 h efectivas y 2 h de descanso reglamentario). Los operarios participantes del estudio tuvieron todos los mismos niveles de experiencia.

**Tabla 2.** Mano de obra y herramientas empleadas en los sitios de estudio

| Tipo de poda | Localidad           | Nº de operarios | Herramientas empleadas                                    |
|--------------|---------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------|
| 1ª Poda      | Colonia El Simbolar | 4               | Podón/Tijerón (Bahco P160-sl-90)                          |
| 2ª Poda      | Beltrán             | 3               | Podón; Motosierra (Stihl ms 250); Serrucho (Biassoni 330) |
| 3ª Poda      | Loreto              | 3               | Motosierra; Podón; Serrucho                               |



**Figura 2.** Primera poda de formación (1); segunda y tercera poda de conducción (2-3).

### 2.3 Registro de datos

El registro de tiempos y rendimientos operativos se efectuó mediante observación directa, la cual consistió en registrar *in situ* los tiempos de trabajo de las operaciones (Villagómez Loza, 2011). La toma directa de datos se efectuó mediante cronometría por filmación, volcando posteriormente los datos en planillas electrónicas confeccionadas para tal fin.

El cronometraje se computó en distintos momentos de la jornada laboral con diferentes operarios, con el fin de recoger las variaciones en el rendimiento de trabajo. Las observaciones se concretaron en un lapso de 3 días, conformando una muestra de 4,25 ha efectivamente podadas. Durante el estudio se consideró una intensidad de poda de 1/3 de la altura total del árbol.

El ciclo de poda estuvo compuesto por dos movimientos: Acercamiento al árbol y Poda (tijera/serrucho/motosierra). Durante las actividades de poda se cronometró el Tiempo efectivo (Te) y Tiempo Operativo Total (TOT), con estos datos se calculó a su vez el coeficiente efectivo de trabajo “r”.

El estudio de la 2ª y 3ª poda de conducción, debido al mayor diámetro de ramas, permitió estimar el volumen de leña aportado por ha (m³/ha). A su vez, en la 3ª poda el rendimiento de la actividad contempló el trozado y apilado de leña en campo.

Para el cálculo de volumen de leña, se extrapoló el promedio de las muestras al 70% de la densidad inicial de plantación, ya que no todos los árboles presentaban un mismo desarrollo y algunos casos estaban muertos en pie o inexistentes (fallas).

Se utilizó la siguiente fórmula para cubicar leña (volumen aparente), adaptado de Rivas Torres, (2006).

$$V = l * a * h$$

Dónde:

V= volumen de leña en m³; l= longitud de la pila de leña en m; a=ancho de la pila de leña en m; h= alto de la pila en m.

### 2.3 Costo de poda

El cálculo de tiempos de trabajo y rendimiento sirvió como base para determinar los costos reales de poda que afronta un silvicultor de Algarrobo blanco en la provincia. Durante las jornadas se registró el consumo diario de los insumos empleados por la motosierra (combustible/lubricantes), información requerida para estimar el costo de poda por unidad de superficie. Se precisa aclarar que para el estudio no se contempló la actividad de desbrote/deschuponado.

Para el cálculo del costo operativo de la motosierra (CM) se utilizó la metodología propuesta por Frank (1987), citado por Coronel de Renolfi *et al.* (2014).

$$CM = (i + a + cc + cl + rym) * TTE$$

Dónde:

i = Interés de la máquina (\$/h); a = Costo por amortización (\$/h); cc = Gasto de consumo de combustible mezcla (\$/h); cl = Gasto de consumo de lubricante de cadena (\$/h); rym = Gasto de reparación y mantenimiento (\$/h); TTE = Tiempo de trabajo efectivo con la motosierra (h/día).

En los cálculos económicos se consideró el valor de jornal (\$/J) para Peones Generales y Motosierristas fijados por la resolución N° 139/21 de la Comisión Nacional de Trabajo Agrario (C.N.T.A). Por tratarse de personal contratado se consideró un 20 % adicional por cargas sociales (Coronel de Renolfi y Cardona, 2013). Para los cálculos económicos se consideró como fecha de referencia el mes de marzo del 2022.

*Fuentes consultadas: Resolución 139/21 (C.N.T.A); lubriccentros/ferreterías locales.*

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Rendimiento y tiempos operativos

A continuación, se resume los resultados promedios de tiempos efectivos, tiempos operativos y coeficientes efectivos de trabajo de los 3 tipos de podas ejecutadas (Tabla 4). Cabe destacar, que la segunda poda fue una actividad que contempló dos tareas conjuntas, una primera pasada con motosierra para podar ramas gruesas y una segunda pasada con tijera y serrucho para las ramas remanentes (diámetros más finos).

**Tabla 4.** Tiempos operativos en diferentes actividades silvícolas de poda

| Tipo de poda                | Te medio       | Tot            | R    |
|-----------------------------|----------------|----------------|------|
| 1ª Poda                     | 0,32 min/árbol | 0,37 min/árbol | 0,86 |
| 2ª Poda (Tijera + Serrucho) | 0,42 min/árbol | 0,56 min/árbol | 0,75 |
| 2ª Poda (Motosierra)        | 0,39 min/árbol | 0,53 min/árbol | 0,73 |
| Total 2ª Poda               | 0,81 min/árbol | 1,09 min/árbol | 0,74 |
| 3ª Poda                     | 1,21 min/árbol | 1,94 min/árbol | 0,62 |

En la tabla 5 se exponen los resultados de rendimientos de poda por cuadrilla y por persona (ha/j), bajo diferentes condiciones silviculturales.

Para el cálculo se consideró un 70 % de la densidad inicial de plantación como actividad efectiva, ya que el porcentaje remanente es ocupado por árboles muertos, inexistentes o sin necesidad de ser podados.

**Tabla 5.** Rendimiento de superficie podada en 3 sitios según tipo de poda y N° de operarios

| Tipo de poda          | Rendimiento cuadrilla | N° de operarios | Rend/persona | J/HA | PI/J |
|-----------------------|-----------------------|-----------------|--------------|------|------|
| 1ª poda de formación  | 5 ha/día              | 4               | 1,25 ha/día  | 0,8  | 437  |
| 2ª poda de conducción | 2 ha/día              | 3               | 0,66 ha/día  | 1,51 | 231  |
| 3ª poda de conducción | 0,75 ha/día           | 3               | 0,25 ha/día  | 4    | 110  |

Nota: la referencia PI/J refiere a N° de plantas podadas por jornal

El rendimiento de poda por cuadrilla osciló entre 0,75 ha y 5 ha por día dependiendo del tipo de poda ejecutada, actividad y número de operarios. De igual modo el rendimiento individual varió entre 0,25 ha y 1,25 ha/día. El bajo rendimiento de la 3ª poda de conducción se atribuye a que la actividad contempló poda, trozado y apilado; mientras que las otras modalidades solo corresponden a la poda en sí.

Los resultados de cubicación en los sitios estudiados, revelan que la 2ª poda en plantaciones de algarrobo puede aportar un volumen por individuo de 0,04 m<sup>3</sup>; mientras que la 3ª poda puede realizar un aporte de 0,05 m<sup>3</sup>/individuo (Figura 3). El valor de metro cúbico de leña hace referencia a la unidad metro estéreo, en la cual no se contempla un factor de apilamiento.



**Figura 3.** Apilado de leña y acordonado de residuos de 3ª poda de conducción.

Los valores de diámetros de ramas podadas en los tres tipos de podas (Figura 4) oscilaron entre 0,5 cm a 10 cm. Se observó que la tijera de podar se desempeña bien hasta diámetros de ramas de 3 cm, el serrucho de podar entre un rango de 3-5 cm y diámetros mayores a 5 cm requieren de motosierra para optimizar el trabajo.



**Figura 5.** Actividades de poda en plantaciones de diferentes edades biológicas. De izquierda a derecha 1ª, 2ª y 3ª poda.

A continuación, se describen los insumos consumidos por la motosierra (l/ha) y el aporte de volumen de leña/ha proveniente de las podas de conducción (Tabla 6). Para el cálculo de aporte volumétrico de leña/ha se estimó un rendimiento del 70 % de la densidad total de plantación.

**Tabla 6.** Insumos consumidos por motosierra y aporte de leña según tipo de poda

| Tipo de poda                      | Insumos consumidos por motosierra (l/ha)                                     | Aporte de leña (m <sup>3</sup> /ha)                                                         |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>2ª poda</b><br>(de conducción) | • 1,5 l nafta súper.                                                         | <b>14 m<sup>3</sup></b><br>(0,04 m3 x 350 arb.)<br>Diámetro de leña obtenido entre 3-6 cm.  |
|                                   | • 0,75 l de aceite lubricante para cadena (50 % del consumo de combustible). |                                                                                             |
|                                   | • 0,03 l aceite 2 t para mezcla de combustible (mezcla al 2 %).              |                                                                                             |
| <b>3ª poda</b><br>(de conducción) | • 5 l nafta súper.                                                           | <b>22 m<sup>3</sup></b><br>(0,05 m3 x 437 arb.)<br>Diámetro de leña obtenido entre 6-10 cm. |
|                                   | • 2,5 l de aceite lubricante para cadena (50 % del consumo de combustible)   |                                                                                             |
|                                   | • 0,1 l aceite 2 t para mezcla de combustible (mezcla al 2 %).               |                                                                                             |

El bajo consumo de combustible en la 2ª poda se atribuye a que la motosierra se usa de manera complementaria al serrucho y tijeras, por otro lado, los diámetros de las ramas son finas lo que implica un bajo esfuerzo del motor durante el corte (menor consumo de combustible).

### 3.2 Análisis económico

La Tabla 7 muestra la conformación de cuadrillas según tipo de poda en los sitios de estudio.

**Tabla 7.** Composición de cuadrillas según tipo de poda ejecutada

| Cuadrilla    | 1ª poda                 | 2ª poda                                  | 3ª poda                                  |
|--------------|-------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|
| Nº operarios | 4                       | 3                                        | 3                                        |
| Descripción  | (4 operarios generales) | (1 motosierrista y 2 ayudantes de campo) | (1 motosierrista y 2 ayudantes de campo) |

Durante las jornadas de poda se usó una motosierra Stihl MS 250 de 3.1 CV. Los elementos de protección personal (EPP) incluidos en el cálculo variaron según tipo de operario y actividad. Se contempló una vida útil de 1 año para los EPP/herramientas y 220 días efectivos de trabajo.

A continuación, se presentan datos de base empleados para el cálculo de los costos operativos horarios (COH) de motosierra (Tabla 8).

**Tabla 8.** Variables consideradas para el cálculo del COH de una motosierra

| Rubro        | Ítems                                        | Valor     |
|--------------|----------------------------------------------|-----------|
| Motosierra   | Valor a nuevo (\$)                           | 70.000,00 |
|              | Vida útil (h)                                | 2.000     |
|              | Interés (% anual)                            | 8         |
|              | Precio combustible mezcla (\$/litro)         | 132,35    |
|              | Consumo estimado combustible (l/h)           | 0,94      |
|              | Precio lubricante cadena (\$/l)              | 700,00    |
|              | Consumo estimado de lubricante (l/h)         | 0,47      |
|              | Reparación y mantenimiento (% de a)          | 40        |
| Herramientas | Kit afilado de cadena (\$/kit)               | 4.600,00  |
|              | Bidón combinado para combustible (\$/u)      | 8.100,00  |
| Mano de obra | Jornal motosierrista c/cssc (\$/día)         | 3.042,38  |
| Epp          | Botas de trabajo (\$/u)                      | 6.200,00  |
|              | Gafas de seguridad (\$/u)                    | 450,00    |
|              | Casco con protector auditivo y facial (\$/u) | 12.000,00 |
|              | Pernera anticorte (\$/u)                     | 15.800,00 |

Fecha cotización (dólar oficial Banco Nación): 02 de marzo de 2022 (US \$1 = \$ 113)

Considerando las variables antes expuestas, el COH de la motosierra resultó en 558,42 \$/h (4,94 US \$/h), mientras que, si a este se le incluye la Mano de obra (MO), el costo ronda los 1166,89 \$/h (10,32 US \$/h).

La Tabla 9 muestra los costos finales de poda estimados por hectárea. Los mismos contemplan los jornales insumidos por cada actividad, amortización de herramientas (tijera/serrucho) y COH de motosierra. En el cálculo de costos de poda no se considera gastos de movilidad, cabe aclarar que el costo de la primera poda no incluye deschuponado.

**Tabla 9.** Costo final en tratamientos silvícolas de podas.

| Tratamiento         | J/ha | Herramientas                    | Costo (\$/ha) |
|---------------------|------|---------------------------------|---------------|
| 1 <sup>a</sup> poda | 0,8  | Tijerón                         | 2.841,94      |
| 2 <sup>a</sup> poda | 1,5  | Tijerón + serrucho+ motosierra  | 6.308,82      |
| 3 <sup>a</sup> poda | 4    | Tijerón + serrucho + motosierra | 17.331,30     |

Los posibles Ingresos por venta de leña según tratamiento de poda se presentan a continuación (Tabla 10).

**Tabla 10.** Ingresos a percibir por venta de leña en plantaciones de algarrobo blanco

| Tipo de poda   | Rendimiento leña (m <sup>3</sup> /ha) | Precio leña (\$/m <sup>3</sup> ) | Ingreso por venta de leña (\$/ha) |
|----------------|---------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 1 <sup>a</sup> | -                                     | -                                | -                                 |
| 2 <sup>a</sup> | 14                                    | 1.200,00                         | 16.800,00                         |
| 3 <sup>a</sup> | 22                                    | 1.200,00                         | 26.400,00                         |

La tabla antes presentada demuestra que el ingreso monetario por venta de leña (en tranquera) alcanzaría para cubrir los costos de la 2<sup>a</sup> poda y a su vez generar un excedente por hectárea de 10.491,18 \$/ha. En el caso de la tercera poda, los ingresos obtenidos podrían cubrir los costos incurridos en la actividad, generando a su vez una ganancia neta de 9.068,70 \$/ha.

#### 4. DISCUSIÓN

El tiempo de poda en las distintas unidades experimentales fue sumamente variable. Cabe resaltar, que el rodal de Loreto no tuvo un manejo de poda y presenta una densidad de plantación diferente a las demás, por ende, los resultados de tiempo y volumen de leña no son comparables. Sin embargo, el rendimiento, como es de esperar, fue mayor en la primera poda debido a que solo se empleó tijera de podar ya que los diámetros de ramas eran finos. Los resultados del presente estudio son comparables a los obtenidos por Davel *et al.*, (2009), quienes expresan que para *Pinus ponderosa*, el rendimiento por persona para la primera poda es de 212 plantas/jornal utilizando tijerón. La presente investigación revela un rendimiento/persona para la primera poda de 437 plantas/jornal usando tijerón; la diferencia de tiempos operativos con lo reportado por Davel *et al.*, (2009) puede ser atribuible a las distintas arquitecturas que presentan las especies y la altura de poda. Por otro lado, los mismos autores sostienen que cuando la poda en Pino es realizada con motosierra se obtiene un rendimiento de 100 pl/jornal, siendo este valor similar al obtenido en la 3<sup>a</sup> poda del presente estudio (poda y trozado de leña) con 110 plantas/jornal.

En este estudio se pudo constatar la existencia de una relación directa entre rendimientos de poda y edad de plantación, a medida que aumenta la edad de plantación el rendimiento de poda decae

y los costos se incrementan. Por otro lado, se apreció que la eficiencia del trabajo disminuye a medida que las plantaciones se desarrollan.

Asimismo, los rendimientos obtenidos para la poda en nuestro estudio (110-437 plantas/jornal) se aproximan a los rangos reportados por Guevara y Murillo (2009) en plantaciones de acacia de 3-4 años de edad, quienes muestran resultados para poda baja y media de entre 106-652 plantas/jornal.

Los resultados de rendimiento en la primera poda obtenidos en la presente investigación (6,4 h/ha) son comparables a los expuestos por Vega y Pérez (2010) quienes mencionan que el promedio de tiempo de poda en plantaciones jóvenes de *Prosopis alba*, oscila entre 6,31 h/ha y 10,89 h/ha.

Por otro lado, Colcombet (2008) determina coeficientes técnicos de poda para Misiones y Entre Ríos. Para la 1ª poda manual (tijera/serrucho) hasta los 2 m - 2,30 m determina 2,3 jornal/ha con casi 700 arb/ha. En el presente trabajo, para podas similares se estima 1,5 jornal/ha con 231 arb/ha. Esta diferencia en rendimiento a la mencionada por Colcombet, puede corresponderse a que en este estudio se incluyó la motosierra como herramienta adicional de trabajo.

## 5. CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos, se concluye:

- Las podas provenientes de plantaciones de *Prosopis alba* generan una fuente adicional de ingresos para los pequeños productores analizados.
- La falta de manejo en tiempo y forma de las plantaciones forestales, ocasiona mayores costos de poda a medida que crece el rodal.
- El costo de poda se vio influenciado por el tipo de poda realizado, diámetro de ramas podadas y herramientas empleadas.
- Se comprobó *in situ* que el nivel de enmalezamiento en plantaciones condicionan significativamente el rendimiento operativo de poda, por lo cual se recomienda realizar una carpida previa en cada planta.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Técnico Regional para Parque Chaqueño José Mitre de la Dirección de Producción forestal y al Ing. Ftal. Lisando Gallardo por la colaboración brindada durante la ejecución de las tareas de campo.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Atanasio, M. 2014. *Influencia de raleos selectivos sobre el crecimiento de Prosopis alba Griseb.* XXVIII Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia, 2 y 3 de Octubre de 2014, 3505: 1-8.
- Atanasio, M.; S. Keesy L. Pernochi. 2019. *Poda en plantaciones jóvenes de algarrobo blanco.* Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 1-4.
- Bender, A.; J. Araujo; M. Perreta y J. Moglia. 2016. Magnitudes dendrométricas de cuatro poblaciones de algarrobo blanco (*prosopis albagriseb.*) de diferentes edades. *Fave Sección Ciencias Agrarias* 14(1): 17-32. <https://doi.org/10.14409/fa.v14i1/2.5705>

- Cardona, G.; R. Sánchez Ugalde; J. García; Á. Veliz; C. Vega y M. Sarmiento. 2018. Metodología para determinar tiempos de implantación de *Prosopis alba* en Santiago del Estero. *Quebracho* 26(1): 79-89.
- Cisneros, A. B. y J. G. Moglia. 2011. *Prosopis alba*, alternativa sustentable para zonas áridas y semiáridas. En: *Los Bosques actuales del Chaco semiárido argentino, Ecoanatomía y Biodiversidad*. pp 231-248.
- Claps, L. 2020. *Resultado económico de una plantación forestal de bosque implantado con manejo diferido en patagonia Norte para la zona de Ecotono*. Comunicación técnica N° 15 area forestal, Economía. pp 2-9.
- Colcombet, L. 2008. *Coeficientes técnicos para lograr plantaciones y podas forestales en Misiones y noreste de Corrientes*. XIII Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales (JOTFEA), 85-116. <http://www.facfor.unam.edu.ar/la-facultad/secretarias/ciencia-tecnica-y-posgrado/jornadas-tecnicas-forestales-y-ambientales/>
- Coronel de Renolfi, M. y G. Cardona. 2013. *Como calcular costos forestales* (editorial Lucrecia, vol. 1). <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/biblioteca/libro-costos-forestales-RENOLFI-info.pdf>
- Coronel de Renolfi, M.; G. Cardona; J. G. Moglia y A. T. Gómez. 2014. Productividad y costos del raleo de algarrobo blanco (*Prosopis alba*) En: *Productivity and Costs of White Algarrobo (Prosopis alba) Thinning* in. 3(may 2013): 128-136.
- Coronel de Renolfi, M. y A. T. Gómez, 2014. Estimación del costo del primer raleo de algarrobo blanco (*Prosopis alba*): metodología aplicada al caso de una plantación en Herrera, Santiago del Estero, Argentina. *Ingeniería Solidaria*, 10(17): 19-27. <https://doi.org/10.16925/in.v9i17.790>
- Coronel de Renolfi, M. y S. F. Ortuño Pérez. 2009. Tipificación de los sistemas productivos agropecuarios en el área de riego de Santiago del Estero, Argentina. *Problemas del desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía*, 36(140): 63-88. <https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2005.140.7572>
- Davel, M. y D. Arquero. 2017. Poda para la producción de madera de calidad en plantaciones de álamos (*populus spp.*) en Patagonia norte de argentina. *Ciencia e Investigación Forestal INFOR*, 23: 19-31. <https://bibliotecadigital.infor.cl/bitstream/handle/20.500.12220/21273/31806.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Davel, M.; L. Tejera y M. Honorato. 2009. *Poda y raleo a desecho en plantaciones de pinos*. Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico (CIEFAP). [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_forestal16\\_manejo\\_forestal.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_forestal16_manejo_forestal.pdf)
- Delvalle, P. y I. Petkoff. 2008. Ensayo de orígenes de *Prosopis albagriseb* (Algarrobo blanco) *Materiales y Métodos*. 3505: 1-8.
- Di Marco, E. 2013. *Prosopis alba* Griseb . (Algarrobo blanco). *Área Técnica Promoción Dirección de Producción Forestal MAGyP*, 4(1): 4-5.
- Dimarco, E. 2014. *Práctica silvícola: Poda Forestal*. 35-38. <http://www.slidesearch.org/slide/selvicultura-ix-slidesh>
- FAO. 2011. *Algarrobos (Prosopis sp ) Algarrobos blancos y negro de Córdoba* (Argentina).pp 2-4. [http://www.igualdadycalidadcba.gov.ar/SIPEC-CBA/publicaciones/proyarboles/Algarrobo\(Prosopis%20sp\).pdf](http://www.igualdadycalidadcba.gov.ar/SIPEC-CBA/publicaciones/proyarboles/Algarrobo(Prosopis%20sp).pdf)
- Flores Alvarado, F. 2018. *La poda forestal, desde una aproximación ergonómica*. Universidad de concepción campus los ángeles escuela de ciencias y tecnologías.
- Frank, R. G. 1987. Introducción al cálculo de Costos agropecuarios. *El Ateneo*, 53(9): 1-30.
- Guevara, M. y O. Murillo. 2009. Costos y rendimientos de ocho tipos de poda en plantaciones jóvenes de *Acacia mangium* Willd en la zona norte de Costa Rica. Kurú: *Revista Forestal* 6(17): 1-7.
- Kees, S. 2016. *Recomendaciones prácticas de poda y raleo con diferentes horizontes de planificación en la provincia del Chaco*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18174.38725>
- Ledesma, T.; G. De Bedia, y C. López. 2008. Productividad de *Prosopis alba* Griseb en Santiago del Estero. *Quebracho*: 15: 5-9.

- Meloni, D.; D. Moura Silva; R. Ledesma y G. Inés Bolzón. 2017. Nutrición mineral y fotosíntesis en plántulas de algarrobo blanco, *Prosopis alba* (Fabaceae), en estrés salino. *UNED Research Journal* 9(2): 297-304. <https://doi.org/10.22458/urj.v9i2.1903>
- Moscuzza, C.; A. Perez Carrera; J. Garaicoechea y A. Fernández. 2003. Relación entre las actividades agropecuarias y la escasez de agua en la provincia de Santiago del Estero (Argentina). *Aprovechamiento y Gestión de Los Recursos Hídricos*, 35-54.
- Otzen, T. y C. Manterola. 2017. Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology* 35(1): 227-232. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>
- Pérez-Carrera, A.; C. H. Moscuzza y A. Fernández-Cirelli. 2008. Efectos socioeconómicos y ambientales de la expansión agropecuaria. Estudio de caso: Santiago del Estero, Argentina. *Revista Ecosistemas* 17 (1): 5-15.
- Pérez, V.; G. Vicentini; C. Vega y L. Ocampo. 2010. *Respuestas de forestaciones de prosopis alba griseb. a las variaciones de calidad de sitio (evaluación preliminar)*. 1-9.
- LeyN° 27.487 de Inversiones Forestales. 2019.  
<http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/verNorma.do;jsessionid=766ca6eed74ed3825eb5e41706066a4f?id=318459>
- Rivas Torres, D. 2006. *Evaluación de los recursos forestales*. Sistemas de Producción Forestal, 26.
- Senilliani, M. y M. Brassiolo. 2020. Investigación demuestra mayor productividad según la calidad de sitio de plantaciones de algarrobo en Santiago del Estero - *Argentina Forestal*. <https://www.argentinaforestal.com/2020/06/17/investigacion-demuestra-mayor-productividad-segun-la-calidad-de-sitio-de-plantaciones-de-algarrobo-en-santiago-del-estero/>
- Vega, C. D. y V. R. Pérez. 2010. *Costos de la primera poda baja sistemática en prosopis alba*. XXIII Jornadas Forestales de Entre Rios. pp 1-11. [https://www.jornadasforestales.com.ar/jornadas/2010/trab\\_res\\_pos/464.34.T.VEGA.pdf](https://www.jornadasforestales.com.ar/jornadas/2010/trab_res_pos/464.34.T.VEGA.pdf)
- Vera, L. y F. Larocca. 2004. *Evaluación económica de la producción de madera de eucalipto en el nordeste de Entre Ríos*. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_concordia\\_estimacion\\_de\\_costos\\_en\\_eucalipto\\_2004.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_concordia_estimacion_de_costos_en_eucalipto_2004.pdf)
- Villagómez Loza, M. A. 2011. Selección de maquinaria para la operación de derribo en bosques de coníferas. *Revista Mexicana de Cs. Forestales* 2(5): 91-103.



Trabajo Integrador Final de Especialización

**Reconstruyendo el proceso de evaluación: incorporación de la rúbrica en el Seminario de Energía de Biomasa, de la carrera de Ingeniería en Industrias Forestales de la Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero”**

***Reconstructing the evaluation process: incorporating rubric in the Seminar on Biomass Energy to the Forest Industries Engineering Program at the National University of La Plata, Argentina***

Universidad Nacional de La Plata  
Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación

Directora: Dra. Amelia Nancy Giannuzzo<sup>1</sup> Codirector: Mag. Isabel Velázquez de Reyes<sup>2</sup>  
Asesora Pedagógica: Prof. Elisa Marchese<sup>3</sup>

**Ludueña, Myriam Ethel<sup>4</sup>**

**RESUMEN DESCRIPTIVO**

El presente Trabajo Final se desarrolló en el marco de la carrera de Especialización en Docencia Universitaria Modalidad a Distancia, brindada por la Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, dependiente de la Universidad Nacional de La Plata, Argentina. El objetivo fue rediseñar la propuesta de evaluación del Seminario de Energía de Biomasa, asignatura obligatoria de la carrera de Ingeniería en Industrias Forestales, y opcional para las carreras de Licenciatura en Ecología y Conservación del Ambiente e Ingeniería Forestal de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Santiago del Estero, a partir de concebirla como parte de los procesos de enseñanza y aprendizaje, diseñando una estrategia metodológica orientada a la incorporación de la rúbrica con criterios de evaluación. Durante el aislamiento social preventivo y obligatorio (ASPO) en el año 2020, se incorporó un trabajo final integrador tipo monografía, al proceso de evaluación que se venía realizando: trabajos prácticos y examen final. El conflicto emocional que genera en las y los estudiantes el examen final tradicional, en muchos casos, es condicionante en su vida académica. Las prácticas de evaluación propuestas como instancia de control y repetición de información no acercan a las y los estudiantes a situaciones problemáticas próximas a las que podrían encontrar en la vida profesional. En la vida real se presentan casos que exigen un trabajo en equipo de reflexión, reorientación, reformulación y reconstrucción en la resolución de problemas. La evaluación dentro del proceso de formación debe ser continua, constante y perdurable en el tiempo, como una herramienta que genera información para promover un desarrollo integral del proceso de transformación propiciando el crecimiento y articulación de aquellos sujetos involucrados con sus futuros contextos profesionales. Se realizó un diagnóstico de la evaluación durante el ASPO lo que permitió instrumentar una estrategia metodológica innovadora para la evaluación del proceso de aprendizaje teniendo en cuenta el proceso de enseñanza. Este paso es importante dentro del proceso formativo en el marco institucional pues

---

<sup>1</sup> Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Av. Belgrano S 1912, Santiago del Estero, Argentina. E-mail: nancygia@unse.edu.

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Av. Belgrano S 1912, Santiago del Estero, Argentina. E-mail: kelly\_velazquez@yahoo.com.ar

<sup>3</sup> Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, Universidad Nacional de La Plata, Avenida 124 y 51, La Plata, Buenos Aires, Argentina. E-mail: elilaca@hotmail.com

<sup>4</sup> Tesista. Ing. Ind. Ftles. Instituto de Tecnología de la Madera (ITM), Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Rutas N° 26 y N° 9 km 1134 4206 Villa El Zanjón, Santiago del Estero, Argentina. Trabajo Final Integrador presentado como requisito para obtener el grado de Especialista en Docencia Universitaria. Año 2021. Universidad Nacional de La Plata, Avenida 124 y 51, La Plata, Buenos Aires, Argentina. E-mail: mel@unse.edu.ar.

necesita la certificación de los aprendizajes, pensada no como algo en el momento de asignar calificaciones centrado sólo en las y los estudiantes y en el resultado, sino para completar los requerimientos administrativos -acreditación de cursada o final de un espacio curricular-.

**Palabras clave:** matriz de valoración, instrumento de evaluación, proceso de enseñanza, aprendizaje y de evaluación, Seminario de Energía de Biomasa.

### ABSTRACT

This work is developed within the Program on Specialization in University Teaching, Distance Mode, offered by the Faculty of Humanities and Education Sciences of the National University of La Plata, Argentina. The work is aimed at redesigning the evaluation instance of the Seminar on Biomass Energy, required subject in the Forest Industries Engineering Program and eligible for both the Licenciatura in Ecology and Environment Conservation and Forest Engineering, Programs offered by the Forest Sciences Faculty in the National University of Santiago del Estero, Argentina. Such a proposal stems from conceiving evaluation as part of the teaching-learning processes and is oriented to design a methodological strategy that allows to incorporate rubric as a criterium for evaluation. During the preventive and mandatory social confinement (ASPO) stage in 2020, a monograph-like comprehensive final work was incorporated into the ongoing evaluation process (i.e., practical works and final exam). The emotional conflict brought about by the traditional final exam in most of the students hampers their academic performance. The evaluation practices proposed as instances for the control and repetition of information do not face students to future problem situations likely to find in their professional life. In real life, there are cases that demand teamwork for reflecting, reorienting, reformulating, and solving problems. Evaluation within the educational process must be continued, permanent and perdurable in time as a tool that generates information to promote the integral development of the transforming process by fostering growth and articulation of those involved with their future professional contexts. A diagnosis of the evaluation was carried out during the ASPO which allowed to instrumentalize an innovating methodological strategy to evaluate the learning process considering the teaching process. This is an important step in the formative process within an institutional frame where the certification of what was learned is needed, though not only as being centered at students and results at the time of grading but to the fulfillment of administrative requirements such as certification of attendance or course finalization.

**Keywords:** assessment matrix, evaluation instrument, teaching, learning and evaluation process, Biomass Energy Seminar.

TESIS DOCTORAL

**Caracterización morfológica, productiva y ambiental  
de poblaciones naturales de *Acrocomia aculeata* (Locq.) Lodd.  
Ex Mart.) en el Departamento de Itapúa, Extremo Sur de  
Paraguay**

*Morphological, productive and environmental characterization of natural populations of  
Acrocomia aculeata in the Department of Itapúa, Extreme South of Paraguay.*

Universidad Nacional de Santiago del Estero  
Facultad de Ciencias Forestales

Director: Dr. Aníbal Ramón Verga<sup>1</sup> Codirectora: Dra. Raquel Regiane Bonatto Negrelle<sup>2</sup>

**Edilia Ramírez Haedo<sup>3</sup>**

**RESUMEN**

La palmera mbokaya (*Acrocomia aculeata*) es una especie muy utilizada en Paraguay para la extracción del aceite de mbokaya, sea de la pulpa y/o de la semilla. Son utilizadas para la elaboración de aceite comestible, jabones, en la medicina popular y bebida refrescante. Se han observado una gran variabilidad fenotípica en las palmeras de *Acrocomia aculeata*. El objetivo fue, caracterizar y evaluar poblaciones de *A. aculeata*, para ordenar el recurso genético en el Departamento de Itapúa, extremo sur de Paraguay. Se trabajó con cinco poblaciones de la región suroeste, centro y norte del Departamento de Itapúa, Sur de Paraguay. Para la caracterización morfológica y productiva se utilizó la taxonomía numérica y análisis físico-químico para el ambiente. Los resultados mostraron una gran variabilidad fenotípica entre las diferentes poblaciones, siendo aún mayor dentro de las poblaciones. La proporción de variabilidad entre poblaciones indicó que todas pertenecen al mismo ecotipo (*A. totai*). Sin embargo, el análisis del estípite, indicó que podría tratarse de otra especie del género *Acrocomia* (*A. intumescens* y posibles híbridos), no reportado anteriormente en Paraguay. Las poblaciones de Trinidad<sup>1</sup> y Obligado presentaron la mayor cantidad de los caracteres productivos considerados (10,82 y 10,52 racimos/planta). A esta especie se lo encontró vegetando en suelo arenoso (30 % arcilla) a arcilloso (50 % arcilla), pH entre 1,64 - 4,20; hierro entre 49,33 - 232,77 mg.kg<sup>-1</sup> y aluminio entre 0,01 - 5,93 cmol.Kg<sup>-1</sup>, MO entre 1,67 - 4,20. El pH, el porcentaje de base intercambiable y contenido de aluminio, afecta directamente la capacidad productiva de las palmeras. Existe gran variabilidad fenotípica en los caracteres morfológicos de hojas, estípites y los caracteres productivos, dadas dentro y entre poblaciones y asociadas a la variabilidad genética y ambiental.

**Palabras claves:** *Acrocomia* ssp, Especies, variabilidad morfológica, clima, suelo, caracteres productivos.

---

<sup>1</sup> INFIVE-INTA. Universidad nacional de Córdoba (UNC). Córdoba. Argentina.

<sup>2</sup> Universidade Federal do Paraná (UFPR). Curitiba (PR), Brazil.

<sup>3</sup> Tesista. Ing. Ftal. Tesis presentada como requisito para obtener el grado de Doctor en Ciencias Forestales. Año 2019. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano 1912 (s). 4200 Santiago del Estero. Argentina

### ABSTRACT

The mbokaya palm (*Acrocomia aculeata*) is a species widely used in Paraguay for the extraction of mbokaya oil, either from the pulp and / or the seed. Great phenotypic variability has been observed in *Acrocomia aculeata* palms. The objective was characterized and evaluates populations of *A. aculeata*, to manage the genetic resource in the Department of Itapúa, extreme south of Paraguay. We worked with five populations in the south-west, center and north region of the Department of Itapúa, South of Paraguay. For the morphological and productive characterization, numerical taxonomy and physicalchemical analysis for the environment were used. The results showed a great phenotypic variability between the different populations, being even greater within the populations. The proportion of variability between populations indicated that they all belong to the same ecotype (*A. totai*). The populations of Trinidad1 and Obligado presented the highest amount of the productive characters considered (10.82 and 10.52 bunches / plant). This species was found vegetating in sandy soil (30% clay) to clay soil (50% clay), with pH 1.64 - 4.20; iron 49.33 - 232.77 mg.kg<sup>-1</sup>, aluminum 0.01 - 5.93 cmol. Kg<sup>-1</sup>, and MO varying among 1.67 - 4.20. The pH, the percentage of exchangeable base and aluminum content, affects the productive capacity of palm trees. There is great phenotypic variability in the morphological characters of leaves, stipes and productive characters, occurring within and between populations and associated with genetic and environmental variability.

**Key words:** *Acrocomia aculeata*, Ecotype, variability, climate, soil, productive characters.

TESIS DOCTORAL

## **Ciclo de carbono en biomasa de bosque con relación al régimen de disturbios en el Chaco seco Argentino**

*Carbon cycle on forest biomass in relationship to the disturbances regimen in Argentine Dry Chaco.*

Universidad Nacional de Santiago del Estero

Facultad de Ciencias Forestales

Director: Dr. Ignacio Gasparri<sup>1</sup> Codirectora: Dra. Sandra Bravo<sup>2</sup>

**Dante Ernesto Loto<sup>3</sup>**

### **RESUMEN**

Los bosques a través de la productividad de biomasa leñosa ejercen un rol clave en la dinámica de carbono en el mundo. Las especies leñosas de los bosques, a través de grupos funcionales de plantas influyen sobre esta productividad de carbono. Los disturbios como los fuegos, la ganadería y el aprovechamiento forestal afectan directamente la producción y acumulación de carbono en la biomasa de los bosques. Una gran transformación de la cobertura boscosa ocurre en el Chaco seco Argentino y los escenarios de disturbios en bosques son escasamente estudiados. Se establecieron los siguientes objetivos: a) determinar el almacenamiento de carbono en la biomasa mediante la clasificación de grupos funcionales de especies leñosas en bosques, b) analizar el carbono acumulado en bosque y por grupos funcionales en relación a un gradiente de disturbios, y c) evaluar el balance anual de acumulación de biomasa en relación a los disturbios en bosques del Chaco seco Argentino. La clasificación de las especies leñosas de bosques arrojó 6 grupos funcionales, los cuales resultaron ser representativos de la estructura de los bosques chaqueños. El gradiente de disturbios disminuye el carbono a nivel de bosque y de grupos funcionales, debido a menor área basal y densidad de plantas. A mayor intensidad de disturbios, se promueve el carbono acumulado en grupos funcionales de menor tamaño. El incremento de biomasa promedio para los bosques analizados fue de 3,03 Mg/ha/año y la pérdida promedio de biomasa fue de 2,45 Mg/ha/año. El incremento de biomasa disminuye con los disturbios analizados. Estos resultados se podrían considerar como herramientas para el manejo y conservación de los bosques nativos en el Chaco seco Argentino.

**Palabras claves:** productividad forestal, parcela permanente, bosque nativo, biomasa aérea, grupo funcional de plantas, disturbios.

---

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano (s) 1912. 4200 Santiago del Estero. Argentina.

<sup>3</sup> Tesista. Lic. Cs. Biológicas. Tesis presentada como requisito para obtener el grado de Doctor en Ciencias y Tecnologías Forestales. Año 2020. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano 1912 (s). 4200 Santiago del Estero. Argentina

### ABSTRACT

Forests around the world through biomass productivity have a key role in carbon dynamics. Woody forest species and functional plant types increase carbon productivity, and disturbances such as fire, livestock and forest logging affect carbon storage in the above-ground biomass of forests. In the Argentine Dry Chaco region the forest covers has been transformed and its disturbance scenarios produce study gaps. The established objectives were: a) to determine the carbon storage of above-ground biomass through the classification of functional plant types of woody species in native forests, b) to analyze the carbon storage in the forest by functional plant types and its relationships with the disturbances gradient, and c) to evaluate the annual biomass storage balance against forest disturbances in Argentine Dry Chaco. The classification showed 6 functional plant types of woody species which result to be representatives of forest structures. The disturbance gradient reduces carbon at the stand level and functional plant types level due to lower basal areas and plant density. Carbon storage increases in smaller functional plant types with high disturbance intensities. The average increase in above-ground biomass of native forests was 3.03 Mg/ha/year, and average biomass loss was 2.45 Mg/ha/year. The annual biomass increase is reduced against the disturbances analyzed. These results could be considered for forest management and forest conservation in the Argentine Dry Chaco region.

**Key words:** forest productivity, permanent plot, native forest, above-ground biomass, plant functional type, disturbances.

TESIS DOCTORAL

**Servicios ecosistémicos en bosques del Chaco Semiárido.  
Valoración económica de la producción de vainas de  
algarrobo para uso alimentario**

*Ecosystem services in forests of the Semiarid Chaco. Economic valuation of the production of quebracho pods for food use*

Universidad Nacional de Santiago del Estero

Facultad de Ciencias Forestales

Director: Dr. Miguel A. Sarmiento<sup>1</sup> Codirector: Dra. Marta Coronel<sup>1</sup>

**Carlos Alberto Bruno <sup>2</sup>**

**RESUMEN**

Los servicios ecosistémicos son utilizados por la sociedad para satisfacer sus necesidades. Los bosques de Santiago del Estero proveen una amplia gama de bienes y servicios entre los que están los frutos silvestres comestibles. Algunos pobladores de zonas rurales emplean los frutos para la elaboración de harinas. El objetivo de esta tesis fue valorar económicamente la producción de vainas de algarrobo con fines alimentarios, al igual que conocer los servicios ecosistémicos en bosques del chaco semiárido, en la provincia de Santiago del Estero. Se aplicó el Método de Valoración Contingente (MVC) y con el valor encontrado se aplicó, luego, el Método de Transferencia de Beneficios (MTB) para transferir ese valor a los otros sitios de estudio. La información recopilada para esta investigación fue mediante un censo en tres asociaciones locales. Se aplicaron encuestas organizadas en tres bloques: en el primero se indaga sobre los servicios ecosistémicos más comunes que identifican los pobladores; en el segundo sobre la Disposición a Pagar (DAP) y la Disposición a ser Compensado (DAC); y el último sobre cuestiones socioeconómicas. Los valores no monetarios fueron analizados estadísticamente de forma descriptiva, y los valores monetarios con el Método de Valoración Contingente (MVC). Entre los resultados se destaca que, según la percepción de los servicios ecosistémicos, la función productiva es la más importante. Le sigue en importancia la función de regulación y luego, la de soporte o mantenimiento, y finalmente la función de información. Con la aplicación del MVC, se obtuvo una DAP de \$3.393.021/año y una DAC de \$1.678.410/año. Con el MTB se analizaron el valor unitario y el valor ajustado obteniendo una DAP de \$171.064,675/año y \$120.031,594/año respectivamente. Los resultados obtenidos representan el valor económico ambiental de los servicios de provisión de vainas de algarrobos suministrados por bosques nativos y de plantaciones en la provincia de Santiago del Estero.

**Palabras clave:** valoración servicios ecosistémicos, frutos del bosque, valoración contingente, transferencia de beneficios.

---

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano (s) 1912. 4200 Santiago del Estero. Argentina.

<sup>2</sup> Tesista. Ing. Ftal. Tesis presentada como requisito para obtener el grado de Doctor en Ciencias Forestales. Año 2021. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano 1912 (s). 4200 Santiago del Estero. Argentina

### ABSTRACT

Ecosystem services are used by society to meet its own needs. Forests in Santiago del Estero provide a wide range of assets and services, edible wild fruits among them. Some inhabitants of rural areas employ these fruits to elaborate flours. This thesis aims to value economically the production of food-oriented algarrobo pods as well as to know the ecosystem services of the Chaco semiarid forests in the province of Santiago del Estero. The Contingent Valuation Method (CVM) was applied and the resulting value was then used in the Benefit Transfer Method (BTM) for its transference to the other study sites. For this research, the information was collected out of a census delivered in three local associations through Surveys organized into three blocks as follows: in the first, the most common ecosystem services identified by the inhabitants were investigated; in the second, the focus was on the Willingness to Pay (WTP) and Willingness to Accept (WTA) and in the third about socio-economic issues. Non-monetary values were analyzed and described statistically while monetary ones with the Contingent Valuation Method (CVM). Among the results and according to the perception of the ecosystem services, the productive function emerges as the most important followed by that of regulation, that of support or maintenance next and eventually the function of information. Upon applying the CVM, it resulted a WTP of \$3.393.021/yr and a WTC of \$1.678.410/yr, Both the unitary and adjusted value were analyzed using the BTM giving a WTP of \$171.064,675/yr and \$120.031,594/yr, respectively. The results obtained represent the environmental economic value of the algarrobo pods supply service.

**Key words:** ecosystem services valuation, forest fruits, contingent valuation, benefit transfer.

TRABAJO CIENTÍFICO

## Variación temporal de biomasa en el Refugio Biológico de Mbaracayú, un remanente del Bosque Atlántico del Alto Paraná

*Biomass temporal variation in the Mbaracayú Biological Refuge, a remnant of the Upper Parana Atlantic Forest*

Caballero González, R. D.<sup>1</sup> y V. R. Kubota<sup>2</sup>

Recibido en abril de 2022; aceptado en octubre de 2022

### RESUMEN

Se evaluó la variación temporal de biomasa total en una parcela permanente de 1 ha instalada en el Refugio Biológico de Mbaracayú, ubicada en el Departamento Canindeyú, Paraguay, haciendo énfasis en la dinámica forestal y las clases diamétricas. Se estimó la biomasa total de los árboles con DAP  $\geq 10$  cm, empleando datos de mediciones del año 1997, 1999, 2001, 2005, 2009 y 2014. En 17 años, la densidad aumentó en 4,35 ind. año<sup>-1</sup> y la biomasa en 2,92 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. A excepción del año 2005, se registró un aumento gradual de biomasa a través del tiempo. La variación de biomasa fue más notable en las clases diamétricas inferiores. La conservación del área protegida y la restauración forestal que se llevó a cabo en el entorno del remanente boscoso pudo haber influido positivamente en el incremento de la biomasa total.

**Palabras clave:** Bosque subtropical, Clase diamétrica, Dinámica forestal, Parcela permanente, Restauración forestal.

### ABSTRACT

The temporal variation of the total biomass in a 1 ha permanent plot located in the Mbaracayú Biological Refuge, Canindeyú, Paraguay, was evaluated emphasizing its forest dynamics and diameter classes. The total biomass of individuals with DBH  $\geq 10$  cm was estimated, using measurement data from 1997, 1999, 2001, 2005, 2009 and 2014. In 17 years, the tree density increased by 4.35 ind. year<sup>-1</sup> and the biomass by 2.92 Mg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. Except for 2005, a gradual increase of biomass was recorded over studied period. The biomass variation was more visible in lower diameter classes. The conservation of the protected area and the forest restoration carried out in the surroundings of the remnant forest may have had a positive influence on the increase of total biomass.

**Key words:** Subtropical forest, Diametric class, Forest dynamics, Permanent plot, Forest restoration.

<sup>1</sup> División de Áreas Protegidas, Dirección de Coordinación Ejecutiva, ITAIPU Binacional, Alto Paraná, Paraguay, <https://orcid.org/0000-0003-2932-508X>.

<sup>2</sup> División de Áreas Protegidas, Dirección de Coordinación Ejecutiva, ITAIPU Binacional, Alto Paraná, Paraguay, <https://orcid.org/0000-0001-7080-7406>. E-mail: [kubota@itaipu.gov.py](mailto:kubota@itaipu.gov.py)

## 1. INTRODUCCIÓN

Los bosques juegan un papel relevante en el ciclo global de carbono, pudiendo actuar tanto de sumidero como de fuente de carbono, lo último especialmente cuando sufren alteración o deforestación (Pan *et al.*, 2011). La biomasa disponible en América del Sur disminuyó 20.962 millones de Mg en el período 1990-2020 debido a la reducción de la superficie boscosa, registrándose actualmente 198.556 millones de Mg a nivel regional, que en promedio equivale a 235,2 Mg ha<sup>-1</sup> (FAO, 2020). A su vez, el Bosque Atlántico fue un gran reservorio de carbono antes de la pérdida masiva de su superficie, siendo su almacenamiento actual y variación futura relevante para el balance global de carbono.

El Bosque Atlántico del Alto Paraná (BAAPA) es una de las 15 ecorregiones que forma parte del Complejo Ecorregional Bosque Atlántico y ocupa parte de Brasil, Paraguay y Argentina con una superficie original de 47.120.400 ha (Di Bitetti *et al.*, 2003). En los últimos siglos, el BAAPA fue explotado mediante la extracción de maderas de especies de alto valor comercial y de grandes dimensiones, ocasionando la reducción de cantidad de árboles grandes en los bosques remanentes (Fleytas, 2007; Tortorelli, 1967). Además, en las últimas décadas, extensas superficies del BAAPA fueron transformadas principalmente para usos agropecuarios (De Sy *et al.*, 2015). En Paraguay, la cobertura del BAAPA se redujo a 13,4 al 19,7 % de su cobertura original (Di Bitetti *et al.*, 2003; Hirata *et al.*, 2011). Como consecuencia, los remanentes forestales se encuentran altamente fragmentados, encontrándose principalmente dentro de las áreas protegidas (Da Ponte, 2017). Esta historia de disturbio se ve reflejado en la biomasa y contenido de carbono actual de los remanentes del BAAPA en Paraguay (Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Nacional de Asunción [FCA-UNA], 2013).

En el Bosque Atlántico, los remanentes fragmentados con efecto borde y aquellos degradados tienden a tener menor biomasa en comparación a aquellos en buen estado de conservación. (Dantas de Paula *et al.*, 2011, Lindner y Sattler, 2012). Además, en la región amazónica fue reportado un posible colapso de biomasa en bosques fragmentados, siendo la pérdida y daños en los árboles de gran dimensión una de las causas de la reducción de biomasa (Laurance *et al.*, 1997; Laurance *et al.*, 2000). Situaciones similares a las observadas por estos autores podrían darse en los Bosques Atlánticos (Dantas de Paula *et al.*, 2011). Considerando el estado actual de fragmentación y degradación del BAAPA, es relevante estudiar la biomasa de los remanentes, así como su fluctuación a través del tiempo y los mecanismos para su apropiada conservación. El mantenimiento de estos fragmentos es relevante para lograr mayor resiliencia de estos ecosistemas, además de la mitigación de la crisis climática. A pesar de la relevancia del tema, el patrón de distribución y la fluctuación de la biomasa en bosques degradados y fragmentados son aún poco conocido para el BAAPA.

El Refugio Biológico de Mbaracayú es un área silvestre protegida en donde fueron realizadas labores de conservación y restauración forestal activa (Caballero, 2014; ITAIPU, 2016). Los pequeños fragmentos de bosques remanentes que se encontraban dentro del Refugio en el momento de su creación, son una de las pocas masas forestales de la región que pueden reflejar la dinámica de biomasa de un bosque beneficiado por esfuerzos de conservación y restauración en su entorno. Los datos sobre la variación temporal de biomasa de estos fragmentos pueden ofrecer insumos valiosos para el diseño de prácticas de conservación de fragmentos del BAAPA.

En este estudio se analizaron datos de una parcela permanente con 17 años de monitoreo con el objetivo de estudiar la variación temporal de la biomasa total, con énfasis en mortalidad, reducción volumétrica, crecimiento y reclutamiento de los árboles, en conjunto y por clases diamétricas.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El estudio se realizó en una parcela permanente de monitoreo instalada en el Refugio Biológico de Mbaracayú ( $24^{\circ} 2' 23,47''$  latitud sur -  $54^{\circ} 18' 40,50''$  longitud oeste), que se encuentra en una zona periurbana del municipio de Saltos de Guará, Departamento de Canindeyú (Figura 1). La altitud del terreno oscila entre los 220 y 320 m s. n. m. y presenta una temperatura media anual de  $21,9^{\circ}\text{C}$  y una precipitación media anual de 1.630 mm, con verano lluvioso e invierno seco (ITAIPU, 2016). En la zona domina el suelo derivado de arenisca, del orden Ultisol subgrupo Rhodic Paleudult de textura francosa gruesa (Vera Monge, 2009).

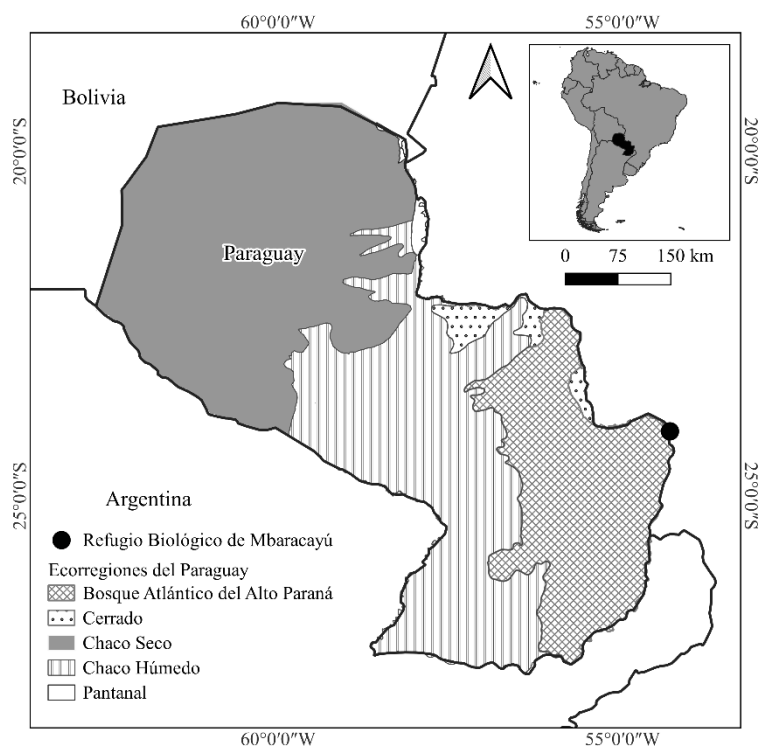


**Figura 1.** Ubicación del Refugio Biológico de Mbaracayú (punto negro) dentro de la ecorregión Bosque Atlántico del Alto Paraná

El Refugio Biológico de Mbaracayú es un área silvestre protegida que corresponde a la Hidroeléctrica ITAIPU Binacional y tiene una gestión binacional (Paraguay y Brasil, ITAIPU, 2016). El Refugio fue creado en el año 1984, y en su inicio sólo contaba con algunos fragmentos del bosque remanente (Figura 2; Caballero, 2014). A partir de su creación, fue implementada la restauración activa que consistió en la plantación de especies arbóreas y remoción de pasturas exóticas, mediante las cuales el Refugio cuenta actualmente con una cobertura forestal casi en toda su extensión (ITAIPU, 2016).



**Figura 2.** Proceso de recuperación de la cobertura forestal en el Refugio Biológico de Mbaracayú y la ubicación de la parcela permanente indicada con un punto blanco; **A.** Ortofotocartas del año 1994 (DISERGEMIL, 1994); **B.** Imagen satelital del año 2004 y **C.** del año 2016 (Google Earth, 2004 y 2016).

Estos remanentes boscosos corresponden a un bosque subtropical semideciduo con especies latifoliadas (Vera Monge, 2009). Algunas de las especies arbóreas abundantes son: *Guarea kunthiana* A. Juss. (karaja bola), *Citrus aurantium* L. (apepu), *Alchornea triplinervia* (Spreng.) Müll. Arg. (chipa rupa), *Plinia rivularis* (Cambess.) Rotman (yva poroity), *Campomanesia xanthocarpa* O. Berg (guavira pyta), *Jacaratia spinosa* (Aubl.) A. DC. (jacaratia), *Chrysophyllum gonocarpum* (Mart. & Eichler) Engl. (aguai), *Nectandra lanceolata* Nees & Mart. (aju'y moroti), *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart. (cancharana), *Cedrela fissilis* Vell. (cedro), además de especies características de la zona como *Annona cacans* Warm. (aratiku guasu) y *Cariniana estrellensis* (Raddi) Kuntze (ka'i ka'y gua) (Caballero, 2014). La mayoría de estas especies son secundarias o climáticas, destacándose además la abundancia de *C. aurantium* que es introducida y naturalizada (Vera Monge, 2009). La cantidad de árboles por hectárea puede superar los 500 individuos que corresponden a unas 64 especies y la altura máxima del estrato arbóreo alcanza los 29 m (Vera Monge, 2009).

### Muestreo y análisis de datos

Fueron empleados datos de mediciones de una parcela permanente de 100 m × 100 m (1 ha) (Caballero, 2014), correspondientes a los años 1997, 1999, 2001, 2005, 2009 y 2014, abarcando un período de 17 años. Esta parcela fue instalada en el fragmento de bosque nativo más grande que existía en el Refugio (30 ha aprox.) y se encuentra en un lugar con pocas variaciones topográficas (Figura 2). Todos los árboles con diámetro a la altura del pecho (DAP)  $\geq 10$  cm están enumerados con chapas metálicas e identificados taxonómicamente. En la primera medición fueron registrados datos de DAP, altura total y especie de todos los individuos vivos, mientras que, para las mediciones posteriores, fueron tomados datos de individuos vivos, incluyendo a los reclutados que alcanzaron el DAP mínimo considerado; además fueron registrados aquellos muertos después de la medición anterior. El DAP fue medido empleando cintas diamétricas, mientras que la altura fue estimada empleando como referencia una vara altimétrica.

Se estimó la biomasa total (sumatoria de la biomasa aérea y subterránea) de los individuos registrados en cada una de las mediciones empleando una ecuación alométrica (Sato *et al.*, 2015). Para los individuos bifurcados por debajo del DAP, fue empleado el diámetro cuadrático medio DCM, (Magarik *et al.*, 2020).

$$BT = 0.0505 \times (D^2 \times H)^{0.9564}$$

Donde:

BT = Biomasa total (kg),

D = DAP (cm) o DCM (cm),

H = altura total (m)

Los individuos de *Syagrus romanzoffiana* (Cham.) Glassman (pindo) fueron excluidos de la estimación debido a que la ecuación empleada no es apta para las palmeras y su abundancia fue mínima (< 1 %); en la medición del 1997, 1999 y 2001 fueron registrados tres individuos de *S. romanzoffiana* y en el 2005, 2009 y 2014, cuatro individuos. La biomasa de la parcela para cada medición fue estimada mediante la sumatoria de la biomasa total de todos los individuos vivos registrados en la ocasión y expresada en Mg ha<sup>-1</sup>. Se comparó la biomasa total entre las mediciones para determinar su variación temporal. Se analizó la contribución del crecimiento (un crecimiento mayor a las pérdidas de biomasa por daños en el tejido, excluyendo a los reclutados) y el reclutamiento de individuos en el incremento de biomasa, así como la influencia de la muerte y la disminución de DAP (por daños en el fuste) y/o altura total (por rotura de la parte aérea) en la reducción de biomasa, debido a su transformación a la necromasa. El mismo análisis se realizó también por clase diamétrica.

### 3. RESULTADOS

#### Variación de biomasa

La cantidad de árboles registrados fueron 467, 450, 470, 518, 526 y 541, para los años 1997, 1999, 2001, 2005, 2009 y 2014, respectivamente. En el transcurso de 17 años, hubo un incremento en 74 individuos (4,35 ind. ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) y un aumento de biomasa de 49,64 Mg ha<sup>-1</sup> (2,92 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, Figura 3A). A excepción del año 2005, se observó un incremento gradual de biomasa a través de los años (Figura 3 A y B).

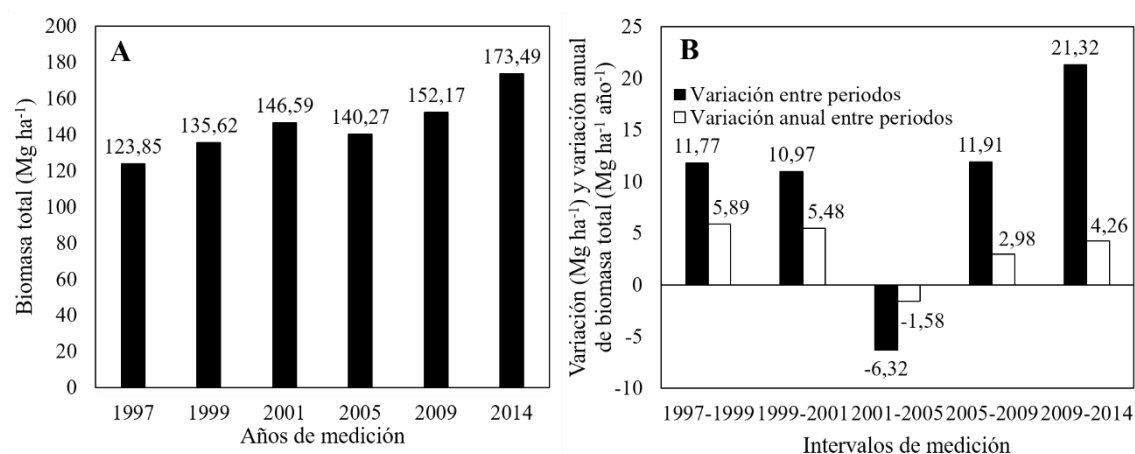


**Figura 3. A.** Comparación de la biomasa total entre las mediciones; **B.** Comparación de la variación de biomasa total y de la variación anual de biomasa total entre los períodos de medición

En todos los períodos, hubo ganancia de la biomasa total debido al crecimiento y reclutamiento de los individuos. Asimismo, fue registrada la reducción de biomasa total por la muerte de individuos y la disminución del DAP y/o altura total (Figura 4 A y B).

En el período 1997 - 1999 y 1999 - 2001 fueron registrados un aumento de 5,89 y 5,48  $\text{Mg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ . La variación fue provocada por un aumento de 10,4 y 9,5  $\text{Mg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$  y una reducción de 4,51 y 4,02  $\text{Mg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$  en ambos períodos (Figura 3B y Figura 4B). En el período 1997-1999 fue registrado el menor número de individuos muertos y de árboles con disminución de DAP y/o altura total (Tabla 1). En el período 2001 - 2005 fue registrado una reducción de biomasa de 6,32  $\text{Mg ha}^{-1}$  que equivale a 1,58  $\text{Mg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$  (Figura 3B). En este período se observó el menor aumento de biomasa por crecimiento, así como la menor cantidad de individuos con crecimiento (Figura 4B y Tabla 1). Además, se encontró la mayor reducción de biomasa por muerte y por reducción de DAP y/o altura total. En los últimos dos intervalos, nuevamente fueron registrados aumentos de biomasa total (2,98 y 4,26  $\text{Mg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ ). La mayor cantidad de individuos muertos e individuos con crecimiento fueron registrados en el período 2009 - 2014 (72 y 402 ind.  $\text{ha}^{-1}$ , Tabla 1).

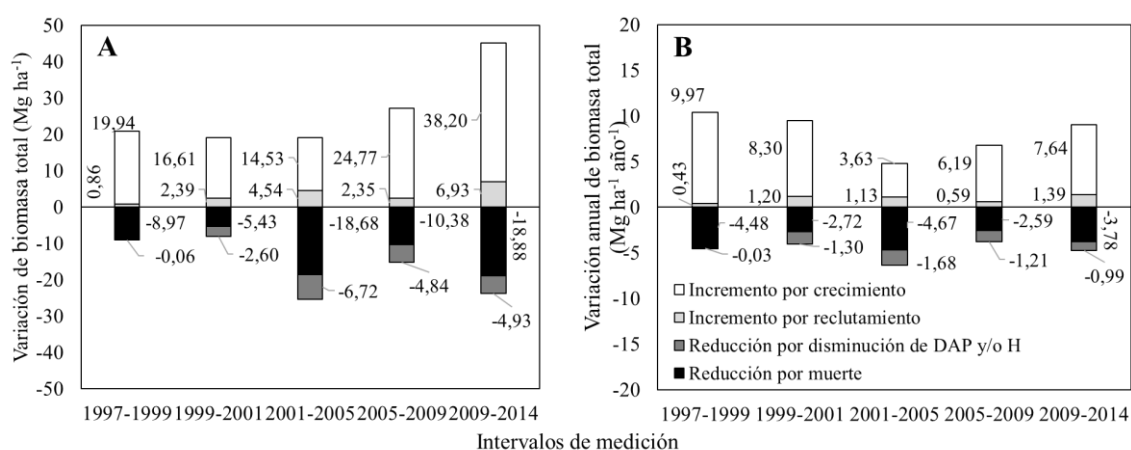


**Figura 4. A.** Comparación de la variación de biomasa total debido a la muerte, disminución de DAP y/o altura (H), crecimiento y reclutamiento de individuos entre períodos; **B.** Comparación de la variación anual de biomasa total debido a la muerte, disminución de DAP y/o altura (H), crecimiento y reclutamiento de individuos entre períodos.

**Tabla 1.** Número de árboles muertos, con disminución de DAP y/o altura (H), reclutados y con crecimiento registrados entre intervalos de medición (ind.  $\text{ha}^{-1}$ ).

|                              | 1997-1999 | 1999-2001 | 2001-2005 | 2005-2009 | 2009-2014 |
|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Muertos                      | 40        | 44        | 53        | 44        | 72        |
| Con disminución de DAP y/o H | 5         | 19        | 80        | 95        | 47        |
| Reclutados                   | 23        | 64        | 101       | 52        | 87        |
| Con crecimiento*             | 381       | 321       | 290       | 370       | 402       |

\* individuos registrados en la medición anterior que presentaron aumento de BT

### Variación de biomasa por clase diamétrica

En todas las mediciones, hubo mayor cantidad de individuos con diámetros inferiores, adoptando la distribución de la “J invertida” (Figura 5). Por otra parte, el mayor valor de biomasa total fue registrado en la clase diamétrica 30-39,9 cm en todos los casos, mientras que el menor valor de biomasa fue encontrado en la clase 60-69,9 cm. En el intervalo de 17 años, fueron registrados 25 individuos que alcanzaron un  $\text{DAP} \geq 50$  cm, de los cuales siete murieron a lo largo del mencionado período.

Se observó mayor incremento de biomasa total en los individuos de las clases diamétricas inferiores (Tabla 2). Los individuos que correspondían a la clase diamétrica 10-19,9 cm en el

2009 sumados a los reclutados presentaron un incremento en conjunto de 3,61 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para la medición del año 2014, siendo el valor máximo de incremento por clase diamétrica registrado en el período de 17 años. A pesar de que las variaciones de biomasa fueron menores en los individuos de la clase diamétrica superior (60 - 69,9 cm), cada individuo de gran dimensión tuvo elevada influencia en la fluctuación de biomasa.

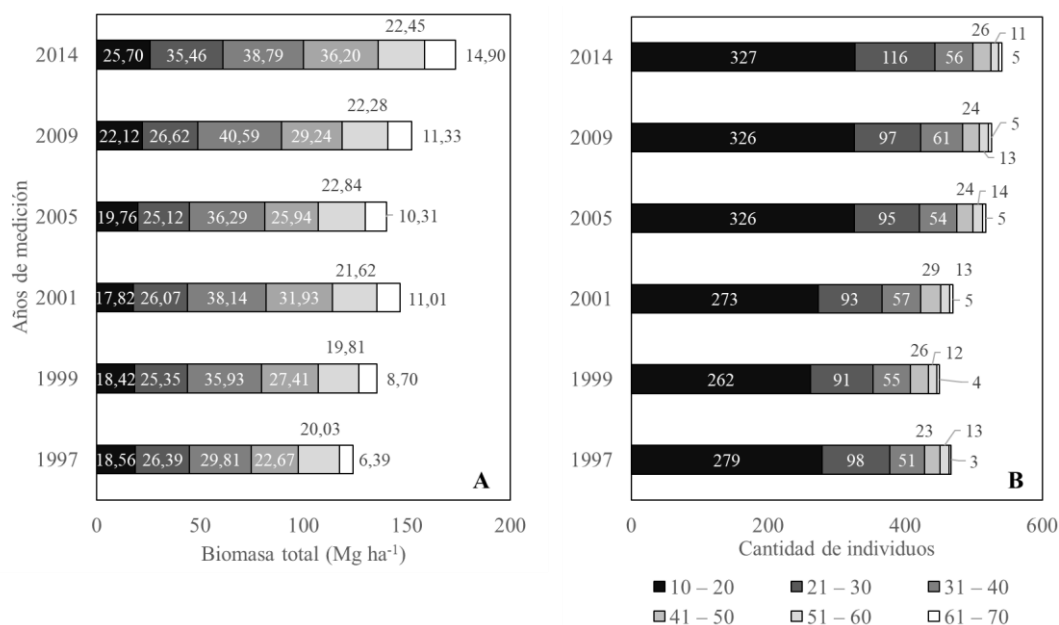


**Figura 5. A.** Distribución de biomasa total (Mg ha<sup>-1</sup>) y **B.** cantidad de individuos por clase diamétrica (cm)

**Tabla 2.** Ganancia por crecimiento y por reclutamiento (Gan.), reducción por muerte y disminución de DAP y/o altura (Red.) y variación de biomasa total (Dif.) por clase diamétrica (cm). La clasificación diamétrica de los individuos fue realizada según su DAP al principio de cada período y los reclutados fueron incorporados a la clase 10-19,9 cm de cada período. Todos los valores están en Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

| Clase diamétrica | 1997-1999 |      |       | 1999-2001 |      |       | 2001-2005 |      |       | 2005-2009 |      |       | 2009-2014 |      |       |
|------------------|-----------|------|-------|-----------|------|-------|-----------|------|-------|-----------|------|-------|-----------|------|-------|
|                  | Gan.      | Red. | Dif.  | Gan.      | Red. | Dif.  | Gan.      | Red. | Dif.  | Gan.      | Red. | Dif.  | Gan.      | Red. | Dif.  |
| 10-19,9          | 3,03      | 0,75 | 2,27  | 2,91      | 1,01 | 1,90  | 2,17      | 0,81 | 1,36  | 2,44      | 0,67 | 1,77  | 3,61      | 0,60 | 3,01  |
| 20-29,9          | 2,50      | 0,96 | 1,54  | 2,08      | 1,20 | 0,88  | 0,83      | 1,01 | -0,19 | 1,36      | 0,52 | 0,84  | 1,75      | 0,64 | 1,11  |
| 30-39,9          | 2,50      | 1,06 | 1,44  | 2,15      | 0,79 | 1,37  | 0,95      | 0,97 | -0,03 | 1,20      | 1,04 | 0,17  | 1,54      | 1,60 | -0,06 |
| 40-49,9          | 0,98      | 0,86 | 0,12  | 1,71      | 0,81 | 0,90  | 0,54      | 2,37 | -1,84 | 0,94      | 0,40 | 0,55  | 1,09      | 1,02 | 0,07  |
| 50-59,9          | 1,33      | 0,00 | 1,33  | 0,50      | 0,00 | 0,50  | 0,28      | 0,72 | -0,44 | 0,49      | 0,40 | 0,08  | 0,66      | 0,55 | 0,11  |
| 60-69,9          | 0,06      | 0,88 | -0,82 | 0,15      | 0,21 | -0,06 | 0,00      | 0,45 | -0,45 | 0,34      | 0,78 | -0,43 | 0,38      | 0,35 | 0,03  |

## 4. DISCUSIÓN

### Variación de biomasa

Los valores de biomasa total registrados en el período de 17 años se encontraron dentro del rango reportado para los bosques en distintos estados de conservación del BAAPA (22,83 a 193,58 Mg ha<sup>-1</sup>; Molas, 2016; Rodas Amarilla, 2016; Kubota *et al.*, 2021).

Los estudios de fluctuación de biomasa desarrollados hasta la fecha en el BAAPA corresponden a bosques con diferentes historias de degradación. Rodas Amarilla (2016) encontró un incremento de biomasa total de 4,04 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en un bosque secundario con 29 años de restauración

pasiva. Mientras que Molas (2016) y Kubota *et al.*, (2021) reportaron respectivamente un aumento de 2,35 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y 0,82 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, en un período de 5 y 21 años respectivamente, en una parcela alterada en el pasado, que se encuentra en proceso de recuperación y está instalada en un bosque con cobertura continua dentro de áreas protegidas. Al igual que otros reportes, los resultados de este estudio indicaron una tendencia de incremento de la biomasa forestal a través del tiempo, siendo la variación en el transcurso de 17 años (2,92 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>), ligeramente superior a la reportada por Molas (2016).

Los incrementos de la biomasa arbórea observados en los remanentes del BAAPA sugieren que los bosques estudiados aún se encuentran en proceso de recuperación y por ende la cantidad de carbono captado podría estar superando a la cantidad emitida a la atmósfera por estos ecosistemas. Es necesario generar más información sobre la fluctuación del contenido de carbono en los demás estratos (herbáceas, necromasa y suelo) y en los bosques de distintos estados de conservación para lograr un conocimiento integral y real sobre la participación del BAAPA en el ciclo global de carbono.

La ganancia de biomasa fue mayor en la clase diamétrica inferior debido al crecimiento y reclutamiento de individuos. Este resultado sugiere que la parcela cuenta con elevada cantidad de regeneración natural, que presenta un incremento volumétrico importante. Tendencias similares fueron reportados por Chave *et al.* (2003) quienes encontraron una clara tendencia de incremento de biomasa en las clases diamétricas inferiores (1-30 cm) y una reducción en las clases superiores (40-110 cm), en una parcela de 50 ha de Panamá. Una tendencia similar fue reportada para clases diamétricas inferiores por Kubota *et al.* (2021), en una parcela ubicada en el BAAPA, Paraguay.

En la parcela estudiada fueron registrados pocos individuos de gran dimensión (el DAP máximo fue de 66,5 cm), probablemente debido a que se trata de un bosque degradado en proceso de recuperación. Los árboles de gran dimensión tienen elevada biomasa y su presencia aumenta el valor del mismo por superficie unitaria. Considerando que algunas de las especies registradas en la parcela pueden llegar a tener un DAP superior a 100 cm (López *et al.*, 2002), se podría esperar que la biomasa del bosque estudiado alcance un valor mayor a medida que avance su estado de recuperación.

### **Implicancia de la conservación de los bosques fragmentados**

A excepción de los bosques conservados en áreas protegidas, la mayoría de los bosques remanentes del BAAPA se encuentran altamente fragmentados en pequeños parches (Da Ponte *et al.*, 2017). Los efectos de la fragmentación sobre la biomasa forestal y los métodos de manejo de estos fragmentos para la conservación de su biomasa son temas relevantes que deben ser estudiados para diseñar e implementar mecanismos de conservación de ecosistemas y mitigación de la crisis climática.

Dantas de Paula *et al.*, (2011) y Laurance *et al.*, (1997) mencionan que la biomasa de los bosques fragmentados y aquellos que sufren del efecto borde tienden a ser menor a la de los bosques en buen estado de conservación y su valor podría reducirse a través del tiempo. La reducción de biomasa en los bosques expuestos a estas condiciones desfavorables puede deberse a la pérdida de árboles de gran dimensión, ya sea a causa del estrés fisiológico por viento, sequía, fuego o de la tala (Dantas de Paula *et al.*, 2011; Laurance *et al.*, 1997). En la parcela estudiada se observó una tendencia inversa a lo reportado por estos autores, debido probablemente a la recuperación gradual de su estructura a partir de la creación del área protegida en el año 1984 y la eliminación del efecto borde a través de la restauración forestal desarrollada en su entorno. Los resultados de este estudio son alentadores, debido a que sugieren la posibilidad de incrementar la biomasa en los bosques fragmentados mediante actividades de conservación y otras intervenciones como la restauración forestal en su entorno.

## 5. CONCLUSIONES

Se comprobó el aumento de la biomasa total en la parcela permanente ubicada en el Refugio Biológico de Mbaracayú en el transcurso de 17 años. Los principales factores que afectaron a la fluctuación de la biomasa total fueron la muerte y el crecimiento de los individuos. En todas las mediciones, se encontraron mayores variaciones de biomasa en las clases diamétricas inferiores.

Mediante este estudio queda comprobado que los bosques fragmentados del BAAPA pueden incrementar su biomasa si son gestionados como parte de un área protegida. Es necesario proteger los remanentes boscosos del BAAPA y restaurar su entorno para lograr mantener o incrementar su biomasa arbórea.

## AGRADECIMIENTOS

La instalación y las mediciones de la parcela permanente fueron realizadas con recursos de ITAIPU Binacional. Se agradece a todas las personas que participaron y apoyaron las mediciones de la parcela estudiada a lo largo de 17 años, en especial a: Carlos Giménez Facetti (†), Amancio Mallorquín, Nicolás Coronel, Vicente López, Edgar Domínguez, Rubén Rodríguez, German Mendoza (†), Néstor Ayala (†), Guillermo Caballero, Antonio Lomaquis, Francisco Calonga y Raúl Ortega, quienes iniciaron este monitoreo instalando la parcela y realizando la primera medición.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Caballero, R. 2014. Análisis estructural y dinámico de la parcela permanente de medición y monitoreo de la biodiversidad del Refugio Biológico Mbaracayú: fitosociología forestal, análisis de datos de campo. *Biota*. Paraguay. 17 p.
- Chave, J.; R. Condit; S. Lao; J. Caspersen; R. Foster y S. Hubbell. 2003. Spatial and temporal variation of biomass in a tropical forest: results from a large census plot in Panama. *Journal of Ecology* 91: 240-252. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2003.00757.x>.
- Dantas de Paula, M.; C. P. Alves Costa; M. Tabarelli. 2011. Carbon storage in a fragmented landscape of Atlantic Forest: the role played by edge-affected habitats and emergent tree. *Tropical Conservation Science* 4(3): 340-349. <https://doi.org/10.1177/194008291100400310>.
- Da Ponte, E.; M. Roch; P. Leinenkugel; S. Dech y C. Kuenzer. 2017. Paraguay's Atlantic Forest cover loss - Satellite-based change detection and fragmentation analysis between 2003 and 2013. *Applied Geography* 79: 37-49. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.12.005>.
- De Sy, V.; M. Herold; F. Achard; R. Beuchle; J. G. P. W. Clevers; E. Lindquist y L. Verchot. 2015. Land use patterns and related carbon losses following deforestation in South America. *Environmental Research Letters* 10: 124004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/12/124004>.
- Di Bitetti, M.; G. Placci y L. Dietz. 2003. *A biodiversity vision for the Upper Paraná Atlantic Forest ecoregion: designing a biodiversity conservation landscape and setting priorities for conservation action*. Washington, USA: World Wildlife Fund. 154 p.
- Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Nacional de Asunción [FCA-UNA]. 2013. *Mapa de stock de carbono Bosque Atlántico del Alto Paraná* [en línea] [fecha de consulta: mayo 2021]. Disponible en: <https://globallandusechange.org/wp-content/uploads/2017/10/Reporte.-2014.-Carrera-Ingeneria-Forestal-UNA-Desarrollo-del-estudio-de-linea-de-base-para-el-sitio-piloto-Bosque-Atlantico-Alto-Parana.pdf>.
- FAO. 2020. *Global Forest Resources Assessment 2020: Main report*. Rome. 184 p. <https://doi.org/10.4060/ca9825en>.
- Fleytas, M. C. 2007. Cambios en el paisaje: evolución de la cobertura vegetal en el Paraguay. En: D. A. Salas-Dueñas y J. F. Facetti (eds.). *Biodiversidad del Paraguay: una aproximación a sus realidades* (pp. 77-87). Asunción: Fundación Moisés Bertoni, USAID, GEF/BM.

- Hirata, Y.; M. Takahashi; A. L. Vega; L. Rejalaga Noguera; N. Guerrero; L. Cabrebra. 2011. *Mapa de cobertura de la tierra Paraguay 2011*. FFPFI, FCA/UNA. Paraguay. 33 p.
- ITAIPU Binacional. 2016. *Plan de Manejo 2017-2021 del Refugio Biológico Binacional Mbaracayú*. Asunción. Editorial fotosíntesis. Paraguay. 141 p.
- Kubota, V. R.; R. D. Caballero González; A. E. Fernández Lomaquiz. 2021. Variación de biomasa en un periodo de 21 años en un Bosque Atlántico del Alto Paraná (Paraguay). *Forestal Colombia* 24(1): 60-70. <https://doi.org/10.14483/2256201X.16313>.
- Laurance, W. F.; P. Delamonica; S. G. Laurance; H. L. Vasconcelos y T. E. Lovejoy. 2000. Rainforest fragmentation kills big trees. *Nature* 404: 836. <https://doi.org/10.1038/35009032>.
- Laurance, W. F.; S. G. Laurance; L. V. Ferreira; J. M. Rankin-d Merona; C. Gascon y T. E. Lovejoy. 1997. Biomass collapse in Amazonian forest fragments. *Science* 278: 1117-1118. <https://doi.org/10.1126/science.278.5340.1117>.
- Lindner, A. y D. Sattler. 2012. Biomass estimations in forests of different disturbance history in the Atlantic Forest of Rio de Janeiro, Brazil. *New Forests* 43: 287-301. <https://doi.org/10.1007/s11056-011-9281-9>.
- López, J. A.; E. L. Little; G. F. Ritz; J. S. Rombold; W. J. Hahn. 2002. *Árboles comunes del Paraguay: ñande yvyra mata kuera*. FCA-UNA/Cuerpo de Paz. Paraguay. 458 p.
- Magarik, Y. A. S.; L. A. Roman y J. G. Henning. 2020. How should we measure the DBH of multi-stemmed urban trees? *Urban Forest & Urban Greening* 47: 126481. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126481>.
- Molas, C. 2016. *Variación temporal de la biomasa y carbono de un bosque del BAAPA en el periodo 2010-2015, Reserva Natural del Bosque Mbaracayú, Departamento de Canindeyú* (Tesis de grado, Ingeniería Ambiental). Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, Paraguay. 118 p.
- Pan, Y.; A. R. Birdsey; J. Fang; R. Houghton; P. E. Kauppi; W. A. Kurz; P. L. Phillips; A. Shvidenko; S. L. Lewis; J. G. Canadell; P. Ciaia; R. B. Jackson; S. W. Pacala; A. D. McGuire; S. Piao; A. Rautiainen; S. Sitch y D. Hayes. 2011. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science* 333: 988-993. <https://doi.org/10.1126/science.1201609>.
- Rodas Amarilla, G. D. 2016. *Variación temporal de la biomasa y carbono de un bosque secundario del BAAPA, periodo 2009-2016, Reserva Natural del Bosque Mbaracayú, departamento de Canindeyú* (Tesis de grado, Ingeniería Forestal). Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, Paraguay. 136 p.
- Sato, T.; M. Saito; D. Ramírez; L. F. Pérez de Molas; J. Toriyama; Y. Monda; Y. Kiyono; E. Herebia; N. Dubie; E. Duré Vera; J. D. Ramírez Ortega y M. Vera de Ortiz. 2015. Development of allometric equations for tree biomass forest ecosystems in Paraguay. *Japan Agricultural Research Quarterly* 49(3): 281-291.
- Tortorelli, L. A. 1967. Formaciones forestales y maderas del Paraguay. *Instituto Forestal Latino-Americano de Investigación y Capacitación* 24: 3-34.
- Vera Monge, V. R. 2009. *Comparação de associações vegetais sobre diferentes tipos de solos na área de influência da Represa Itaipu, para reconhecimento de espécies apropriadas para restauração ecológica* (Tesis de doctorado, Doctor en Recursos Forestales). Universidad de San Pablo, Brasil. 473 p.



NOTA TÉCNICA

## Actividad microbiana y enzimática en suelos forestales y agrícolas

### *Microbial and enzymatic activities in forest plantations and agricultural field soils*

Zalba P.<sup>1</sup>; J. A. Galantini<sup>2</sup>; L. Gabbarini<sup>3</sup> y A. Ares<sup>4</sup>

Recibido en marzo de 2022; aceptado en octubre de 2022

#### RESUMEN

El objetivo de este estudio fue caracterizar la actividad microbiana y enzimática en horizontes minerales superficiales bajo plantaciones forestales y suelos agrícolas en la región de Ventania, Provincia de Buenos Aires, Argentina. El pH del suelo en las plantaciones forestales fue en promedio 5.0 comparado con 6.2 en los suelos agrícolas adyacentes. En las plantaciones forestales, también hubo aumentos estadísticamente significativos en el carbono orgánico total y en el carbono orgánico particulado grueso (COPg), en el contenido de N total y en la relación C:N en comparación con los suelos agrícolas. La tasa de respiración microbiana fue mayor en las plantaciones forestales ( $17,8 \pm 1,5 \text{ mg CO}_2 \text{ 100 g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ) en comparación con los suelos agrícolas ( $10,2 \pm 1,4 \text{ mg CO}_2 \text{ 100 g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ). Se observó una estrecha relación entre la respiración y el aumento de COPg. En ambos sistemas, la actividad de la enzima fosfatasa fue muy elevada debido a la alta tasa de sorción de fósforo (58 %) que presentan los suelos de Ventania. El uso de la tierra forestal y agrícola afectó la dinámica del carbono y nitrógeno del suelo de diferentes maneras. Los resultados sugieren que la movilización de N y S fue mayor en las plantaciones forestales.

**Palabras clave:** actividad biológica, respiración microbiana, sulfatasa, quitinasa.

#### ABSTRACT

We characterized the microbial and enzymatic activity in upper mineral horizons under forest plantations and agricultural fields in the Ventania region, Province of Buenos Aires, Argentina. The pH in the soil of forest plantations was, on average, 1.2 units lower than in the adjacent agricultural fields. In the forest plantations, there were also significant increases in total organic carbon, and coarse particulate organic carbon (POCc), total N content, and the C:N ratio. The microbial respiration rate was higher in the forest plantations ( $17.8 \pm 1.5 \text{ mg CO}_2 \text{ 100 g}^{-1} \text{ day}^{-1}$ ) in comparison to the agricultural fields ( $10.2 \pm 1.4 \text{ mg CO}_2 \text{ 100 g}^{-1} \text{ day}^{-1}$ ). A close relationship between respiration and the POCc increase was observed. The enzymatic activity of sulphatase and chitinase was also greater in forest plantations, indicating greater mobilization of N and S. In both systems, the phosphatase enzyme activity was high as expected given the high phosphorus sorption rate (58 %) of the soils in Ventania. Forest and agriculture land use affected soil carbon and nitrogen dynamics in different ways. Microbial respiration is positively associated with coarse particulate organic carbon level. The results suggest that N and S mobilization was greater in forest plantations.

**Key words:** biological activity, microbial respiration, sulphatase, chitinase.

<sup>1</sup> Depto. Agronomía, Universidad Nacional del Sur (UNS). Av. Leandro Nicéforo Alem 1253, (8000) Bahía Blanca, Argentina. E-mail: pzalba@uns.edu.ar.

<sup>2</sup> Comisión Investigaciones Científicas (CIC Pcia. BA), CERZOS & Depto. Agronomía (UNS).

<sup>3</sup> CONICET-Universidad Nacional de Quilmes, Bernal (B1876BX), Argentina.

<sup>4</sup> University of Guam, USA.

## 1. INTRODUCTION

The biological activity of soils plays an important role in the edaphic structure and functioning since microorganisms (e.g., bacteria, fungi, yeasts), together with earthworms and insects participate in the decomposition of organic matter (OM). At the same time, root exudates, fungal hyphae, and bacterial secretions unite soil mineral particles with organic materials. This improves the soil habitat by attracting many organisms and accelerating nutrient cycling. Decay products from invertebrate increase soil aggregation, resulting in greater water infiltration, aeration, and rooting (Clapperton, 2003).

Decomposition is a biological process that occurs normally in all production systems, but the speed of this process varies widely (Ramos *et al.* 2021). In agricultural soils, biological activity is affected by cultivation (Saggar *et al.*, 2001). Time is needed after tilling and other practices to restore the soil biologically and mechanically. Biological activity can be assessed by measuring microbial respiration or enzyme activity.

Enzyme activities provide information on the soil qualitative state as microorganisms, plants, algae, and insects are capable of secreting enzymes. The activity of the chitinase enzyme is related to the breakdown of chitin and is important in both the C and N cycles. Chitin is mainly a constituent of fungal cell walls and is also present in arthropod exoskeletons. It is a polysaccharide made up of N-acetylglucosamine units (N-acetyl-D-glucos-2-amine) linked together by  $\beta$ -1,4 bonds, which is the most abundant natural polymer in soils after cellulose.

The enzyme  $\beta$ -glucosidase acts upon the  $\beta$ 1,4 bonds that join two molecules of glucose or glucose substitutes, e.g., disaccharide cellobiose. It is an exocellulase with specificity for various  $\beta$ -D-glucoside substrates that catalyzes the hydrolysis of these substrates to produce glucose. The cellobiohydrolase hydrolyzes cellulose whereas  $\beta$ -glucosidase hydrolyzes cellobiose. The xylosidase that hydrolyzes xylose is also included in this group of enzymes, being a pentose that is important in the carbon cycle. Both the phosphatase and the sulphatase are also hydrolytic enzymes closely related to the P and S cycles, respectively. The natural substrates upon which they act are diverse molecules of organic origin present in soils.

In Ventania, there have been no characterizations of soil biological activity. If the soil biological activity has not been affected by land use, it should be close to the level considered optimal. The production of 20 to 25 mg CO<sub>2</sub> 100 g soil<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup> is considered adequate according to the analysis by one of the authors (P. Zalba, personal communication). Enzyme activities also provide information for characterizing different environments. The study of hydrolytic enzyme activities is very useful as they are related to the breakdown of polymers, which would likely differ under differences land uses.

## 2. MATERIALS AND METHODS

### Study area

The study area is the Ventania mountain range, in the Province of Buenos Aires, Argentina. The region belongs to the morpho-structural domain “Positivo de Ventania” where two main units have been defined: the “Sistema Serrano” and the “Nivel de Planación General” (González Uriarte, 1984).

The mean annual precipitation averaged 700 mm from 1900 to 2009. The potential evapotranspiration for the same periods was 1100 mm. The rainiest seasons are summer and autumn with 32 % and 28 % of the total precipitation, respectively. Rainfall is highly variable in the region (Scian, 2010).

The mean annual temperature is 15.0 °C. The mean temperature in the warmest month (January) is 23.2 °C and that of the coldest month (July) is 7.5 °C. The average frost-free period extends from October to April. Predominant winds come from the northwest. The windiest season is summer with average speeds of 24 km.h<sup>-1</sup>. According to the Thornthwaite water balance, there is a marked water deficiency during the summer months. The water replacement period begins in March-April and lasts until October when consumption of the water accumulated in the soil begins (Scian, 2010).

The soils in the study area belong to the Mollisols order, suborder Udol (Soil Survey Staff, 2014). The fertile soils that characterize the natural ecosystems in Ventania are from the Holocene period (Amiotti *et al.*, 2000). Their formation is linked to a combination of factors that include calcareous parental material (loess or loessoid sediments), and edaphoclimatic conditions that resulted in the development of herbaceous strata rich in plants in the *Poaceae* family. The mineralogy of the clay fraction is mixed, with a predominance of illite and illite-smectite interlayer (Blanco *et al.*, 2003).

The land is apt for agriculture, forestry, and livestock production. Both winter cereals such as wheat (*Triticum aestivum* L.), oats (*Avena sativa* L.), barley (*Avena sativa* L.) and rye (*Secale cereale* L.), and summer crops such as corn (*Zea mays* L.), sorghum (*Sorghum* spp.), and sunflower (*Helianthus annuus* L.) are grown. Forest plantations are mainly composited of coniferous species.

### Treatments and soil sampling

We sampled soils of similar texture from seven forest plantations consisting of species of *Pinus halepensis* Mill., *Pinus radiata* D. Don, and *Pinus pinaster* Aiton. The soil texture of the sampled sites was similar and, therefore, confounding effects of granulometry on changes in the content of humic substances and associated nutrients were avoided (Galantini *et al.*, 2004). The forest plantations were planted between 1949 and 1958.

In each plantation, three samples were taken randomly at 50 cm from the tree trunks and at 0 - to 20 - cm depth. Three samples were taken simultaneously at random at 0 - to - 20 cm depth in adjacent fields with similar number of years of agricultural use. Information about the agricultural history of the fields was provided by farmers. In all cases, wheat, corn, and sunflower were sown after a fallow period to accumulate soil water. Occasionally, fescue (*Festuca* spp.) and alfalfa (*Medicago sativa* L.) pastures were grown for periods of at least three years as part of rotations to maintain soil fertility. The land uses included in the study were 1) Forest plantations of more than 60 years of age surrounded by a perimeter fence that prevented cattle access, and 2) agricultural fields with more than 6a years of agriculture use mostly under winter and summer cereals and pastures.

### Laboratory measurements and statistical analysis

Chemical analyses were made on all soil samples and the three granulometric fractions to study the effect of land use on the SOC distribution.

In soil samples, it were determined: pH in soil-water suspension, 1:2.5 ratio; total organic carbon (TOC, g kg<sup>-1</sup>) by the dry combustion method using a Leco-Dry Combustion Analyzer; total nitrogen (TN, g kg<sup>-1</sup>), by the semi-micro-Kjeldahl method (Bremner, 1996); organic phosphorus by the Saunders and Williams method obtained from the difference between the phosphorus extracted with 0.5 M sulphuric acid from a sample calcinated at 550°C and from a sample without calcination (Kuo, 1996); single point phosphorus sorption index (PSI) using a 30 mg solution of P L<sup>-1</sup> prepared from 0.112 g of NH<sub>4</sub>PO<sub>4</sub>H<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> (Ron *et al.*, 1995); as well as sand, silt, and clay percentage obtained by the Robinson pipette method (Gee and Orr, 2002).

The physical fractionation of the soil previously sieved with a 2-mm mesh was carried out by wet sieving to separate three granulometric fractions (Galantini, 2005): coarse of 100-2000  $\mu\text{m}$ , intermediate of 50-100  $\mu\text{m}$ , and fine less than 50  $\mu\text{m}$ .

The SOC ( $\text{g kg}^{-1}$ ) of the coarse, medium, and fine fractions was determined by the dry combustion method with a Leco-Dry Combustion Analyzer, obtaining the carbon associated with the mineral fraction (MOC, 0-50  $\mu\text{m}$ ), the fine particulate (POCf, 50-100  $\mu\text{m}$ ) and the coarse particulate (POCc, 100-2000  $\mu\text{m}$ ), respectively.

The soil microbial activity was characterized using the respiration technique. The activity of enzymes involved in different soil metabolic processes such as phosphatase, sulphatase, chitinase,  $\beta$ -glucosidase, cellobiohydrolase and laxilosidase, was evaluated. The phosphatase and sulphatase activities were determined to assess their effect on P and S metabolisms, respectively. To characterize the activity related to N metabolism, the sum of chitinase plus leusin amino peptidase (LEU or LAP) activities was used. The latter enzyme did not show activity, so only the chitinase activity is mentioned. Regarding C metabolism, the activities of cellobiohydrolase, xylosidase, and of  $\beta$ -glucosidase (BGLU or BG), were evaluated. Even though there are several enzymes that hydrolyze polymers, the latter enzyme is supposed to be the most important one in the carbon pathway.

The enzymatic activities were measured directly in the soil suspension in a relatively short time to ensure the occurrence of extracellular activities as the microorganisms did not have time to colonize the substrate. Hydrolytic enzymes were analyzed using fluorine-methylumbelliferyl-linked substrates and the oxidative enzymes were determined colorimetrically using L-3,4-dihydroxyphenylalanine. The enzymatic activities were calculated and expressed in  $\text{nmol h}^{-1} \text{g}^{-1}$  of dry soil. The samples were incubated at 20 °C. To approximate the environmental pH of the soil, the samples were analyzed at pH 5 obtained by suspending 1 g of soil in 100 ml of 50 mM sodium acetate buffer solution (Sinsabaugh, 2008).

The land use effects (forest and agriculture) on the studied variables were tested in ANOVA analyses with land uses as fixed factors. Tests of least significant differences were performed for comparing means. We used the INFOSAT software (Di Rienzo *et al.*, 2013) for the statistical analyses.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

The soil texture was similar in forest plantations and agricultural fields (Table 1) with soils having loamy to sandy loam textures. Clay content varied between 15.5 % and 26.5 %, whereas silt content ranged between 15.4 % and 36 %, and sand content between 41.1 % and 65 %. A sharp decrease in pH, and significant increases in SOC and in the C:N ratio were observed in the forest plantations.

**Table 1.** Chemical properties in forest plantations and agriculture fields in Ventania, Argentina.

| System             | pH              | SOC %           | Nt %              | C:N              | Texture            |
|--------------------|-----------------|-----------------|-------------------|------------------|--------------------|
| Forest plantation  | 5.0 $\pm$ 0.3 a | 3.6 $\pm$ 0.8 a | 0.27 $\pm$ 0.04 a | 13.2 $\pm$ 1.0 a | Loam to loamy sand |
| Agricultural field | 6.2 $\pm$ 0.2 b | 2.5 $\pm$ 0.7 b | 0.22 $\pm$ 0.03 b | 11.7 $\pm$ 0.6 b | Loam to loamy sand |

SOC: Soil organic carbon; Nt: Total nitrogen; C:N: Carbon: nitrogen ratio. Values are means  $\pm$  one standard deviation. Different letters within each column indicate highly significant differences ( $P \leq 0.01$ ).

The lower N values observed in agricultural fields could be attributed to the loss of N in this system because plant residue loss does not occur in the forest plantations. Because of the marked

increase in SOC, especially in the less transformed organic material, the C:N ratio is also higher in the forest plantations (Amiotti *et al.*, 2012).

In the forest plantations, the superficial organic contributions produce a greater increase of SOC in the coarsest fraction (Table 2). This increase in SOC mainly corresponds to young or particulate organic matter that was considered in this study to be greater than 100  $\mu\text{m}$ . This organic matter closely related to the most recent organic contributions (Galantini and Suñer, 2008) are significantly higher in the forest plantations as shown by the SOC enrichment (Table 2). In this regard, the transformation of organic materials follows the sequence: coarse particulate OC (POCc) > fine particulate OC (POCf) > OC associated with the mineral fraction (MOC). A marked accumulation of material larger than 100  $\mu\text{m}$  was observed in the forest plantations, suggesting that plant residues are more resistant to decomposition, although there is also evidence that under agricultural soil the POCc decreases (because of tilling (Blanco-Moure *et al.*, 2017)

**Table 2.** Soil organic carbon content in different particulate fractions in forest plantations and agricultural fields in Ventania, Argentina.

| System             | POCc<br>> 100 $\mu\text{m}$ (%) | POCf<br>50 – 100 $\mu\text{m}$ (%) | MOC<br>< 50 $\mu\text{m}$ (%) |
|--------------------|---------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| Forest plantation  | 5.0 $\pm$ 3.1 a                 | 1.30 $\pm$ 0.7 a                   | 4.3 $\pm$ 1.6 a               |
| Agricultural field | 2.5 $\pm$ 1.9 b                 | 1.92 $\pm$ 1.1 a                   | 3.5 $\pm$ 0.9 a               |

POCc: Particulate organic carbon, coarse; POCf: Particulate organic carbon, fine; MOC: Mineral organic carbon. Values are means  $\pm$  one standard deviation. Different letters within each column indicate significant differences ( $P \leq 0.05$ ).

No significant differences were observed in MOC between the two systems. However, there is a trend towards a higher MOC content under the trees, indicating that the humification conditions were comparable. There were no significant differences in the POCf content corresponding to the 50 to 100  $\mu\text{m}$  fractions.

Greater biological activity was observed in the forest plantations compared to the agricultural fields ( $P \leq 0.01$ ). The soil respiration in the agricultural fields was classified as moderately low averaging  $10.2 \pm 1.4 \text{ mg CO}_2 \text{ 100 g}^{-1} \text{ day}^{-1}$ , whereas in the forest plantations was moderate with an average value of  $17.8 \pm 1.5 \text{ mg CO}_2 \text{ 100 g}^{-1} \text{ day}^{-1}$  (Zarafshar *et al.*, 2020).

Lower biological activity in agricultural fields may be related to the use of agrochemicals that are commonly employed to achieve higher crop yields. The use of herbicides and pesticides can reduce the diversity of soil-dwelling microorganisms, and edaphic mesofauna (Chavez-Bedoya *et al.*, 2013). Comparing soil respiration and the changes produced in the physically separated organic fractions of the two systems, a positive relationship can be observed between respiration and the POCc increase. Several studies indicated that this fraction is the most dynamic and most rapidly used by soil microorganisms (Galantini and Rosell, 1997; Haynes, 2005; Duval *et al.*, 2018).

This POCc fraction, together with the soil organisms related to it, constitutes a potential reserve of nutrients that can be vital for the maintenance of soil quality. In addition, when the edaphic environment is altered, the microorganisms are ideal indicators of contamination by the xenobiotic substances present in agrochemicals (Atlas and Bartha, 2002).

The activity of enzymes involved in different soil metabolic processes such as phosphatase, sulphatase, chitinase,  $\beta$ -glucosidase, cellobiohydrolase and laxiloidase, was evaluated. The phosphatase and sulphatase activities were determined to assess their effect on P and S metabolisms, respectively. To characterize the activity related to N metabolism, the sum of chitinase plus leusin amino peptidase (LEU or LAP) activities was used. The latter enzyme did not show activity so only the chitinase activity is mentioned. Regarding C metabolism, the activities of cellobiohydrolase, xylosidase, and of  $\beta$ -glucosidase (BGLU or BG), were evaluated.

Even though there are several enzymes that hydrolyze polymers, the latter enzyme is supposed to be the most important one in the carbon pathway.

There were significant differences in the enzymatic activity of sulphatase and chitinase that participate in the metabolism of S and N, respectively (Table 3). Both enzymes showed greater activity in the forestry system. It can be inferred, then, that both S and N are more intensely metabolized in forest plantations. Regarding S, pines and birches in southern Poland absorbed and incorporate high levels of S into their woody tissues, at a proportional rate to the degree of contamination with this element (Likus-Cieřlik and Pietrzykowski, 2017).

**Table 3.** Enzyme activity in forest plantations and agriculture field in Ventania, Argentina.

| System             | Enzymes related to the carbon metabolism |                      |                   |
|--------------------|------------------------------------------|----------------------|-------------------|
|                    | Cellobiohydrolase                        | $\beta$ -Glucosidase | Xylosidase        |
| Forest plantation  | 36.6 $\pm$ 11.6 a                        | 465.8 $\pm$ 151.4 a  | 39.9 $\pm$ 17.9 a |
| Agricultural field | 28.1 $\pm$ 16.3 a                        | 414.8 $\pm$ 120.0 a  | 30.1 $\pm$ 18.9 a |
|                    | Enzymes related to N, P and S metabolism |                      |                   |
|                    | Chitinase                                | Phosphatase          | Sulphatase        |
| Forest plantation  | 209.6 $\pm$ 61.7 a                       | 2126.7 $\pm$ 560.7 a | 49.9 $\pm$ 14.5 a |
| Agricultural field | 85.4 $\pm$ 25.5 b                        | 1845.0 $\pm$ 427.2 a | 32.5 $\pm$ 5.6 b  |

Values are expressed in mmol of substrate per h<sup>-1</sup> per g<sup>-1</sup> of dry soil. Values are means  $\pm$  one standard deviation. Different letters within each column indicate significant differences ( $P \leq 0.05$ ).

There were no significant differences between land uses in the enzymes involved in C metabolism. Neither were differences in the enzymatic activity of phosphatase, which was much higher than that of the other enzymes studied (Table 3), even though it had been shown, that the availability of this nutrient significantly increases under pine trees (Garay *et al.*, 2015). The availability of P in the soil depends on complex physicochemical and biological balances (Galantini *et al.*, 2007). On one hand, there is a large amount of P in the more labile organic and inorganic fractions (Perrot, 2003) and, on the other hand, the soils in this region have a high PSI (Ron *et al.*, 1995). Both factors, at least in part, could explain the great enzymatic activity of phosphatase observed in the two systems. Traditionally, the soil P retention capacity is evaluated by the PSI. The ability of a soil to release the P retained in the colloids into the environment depends on the soil P sorption capacity as well as the amount of P absorbed (Pose and Zamuner, 2016). The hypothesis that the enzymatic activity is related to the presence of a high content of organic phosphorus is not supported. Organic P values of 236  $\pm$  39.2 mg OP kg<sup>-1</sup> were determined in the forest plantations and 254  $\pm$  53.9 mg OP kg<sup>-1</sup> in the agricultural fields. The PSI values in both systems were very high (57.9  $\pm$  3.9 % and vs. 57.8  $\pm$  3.0 % in forest plantations and agricultural fields, respectively) and they did not differ significantly.

The microorganisms present in the soil must develop great enzymatic activity to mobilize and obtain the phosphorus necessary for growth and development. In natural edaphic ecosystems, a 1:1:1 stoichiometric relationship has been found for the enzymes related to C, N, and P acquisition (Sinsabaugh *et al.*, 2008). This finding suggests that the microbiome regulates the production of enzymes based on the need for a nutrient. These authors evaluated 40 ecosystems and concluded that a condition of equilibrium is reached when the existing stoichiometric relationship between the enzymatic activities of C, N and P tends to be equal to one, and therefore the enzymatic relationships between C: N: P would be like each other.

The natural logarithm of the quotient of enzymatic activities is represented in Figure 1. The C: N ratio relates to enzymes that hydrolyze C over those that degrade N. in forest plantations the C: N, C: P and N: P ratios are equal to 1.2; 0.8, and 0.7, respectively, whereas in the agricultural fields these ratios are 1.4; 0.8, and 0.6, respectively. Therefore, as suggested by Sinsabaugh *et al.* (2008), the effect on the microbiome activity of more than 60 years of agriculture and/or afforestation with pine trees produced similar consequences. These similar values can show that the maintenance of element homeostasis by soil microorganisms induces a strong co-regulation

of enzymes involved in covering their C, N and P nutrient supply during litter degradation (Bai *et al.*, 2021)

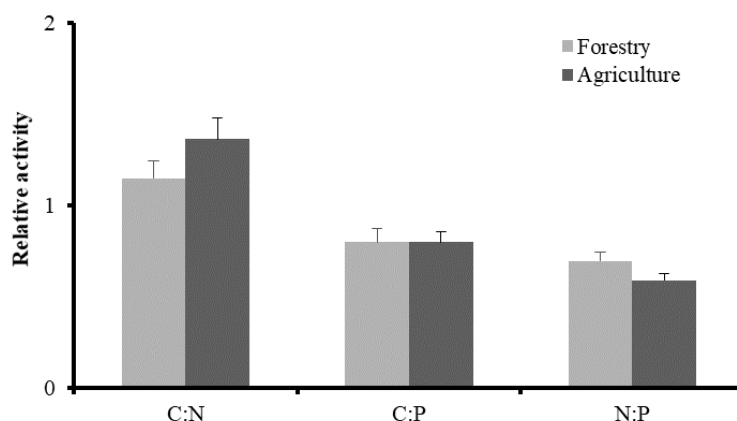


**Figure 1.** C: N, C: P and N: P enzymatic relationships in forest plantations and agricultural fields in Ventania, Argentina

As the enzymatic activity of phosphatase in the forest plantations and agricultural fields was very high, the C: P and N: P ratios were always less than one. This suggests that microorganisms must have high enzymatic activity to obtain the phosphorus necessary for their development. This is probably related to the high PSI in the loessic soils in the study area. In the natural forests of *Nothofagus pumilio* (Poepp. & Endl.) Krasser in the Patagonia Argentina, the communities of ectomycorrhizal fungi played a predominant role as regulators of N (Truong *et al.* 2019). These are shallow soils with high content of SOC and available P, with N likely as the limiting nutrient, especially at high altitude sites (Moretto and Martinez Pastur, 2014). The enzyme with the highest activity in this soil, and under those environmental conditions, was N-acetyl-glucosaminidase, which is related to the N metabolism (Truong *et al.*, 2019).

#### 4. CONCLUSIONS

In this study, forest plantations showed greater soil C, N concentration, and biological activity in the upper soil compared to agriculture fields. Differences in enzyme activity varied for the studied enzymes with higher activity in forests, for enzymes related to the S and N cycles with no differences for C and P related enzymes. The C:N:P stoichiometry agreed with this result. The phosphatase activity was high in both systems. From a land use perspective, soil under forest would constitute a more conservative systems for major pools (e.g., C and N) compared to losses or lower build-up in soils under agriculture than could be attributed to slower plant residue decomposition and lower soil disturbance because of absence of tiling and agrochemical applications. However, soil acidification in plantations of introduced trees species has been of concern in many regions of the world.

## 5. BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

- Amiotti, N. M.; P. Zalba; A. Ares and J. M. Rossi. 2012. Coniferous afforestation increases soil carbon in maritime sand dunes. *Archives of Agronomy and Soil Science* 59: 1-16.
- Amiotti, N. M.; P. Zalba; L. F. Sanchez and N. Peinemann. 2000. The impact of single trees on properties of loess-derived grassland soils in Argentina. *Ecology* 81: 3283-3290.
- Atlas, R. M. and R. Bartha. 2002. *Ecología microbiana y microbiología ambiental*. Editorial Addison Wesley.
- Bai, X.; M. A. Dippold; S. An; B. Wang; H. Zhang and S. Loeppmann. 2021. Extracellular enzyme activity and stoichiometry: The effect of soil microbial element limitation during leaf litter decomposition. *Ecological Indicators* 121: 107200.
- Blanco, M. C.; N. M. Amiotti and J. Aguilar Ruiz. 2003. Reconstrucción de la evolución geopedogenética en una toposecuencia del sudoeste pampeano. *Ciencia del Suelo* 21: 59-70.
- Blanco-Moure, N; R. Gracia; A. C. Bielsa and V. López. 2016. Soil organic fractions as affected by tillage and soil texture under semiarid Mediterranean conditions. *Soil and Tillage Research* 155: 381-389.
- Bremner, J. M. 1996. Nitrogen - Total. In: *Methods of Soil Analysis*. Part 3. Chemical Methods. (Ed., D.L. Sparks), SSSA-ASA, Madison, WI, USA. pp. 1085-1123.
- Chaves-Bedoya, G.; M. L. Ortiz-Moreno and L. Y. Ortiz-Rojas. 2013. Efecto de la aplicación de agroquímicos en un cultivo de arroz sobre los microorganismos del suelo. *Ciencia del Suelo, Colombia*, 66-72.
- Clapperton, M. J. 2003. *Increasing soil biodiversity through conservation agriculture - Managing the soil as a habitat*. Actas II Congreso Mundial sobre Agricultura Conservacionista. p.136-145.
- Di Rienzo, J. A.; F. Casanoves; M. G. Balzarini; L. Gonzalez; M. Tablada and C. W. Robledo. 2013. *InfoStat versión 2013* Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Duval, M. E.; J. A. Galantini; J. M. Martínez and F. Limbozzi. 2018. Labile soil organic carbon for assessing soil quality: influence of management practices and edaphic conditions. *Catena* 171: 316-326.
- Galantini, J. A. 2005. Separación y análisis de las fracciones orgánicas. En: *Manual Tecnología en Análisis de Suelos: Alcances a laboratorios agropecuarios* (Eds. L. Marban y S. Ratto) de la AACCS. Capitulo IV parte 2, 103-114.
- Galantini, J. A. and L. Suñer. 2008. Las fracciones orgánicas del suelo: Análisis en los suelos de la Argentina. *Revisión AgriScientia* XXV: 41-55.
- Galantini, J. A. and R. A. Rosell. 1997. Organic fractions, N, P, and S changes in a semiarid Haplustoll of Argentine under different crop sequences. *Soil & Tillage Research* 42: 221-228.
- Galantini, J. A.; L. Suñer and J. O. Iglesias. 2007. Sistemas de labranza en el sudoeste bonaerense: efectos de largo plazo sobre las formas de fósforo en el suelo. *Revista Investigaciones Agropecuarias (RIA - INTA)* 36: 63-81.
- Galantini, J. A.; N. Senesi; G. Brunetti and R. A. Rosell. 2004. Influence of texture on the nitrogen and sulphur status and organic matter quality and distribution in semiarid Pampean grassland soils. *Geoderma* 123: 143-152.
- Garay, M.; N. M. Amiotti and P. Zalba. 2015. Potencial riesgo de polución biológica asociado a la introducción de *Pinus radiata* en tierras de pastizales. *Phyton* 84: 280-287.
- Gee, G. W. and D. Or. 2002. Particle size analysis. In: Dane, J.H. and Topp, G.C. Eds. *Methods of soil analysis, Part 4, Physical methods*. Soil Science Society of America, USA.
- Gonzalez Uriarte, M. J. 1984. *Características geomorfológicas de la porción continental que rodea la Bahía Blanca (Buenos Aires)*. Actas III: (556-576), IX Congreso Geol. Arg. Buenos Aires.

- Haynes, R. 2005. Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: An overview. *Advances in Agronomy* 85: 221-268.
- Kuo, S. 1996. Phosphorus. In: Sparks, D. L., Ed., *Methods of Soil Analysis*: Part 3, SSSA Book Series No. 5, SSSA and ASA, Madison, 869-919.
- Likus-Cieślík, J. and M. Pietrzykowski. 2017. Vegetation development and nutrients supply of trees in habitats with high sulfur concentration in reclaimed former sulfur mines Jeziórko (Southern Poland). *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24: 20556-20566.
- Moretto, A. and G. J. Martínez Pastur. 2014. Litterfall and leaf decomposition in *Nothofagus pumilio* forests along an altitudinal gradient in Tierra del Fuego, Argentina. *Journal of Forest Science* 60: 500-510.
- Perrot, K. 2003. *Labile soil phosphorus and soil tests*. AgResearch, New Zealand, 4 p.
- Pose, N. N. and E. C. Zamuner. 2016. Índice de sorción como estimador de la capacidad de retención de fósforo en suelos. *Agrociencia Uruguay* 20(2): 86-94.
- Ramos, S. M., M. A. S. Graca and V. Ferreira. 2021. A comparison of decomposition rates and biological colonization of leaf litter from tropical and temperate origins. *Aquatic Ecology* 55: 925-940.
- Ron, M.; S. G. Bussetti and T. Loewy. 1995. Uso de un índice de sorción como complemento del fósforo extraíble en la fertilización fosfórica del trigo. *Ciencia del Suelo* 13: 35-37.
- Saggard, S. S., W. Y. Yeates and T. G. Shepherd. 2011 Cultivation effects of soil biological properties, microfauna, and organic matter dynamics in Eutric Glysol and Gleyic Luvisol soils in New Zealand. *Soil and Tillage Research* 58: 55-68.
- Scian, B. 2010. *Clima de Bahía Blanca y Sudoeste Bonaerense*. Capítulo II. Ambiente y recursos naturales del partido de Bahía Blanca: clima, geomorfología, suelos y aguas. Juan Darío Paoloni comp., 1a ed., Bahía Blanca, Universidad Nacional del Sur, EDIUNS, 242 p.
- Sinsabaugh, R. L.; C. L. Lauber; M. N. Weintraub; B. Ahmed; S. D. Allison; Ch. Crenshaw; A. R. Contosta; D. Cusack; S. Frey; M. E. Gallo; T. B. Gartner; S. E. Hobbie; K. Holland; B. E. Keeler; J. S. Powers; M. Stursova; C. Takacs-Vesbach; M. P. Waldrop; M. D. Wallenstein; D. R. Zak and L. H. Zeglin, 2008. Stoichiometry of soil enzyme activity at global scale. *Ecology Letters* 11: 1252-1264.
- Soil Survey Staff, 2014. *Keys to Soil Taxonomy*, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
- Truong, C.; L. A. Gabbarini; A. Corrales; A. B. Mujic; J. M. Escobar; A. Moretto and M. E. Smith, 2019. Ectomycorrhizal fungi and soil enzymes exhibit contrasting patterns along elevation gradients in southern Patagonia. *New Phytologist* 222: 1936-1950.
- Zarafshar, M.; S. Bazot; M. Matinzadeh; S. K. Bordbar; M. J. Roustaei; Y. Kooch; K. Enayati; A. Abbasi and M. Negahdarsaber. 2020. Do tree plantations or cultivated fields have the same ability to maintain soil quality as natural forests? *Applied Soil Ecology* 151: 103536



NOTA TÉCNICA

## Productividad, calidad potencial de rollizos y características de la canopia en taxones de pinos en Misiones, Argentina

*Productivity, potential log quality, and characteristics of the canopy in pine taxa in Misiones, Argentina*

Belaber E.<sup>1</sup>; R. A. Winck<sup>1</sup>; M. E. Gauchat<sup>1</sup>; C. Rotundo<sup>1</sup>; C. Bulman<sup>1</sup>  
y H. E. Fassola<sup>1</sup>

*Recibido en abril de 2022; aceptado en octubre de 2022*

### RESUMEN

En el año 1996 se estableció un ensayo en bloques de taxones de pinos en Cerro Azul, provincia de Misiones, Argentina. A los 19 años se evaluaron las parcelas de taxones de *Pinus elliottii*, *Pinus taeda*, ambos de huertos semilleros clonales locales, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, el híbrido entre *Pinus elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (F1), su F2 de polinización abierta y las retrocruzas de F1 x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* y *Pinus elliottii*, todos ellos procedentes de Australia. Se determinó la productividad de los mismos, características de la canopia como la longitud de copa verde, la cantidad de internodos largos mayores a 0,60 m por debajo de los 6,20 m de altura. Posteriormente se procedió a establecer las diferencias entre taxones con modelos lineales generales y mediante el test DGC se realizaron comparaciones de medias. Los taxones de mayor productividad fueron *Pinus taeda* y el híbrido F1. Se determinaron diferencias estadísticas entre los ideotipos de copa de los taxones. *Pinus elliottii* fue el taxón que tuvo la mayor cantidad de internodos largos por debajo de los 6,20 m de altura y también la mayor sumatoria de estos por árbol y por hectárea. En estas últimas características se destacó también la retrocruza de F1 x *Pinus elliottii*. Es necesario incluir en los estudios de fenotipado de *Pinus* spp. la arquitectura y estructura de copas, ya que inciden en los procesos de transformación mecánica.

**Palabras claves:** estructura copa, entrenudos largos, índice de entrenudos.

### ABSTRACT

In 1996, a pine taxa trial was established in Cerro Azul, Misiones province, Argentina. Nineteen years later, it was evaluated the plots of *Pinus elliottii*, *Pinus taeda*, both from local clonal seed orchards, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, the hybrid between *Pinus elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (F1), its open-pollinated F2 and backcrosses of F1 x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* and *Pinus elliottii*, all of them from Australia. It was determined their productivity and canopy characteristics, such as the length of the green crown, the number of long internodes greater than 0.60 m below 6.20 m in height. Subsequently, the differences between taxa were established using general linear models and by means of the DGC test, comparisons of means were made. It was possible to determine the higher productivity of *Pinus taeda* and F1 hybrid. Differences among the crown ideotypes, were also determined. *Pinus elliottii* was the taxon showing the largest number of long internodes below 6.20 m in height and the largest sum of these per tree and per hectare. In the latter characteristics, the F1 x *Pinus elliottii* backcross also highlighted. It is necessary to include crown architecture and structure in future phenotyping studies of *Pinus* sp., since they affect the mechanical transformation processes

**Keywords:** crown structure, long internodes, internode index.

<sup>1</sup> INTA EEA - Montecarlo. Av. El Libertador 2472. (N3384) Montecarlo. Misiones. Argentina. E-mail: fassola.hugo@inta.gob.ar

## 1. INTRODUCCIÓN

En Argentina, las provincias de Misiones y Corrientes contribuyen fuertemente a la producción de madera aserrada de pino y sus productos remanufacturados. En este segmento de la industria existe un grupo de empresas que se insertan en mercados internacionales y lo hacen básicamente a través del agregado de valor a la madera de pinos (IPEC, 2020; Escobar 2021). La industria de la remanufactura se basa en la transformación de los productos del aserrío. Por ejemplo, algunos de los procesos consisten en la obtención de madera libre de nudos a partir de una pieza lograda en el proceso de aserrado de rollizos podados y del saneo de tablas con nudos para obtener Blocks y Rips Clear, con los cuales se obtienen los Cutstocks (21” hasta 42” de largo) y Blanks (mínimo 5” de largo) con diferentes destinos (Vilches Zurita, 2005). Fernández *et al.* (2017) mediante un estudio de sensibilidad realizado en Nueva Zelanda en rollizos de pino radiata, mencionan que el diámetro menor del rollizo y la longitud del entrenudo (distancia entre la parte superior de un grupo de ramas y la inferior del siguiente), fueron las variables que mejor se correlacionaron con la calidad de la madera aserrada. Por este motivo la arquitectura y estructura de copa son relevantes en los programas de mejoramiento genético, como también los estudios de dinámica, cosecha y procesamiento de la madera. Australia, con una larga trayectoria en el mejoramiento de coníferas, cuenta con un Huerto Semillero Clonal (HSC) de *Araucaria cunninghami*, tanto para producción de material reproductivo de internudos largos como de internudos cortos (Dieters *et al.*, 2013). En el género *Pinus*, son conocidos los trabajos llevados adelante en *Pinus radiata* en Nueva Zelanda (Carson, 1988; Carson & Inglis, 1988), el cual puede producir de uno a cinco internudos en una temporada de crecimiento. Estas grandes variaciones en el largo de los internudos son de alto interés tanto para el mejoramiento, como para el procesamiento industrial de la madera (Kumar *et al.*, 2009). Carbaugh (2015) evaluó el desarrollo de la arquitectura de la copa de seis genotipos de *Pinus taeda* (PT) a través de diferentes condiciones de crecimiento, como también la estabilidad de los ideotipos de copas de los mismos en distintos sitios y regímenes silviculturales. En dicha evaluación determinó interacciones entre el diámetro de ramas, cantidad total de ramas, largo de internudos y área foliar total, con mayores valores de estos parámetros, en los ideotipos de copa grande.

Los estudios de Fassola *et al.* (2009) y Sañudo *et al.* (2021) realizados en Argentina, evaluaron la estructura y arquitectura de copas en plantaciones de PT. Por ejemplo, Sañudo *et al.* (2021) al evaluar individuos de distintos estratos sociales de PT apeados en el NE de Corrientes y en la provincia de Misiones, determinaron un largo de entrenudos promedio de 0,73 m, una mediana de 0,53 m, y valores máximo y mínimo de 1,50 m y 0,20 m, respectivamente. Sin embargo, no se conocen estudios locales que hayan evaluado la arquitectura de copa en otras especies y taxones de pino de importancia económica para el sector forestal en Argentina, considerando su importancia y los avances en su mejoramiento, que incluyen híbridos, intra e inter específicos (Gauchat *et al.*, 2012). La existencia de un ensayo conformado por 18 taxones de *Pinus* subtropicales y tropicales, perteneciente a una red instalada por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) entre los años 1996 y 1997 en la Provincia de Misiones (Pahr *et al.*, 2002, Cappa *et al.*, 2013), brindó la posibilidad de plantear hipótesis relativas a las diferencias de productividad e ideotipos de copa entre algunos de ellos. Por tal motivo, los objetivos de este trabajo fueron evaluar y contrastar el crecimiento y características de copa en las especies PT, *Pinus elliottii* (PEE), *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PCH), filiales F1<sup>2</sup> y F2<sup>3</sup> del híbrido entre PEE × PCH, sus retrocruzas por el parental femenino (PEE × F1) y por el parental masculino (F1 × PCH). Esta información podrá ser utilizada por el programa de mejora y silvicultura de pinos del INTA para analizar su potencial impacto positivo en la inserción de productos de madera argentina en mercados extra regionales o globales.

<sup>2</sup> F<sub>1</sub>: material seminal híbrido obtenido mediante polinización controlada

<sup>3</sup> F<sub>2</sub>: material seminal híbrido obtenido de la polinización libre de F<sub>1</sub>

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Material genético, descripción del ensayo y caracteres evaluados

Los materiales genéticos corresponden a diferentes taxones del género *Pinus* implantados entre los años 1996 y 1997 bajo una red conformada por 4 ensayos, dos de ellos establecidos en Entre Ríos y dos en Misiones, Argentina. El ensayo evaluado en este estudio, implantado en setiembre de 1996, se ubica en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) INTA Cerro Azul Misiones (27° 39' 18.89" S - 55° 25' 48.80" O, Figura 1). El mismo contiene 18 de un total de 31 taxones evaluados en la red. Para este estudio, se seleccionaron siete taxones en base a los comportamientos observados en estudios previos realizados en los ensayos ubicados en la localidad Puerto Esperanza y Cerro Azul (Pahr *et al.*, 2002; Cappa *et al.*, 2013). Cinco de los taxones proceden de CSIRO, Australia y corresponden a *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PCH), las F1 y F2 del híbrido de *Pinus elliottii* × *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PEE × PCH) y las retrocruzas de PEE × F1 y F1 × PCH. Los dos taxones restantes corresponden a los materiales de procedencia local, PEE del HSC de INTA Cerro Azul, Misiones y PT procedencia Marion County del HSC de APSA, Misiones (Cappa *et al.*, 2013).

El diseño del ensayo fue el de bloques con tratamientos al azar y 4 repeticiones, de los cuales, en esta oportunidad por razones que restringían el desplazamiento, se midieron tres en forma completa. Las parcelas de forma cuadrada contienen un total de 25 árboles implantados a 3 m x 3 m; correspondiendo la fila exterior a bordura y los 9 ejemplares internos a la parcela evaluada. Mayores detalles de los materiales ensayados y de las características del sitio pueden verse en Cappa *et al.* (2013).

Sobre los 7 taxones seleccionados para este estudio, en noviembre de 2019 se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura total (h), la altura dominante (Hdom) (Asmann, 1970) y la altura de base de copa verde (bcv) de todos los ejemplares vivos de cada parcela de los 3 bloques del ensayo. La Hdom, conjuntamente con la edad, permitió estimar los índices de sitio (IS) de PEE y PT, que contaban con dichos modelos desarrollados para la región, (Fassola y Wabo, 1993; Programa Cooperativo Simuladores de Crecimiento, 1999).

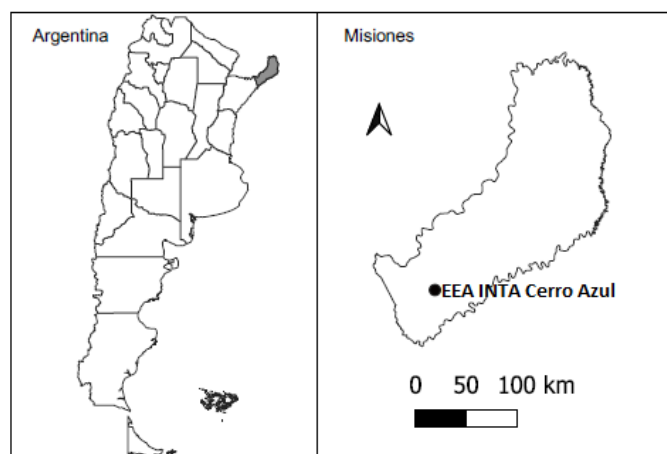


**Figura 1.** Ubicación del ensayo de taxones de pinos subtropicales y tropicales  
(Fuente EEA Montecarlo, 2021)

A fin de reconstruir la estructura de la copa hasta una altura de 6,20 m desde el suelo, en mayo de 2021 se evaluó en cada individuo la cantidad de entrenudos mayores a 0,60 m (cil) y la sumatoria de la longitud de entrenudos largos (sil), similar a lo realizado por Jayawickrama *et al.* (1997). Para la medición de entrenudos mayores a 0,60 m se utilizó una regla graduada de 7 m de longitud, registrándose la altura de ocurrencia del límite inferior y superior de cada aglomerado de ramas,

determinando estos por las oclusiones de los verticilos o por la presencia eventual de ramas muertas. Dicha identificación se realizó con 3 operadores por árbol, debido a la necesidad de realizar observaciones desde la altura del suelo y desde distintos ángulos, en virtud del desrame y el tiempo transcurrido desde su ocurrencia. La falta de tratamientos silvícolas, podas o raleos, favoreció que la oclusión fuera aún observable. En los casos donde la base de un internudo largo se encontraba por debajo de 6,20 m y su longitud superaba esa altura, era computado y se consideraba solo el largo del mismo hasta los 6,20 m.

### Procesamiento y análisis estadístico

Previo al análisis estadístico se procesaron las variables medidas a campo. En primer lugar, se estimó los volúmenes individuales y por unidad de superficie, con corteza (VOL CC) y sin corteza (VOL SC). Para los taxones PCH, F1, PEE  $\times$  F1 y F1  $\times$  PCH se empleó la función de volumen desarrollada para F1 por Keller y Crechi (2015), y para PEE y PT las ecuaciones de volumen ajustadas por Crechi *et al.* (2006) y Keller *et al.* (2006), respectivamente. Además, se determinó el área basal por hectárea (G), el diámetro cuadrático a la altura de pecho (DAPq), la altura promedio (H), la altura media de la base de copa verde (HBCV), la sumatoria de longitudes de copa verde por hectárea (LCV), el índice de Reineke (IDR) y el porcentaje de espaciamiento de Hart-Becking (FE) como expresiones de la densidad y competencia (Bravo *et al.*, 1997). En base a la cantidad total de entrenudos  $>$  a 0,60 m y a la sumatoria de sus longitudes, se determinó el largo de entrenudos por hectárea (CIL) y el largo de entrenudos por unidad de superficie (SIL). Posteriormente se determinó el índice de entrenudos promedio (IIN) de acuerdo a Jayawickrama *et al.* (1997), la sumatoria del largo de entrenudos por hectárea (SIL), y el porcentaje promedio de árboles con presencia de entrenudos largos (CARBINL).

Para estimar las medias de los taxones y evaluar la significancia estadística entre ellos se empleó el siguiente modelo lineal:

$$y_{jk} = \mu + \beta_j + T_k + e_{jk}$$

Donde:

$y_{jk}$  = es la media general de cada variable dependiente del  $k$ th taxón correspondiente al  $j$ th bloque;  $\mu$  = es la media general;  $\beta_j$  = es el efecto fijo del  $j$ th bloque;  $T_k$  = es el efecto fijo del  $k$ th taxón, y  $e_{jk}$  = es el término de los residuales aleatorios.

Dichas estimaciones fueron realizadas mediante el software InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2008; Balzarini *et al.*, 2008). Concurrentemente con la estimación de medias, se seleccionó para realizar la comparación múltiple de las mismas el test DGC (Di Rienzo *et al.*, 2002). Este test, según Balzarini *et al.* (2012), permite la separación de medias utilizando la técnica multivariada del análisis de conglomerados (encadenamiento promedio), sobre una matriz de distancia entre medias muestrales de tratamientos. Como consecuencia de este análisis fue posible obtener un dendrograma que hizo posible observar la secuencia jerárquica de formación de conglomerados, evitando la superposición de medias y reduciendo la cantidad de grupos (Di Rienzo *et al.*, 2002). El nivel de significancia empleado fue del 5 %.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Variables de estado del árbol y por unidad de superficie de los taxones

Efectuado el análisis mediante el modelo lineal seleccionado se determinó que había diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los taxones estudiados para las variables del árbol DAP, g, hbcv, Hdom, cil y sil; a excepción de la h. En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos del test de comparaciones múltiples, DGC. Los mayores DAP se registraron para los taxones PT > PCH > F1 > PEE  $\times$  F1 y los menores fueron observados en los taxones F1  $\times$  PCH y PEE. El área basal individual registro un comportamiento similar. La h no exhibió diferencias significativas entre los distintos taxones ( $p > 0,05$ ), aunque PT > F1 > PEE  $\times$  F1 alcanzaron los mayores desarrollos, entre 36 m y 33 m y PEE tuvo el menor desarrollo, 29,5 m. Sí hubo diferencias significativas en Hdom donde PT, que constituyó el grupo A, alcanzó los 40 m. El grupo C, el de menor Hdom, se correspondió con PEE, 33,1 m. El resto de los taxones, cuyas Hdom alcanzaron un máximo de 39,2 m y un mínimo de 38,0 m, constituyeron el grupo B. Dado que Hdom es expresión de la calidad de sitio y que para los casos de PT y PEE, se dispone de funciones de sitio, se estimaron (IS), utilizando simuladores de crecimiento específicos (Keller *et al.*, 2017), obteniéndose valores de 33 y 26, respectivamente. En el caso de PT se supera el límite superior de las curvas existentes en los modelos regionales (Programa Cooperativo Simuladores de Crecimiento, 1999) y para PEE se alcanzó el máximo determinado a campo por Fassola y Wabo (1993). Esta variable no fue considerada por Cappa *et al.* (2013) en la evaluación realizada a los 10 años, pero proyecciones de las alturas a esa edad, se situaron también sobre los límites superiores de los modelos de IS disponibles, indicando un alto potencial productivo para PEE y PT en ese sitio. También debe considerarse que la edad base para ambas funciones de IS fue de 15 años y el error de estimación de este, a medida que se aleja de esa edad, lo incrementa (Fassola y Wabo, 1993).

En cuanto a elementos propios de la arquitectura y de estructura de copas como hbcv, que por un lado refleja la capacidad de desrame de los taxones y por otro su capacidad de mantener una copa fotosintéticamente activa, se determinó tres grupos o conglomerados con diferencias significativas entre ellos (Tabla 1). El grupo A, con la mayor hbcv, se correspondió con PT y el grupo C, con la menor hbcv, correspondió a F1  $\times$  PCH, integrando el resto de los taxones el grupo B, de hbcv intermedias. La diferencia entre h y hbcv reflejó que tanto PT como F1 y sus retrocruzas, tenían longitudes de copa entre 14,1 m y 13,6 m, mayores a las de F2 y PCH, con 12,8 m y muy superiores a las de PEE, que alcanzo 10,1 m. Explicando esto, parcialmente, los mayores crecimientos a nivel individual de PT y los taxones híbridos. En cuanto a la variable de estado cil, PEE, que conjuntamente con PEE  $\times$  F1 y F2 constituyeron un conglomerado sin diferencias entre ellos, presentó diferencias significativas en relación al resto de los taxones, con una media de 2 entrenudos largos por árbol. El resto los taxones registraron menos de 2 entrenudos largos por árbol. Situación similar ocurrió con la sumatoria del largo de los entrenudos (sil) (Tabla 1).

La Tabla 2 muestra las variables de estado forestal y producción a nivel de unidad de superficie de los siete taxones de pinos estudiados. Respecto de los ejemplares sobrevivientes (N), estos fueron mayores en PCH y F1  $\times$  PCH, con más de 895 y 864 árboles.ha<sup>-1</sup>, los otros taxones presentaron 805 o menos árboles.ha<sup>-1</sup>.

Como resultado del Test DGC, se determinó que había diferencias significativas en el DAPq entre taxones ( $p$ -valor  $< 0,05$ ), con mayor valor para F1 (grupo A), seguido por PT, PCH y PEE  $\times$  F1 (grupo B), luego F2 y F1  $\times$  PCH (grupo C) y por último PEE (grupo D). En cuanto al área basal por hectárea (G.ha<sup>-1</sup>), los valores alcanzados por PCH y F1, sin diferencias estadísticas entre ellos, fueron superiores a los observados para los demás taxones. Sus valores superaron los de F1  $\times$  PEE, que también alcanzó valores destacables y a PT, que de hecho en este ensayo superó a los máximos alcanzados, con ocupación completa, en otros sitios en la región, donde se registraron unos 54 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> (Crechi *et al.*, 2014). Los menores valores se determinaron en PEE (Tabla 2).

**Tabla 1.** Resultados del test DGC de las variables de estado de árboles del ensayo de taxones de pinos

| Trat<br># | taxón                | DAP (E.E.)<br>Cm    | g (E.E.)<br>m <sup>2</sup> | h (E.E.)<br>m       | hbcv (E.E.)<br>m    | Hdom (E.E.)<br>m    | cil (E.E.)<br>#     | sil (E.E.)<br>m |
|-----------|----------------------|---------------------|----------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------|
| 1         | PT                   | 32,9 (1,6) A        | 0,09 (0,01) A              | 36,2 (1,3) A        | 22,4 (1,0) A        | 40,2 (0,6) A        | 1,1 (0,2) B         | 0,90 (0,19) B   |
| 6         | PEE                  | 24,8 (1,6) B        | 0,05 (0,01) B              | 29,5 (1,3) A        | 19,4 (1,0) B        | 33,1 (0,6) C        | 2,3 (0,2) A         | 1,94 (0,19) A   |
| 7         | F <sub>1</sub> × PCH | 27,9 (1,5) B        | 0,07 (0,01) B              | 30,7 (1,2) A        | 16,6 (0,9) C        | 38,1 (0,5) B        | 1,3 (0,2) B         | 1,07 (0,17) B   |
| 8         | PEE × F <sub>1</sub> | 30,9 (1,5) A        | 0,08 (0,01) A              | 33,0 (1,2) A        | 19,4 (1,0) B        | 38,0 (0,5) B        | 1,8 (0,2) A         | 1,46 (0,18) A   |
| 9         | F <sub>2</sub>       | 28,1 (1,5) B        | 0,07 (0,01) B              | 31,3 (1,2) A        | 18,5 (1,0) B        | 38,3 (0,5) B        | 1,8 (0,2) A         | 1,59 (0,18) A   |
| 10        | F <sub>1</sub>       | 32,4 (1,5) A        | 0,09 (0,01) A              | 34,5 (1,2) A        | 20,5 (0,9) B        | 39,2 (0,5) B        | 1,2 (0,2) B         | 0,93 (0,18) B   |
| 12        | PCH                  | 32,6 (1,5) A        | 0,09 (0,01) A              | 32,6 (1,2) A        | 19,8 (0,9) B        | 39,0 (0,5) B        | 1,3 (0,2) B         | 1,17 (0,17) B   |
| Bloque    |                      | n.s. ( $p > 0,05$ ) | n.s. ( $p > 0,05$ )        | n.s. ( $p > 0,05$ ) | n.s. ( $p > 0,05$ ) | n.s. ( $p > 0,05$ ) | n.s. ( $p > 0,05$ ) | B2 A; B3 y B1 B |

Letras iguales no hay diferencias significativas al  $p < 0,05$

Donde: **DAP**: diámetro a 1,3 m de altura (DAP); **g**: área basal del árbol; **h**: altura total del árbol; **hbcv**: altura de la base de copa verde del árbol; **Hdom**: altura dominante; **cil**: cantidad de entrenudos > a 0,60 m de longitud en el árbol y **sil**: sumatoria de internudos largos del árbol; error estándar E.E.

El VOL SC, arrojó diferencias significativas entre taxones ( $p < 0,05$ ), fue superior en F<sub>1</sub>, PT, y PCH, no existiendo diferencias estadísticas entre ellos. Seguidos en segundo término por PEE × F<sub>1</sub>, luego por F<sub>1</sub> × PCH y F<sub>2</sub>, que no presentaron diferencias ( $p > 0,05$ ). Todos los taxones superaron significativamente a PEE ( $p < 0,05$ ), el material de menor desempeño en producción en VOL SC. El comportamiento observado es similar a lo reportado por Cappa *et al.*, (2013) para este sitio. La producción en VOL CC.ha<sup>-1</sup> para PT fue un 50 % mayor a la determinada a los 21 años en parcelas sin poda y sin raleo, ubicadas en Sto. Tomé, Corrientes, en un IS 24, el cual era una calidad de sitio alta y con N.ha<sup>-1</sup> de 968 y 691 (Pezzutti, 2011). Para F<sub>2</sub> fue un 8 % inferior a la determinada a los 23 años en Puerto Esperanza, Misiones, en parcelas sin poda y sin raleo, con 60 ejemplares menos ha<sup>-1</sup> (Keller y Crechi, 2020).

En cuanto al indicador de densidad y competencia, IDR, el agrupamiento con mayores valores fue el de PCH > F<sub>1</sub>; en el segundo grupo se ubicaron PEE × F<sub>1</sub> > PT; en el tercero F<sub>1</sub> × PCH y F<sub>2</sub> y por último PEE con el menor IDR. En el caso de FE, no tuvo diferencias significativas entre los valores alcanzados por los taxones, salvo con PEE que presentó los valores más elevados (11 %), indicando un mayor espaciamiento. De acuerdo con lo señalado en el Manual Técnico Simuladores de Crecimiento V.2 (Programa Cooperativo Simuladores de Crecimiento, 1999), el IDR máximo de PT es de 1250 y el óptimo de 750, coincidiendo este con un FE % del 17 %, por lo cual puede considerarse que se ubica netamente en la zona de máximas existencias. Considerando la bibliografía existente sobre indicadores de relaciones tamaño densidad para otros taxones y analizando el trabajo de Ferrere *et al.* (2001), este permitió comprobar que el FE mínimo alcanzado por *Pinus caribaea* var *caribaea* fue de 13 % y del 20 % el correspondiente al momento de máximo incremento volumétrico, coincidiendo con un IDR de 717. Estos valores fueron similares a los utilizados en *Pinus elliottii* por Day y Gonda (1987), quienes identificaron un FE del 21 % como límite de la zona de manejo. En virtud de ello sería posible asumir que tanto PCH, como F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> y las retrocruzas, tendrían un comportamiento similar, dado que son taxones cercanos genéticamente. Pudiéndose inferir que PCH, F<sub>1</sub>, sus retrocruzas y F<sub>2</sub>, se ubicaron en la zona de mortalidad por competencia y posiblemente sobre la línea de máximas existencias. En el caso de PEE, si bien está en zona de mortalidad, se encuentra más cercano a la línea de máximo incremento, influyendo en ello la mortalidad y los menores DAPq y Hdom en relación a los otros taxones. Estos elevados índices de competencia y los elevados índices de sitio, que se infieren de las Hdom alcanzadas a los 23 años (Tabla 1), pueden explicar en parte las elevadas G.ha<sup>-1</sup> y VOL.ha<sup>-1</sup> determinadas en los taxones analizados (Tabla 2). Otro factor puede ser atribuido a que ocurra una sobreestimación de estas variables de competencia y productivas debido al tamaño reducido de cada parcela.

**Tabla 2.** Variables de estado y producción de los taxones de pinos por unidad de superficie y resultados del Test DGC.

| Trat        | Taxón                | N<br>Árb.ha <sup>-1</sup> | DAPq<br>cm      | G<br>m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> | H<br>m              | IDR                 | FE<br>%         | VOL SC<br>m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> | VOL CC<br>m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> |
|-------------|----------------------|---------------------------|-----------------|---------------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1           | PT                   | 717                       | 33,7 (1,04) B   | 62 (2,6) B                            | 35,5 (0,5) A        | 1123 (45) B         | 9 (0,22) B      | 1216 (43) A                                | 1250 (48) B                                |
| 6           | PEE                  | 737                       | 25,1 (1,04) D   | 36 (2,6) D                            | 30,6 (0,5) C        | 732 (45) D          | 11 (0,22) A     | 524 (43) D                                 | 598 (48) D                                 |
| 7           | F <sub>1</sub> × PCH | 864                       | 27,7 (0,98) C   | 52 (2,3) C                            | 30,7 (0,5) C        | 1022 (41) C         | 9 (0,20) B      | 875 (39) C                                 | 1042 (43) C                                |
| 8           | PEE × F <sub>1</sub> | 805                       | 31,6 (0,98) B   | 64 (2,4) B                            | 33,0 (0,5) B        | 1179 (43) B         | 9 (0,21) B      | 1023 (41) B                                | 1211 (46) B                                |
| 9           | F <sub>2</sub>       | 787                       | 29,3 (0,98) C   | 52 (2,3) C                            | 32,7 (0,5) B        | 1007 (43) C         | 9 (0,21) B      | 840 (41) C                                 | 1000 (46) C                                |
| 10          | F <sub>1</sub>       | 741                       | 37,7 (0,96) A   | 71 (2,4) A                            | 33,8 (0,5) B        | 1299 (42) A         | 9 (0,21) B      | 1222 (40) A                                | 1443 (44) A                                |
| 12          | PCH                  | 895                       | 33,4 (09,4) B   | 77 (2,3) A                            | 32,6 (0,5) B        | 1405 (41) A         | 9 (0,20) B      | 1132 (39) A                                | 1173 (44) B                                |
| Bloques (B) |                      |                           | B3 A, B2 y B1 C | n.s. <i>p</i> >0,05                   | n.s. <i>p</i> >0,05 | n.s. <i>p</i> >0,05 | B3 A, B1 y B2 B | n.s. <i>p</i> >0,05                        | n.s. <i>p</i> >0,05                        |

Letras iguales no hay diferencias significativas al: *p* >0,05

Dónde: error estándar E.E; **N**: número de árboles; **DAPq**: diámetro cuadrático promedio a 1,3 de altura del taxón; **G**: área basal por ha del taxón; **H**: altura promedio del taxón; **IDR**: Índice de Reineke del taxón; **FE**: factor de espaciamiento del taxón; **VOL SC**: volumen sin corteza ha del taxón; **VOL CC**: volumen con corteza ha del taxón;

### Elementos de la copa y calidad de rollizos

En el presente ensayo las variables largo de copa verde (LCV) y su porcentaje (PLCV) exhibieron diferencias significativas entre los taxones ensayados (*p* < 0,05). En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos en el test DGC, el cual permitió identificar conglomerados con diferencias significativas entre ellos. Al analizar la primera de ellas, las mayores LCV se registraron para F<sub>1</sub>, F<sub>1</sub> × PCH, PEE × F<sub>1</sub>, PCH, seguidas por F<sub>2</sub> y PT y por último PEE. Expresada esta en porcentajes a través de PLCV fue posible determinar con dicho test que F<sub>1</sub> × PCH supero a los otros taxones. En el segundo conglomerado y en el orden que se detalla, se ubicaron PEE × F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, F<sub>1</sub> y PCH. En tercer y cuarto conglomerado se ubicaron PT y PEE, respectivamente.

Indicadores como el LCV y el PLCV son elementos simples que permiten caracterizar la estructura de copas y pueden contribuir a dar una explicación de la productividad de los taxones y las diferencias existentes entre ellos. Por ejemplo, para PT el valor máximo observado en la construcción de un modelo de incremento que la contenía como variable predictora, entre los 3 y 5 años, fue de 13 km.ha<sup>-1</sup>, observándose una disminución del incremento corriente anual en G a partir de los 8 km.ha<sup>-1</sup> (Fassola *et al.*, 2008). Mientras que para *Pinus caribaea* var *caribaea*, a los 6 años de edad, se determinó una LCV de 10 km.ha<sup>-1</sup>, manteniendo altas tasas de incremento en G, aun con elevadas LCV. En ambos casos la densidad máxima fue de 1700 pl.ha<sup>-1</sup> (Fassola, 1991). Para PEE, sólo se cuenta con antecedentes para la zona agroecológica de las arenas centrales de Corrientes, donde a los 5 años con 1111 pl.ha<sup>-1</sup>, se registró una LCV de casi 6 km.ha<sup>-1</sup> (Fassola, 1992). Puede considerarse que tanto los taxones híbridos, como PCH y PT tienen un alto potencial para sostener biomasa fotosintética en su perfil, aun con altos niveles de competencia. Estas variables, aparte de la relevancia en el aspecto de los incrementos, tienen trascendencia también en la calidad de rollizos. Dependiendo del tamaño de ramas, los taxones con mayores porcentajes de copa viva ofrecen la posibilidad de obtener tablas con nudos firmes, característica que impacta en los grados de calidad, tanto para usos de apariencia como estructural.

**Tabla 3.** Variables de estado de la expresión de la biomasa foliar de los taxones de pinos en el perfil por unidad de superficie.

| Trat<br>#   | Taxón                | LCV<br>km.ha <sup>-1</sup> | PLCV<br>%         |
|-------------|----------------------|----------------------------|-------------------|
| 1           | PT                   | 10 (0,4) B                 | 38 (0,46) C       |
| 6           | PEE                  | 8 (0,4) C                  | 35 (0,46) D       |
| 7           | F <sub>1</sub> × PCH | 12 (0,4) A                 | 46 (0,41) A       |
| 8           | PEE × F <sub>1</sub> | 11 (0,4) A                 | 41 (0,43) B       |
| 9           | F <sub>2</sub>       | 10 (0,4) B                 | 41 (0,43) B       |
| 10          | F <sub>1</sub>       | 12 (0,4) A                 | 40 (0,42) B       |
| 12          | PCH                  | 11 (0,4) A                 | 39 (0,41) B       |
| Bloques (B) |                      | B1 A, B2 y B3 B            | B1 A, B3 B y B2 C |

Letras iguales no hay diferencias significativas al  $p > 0,05$ .

Dónde: error estándar (E.E); **LCV**: Longitud media de copa verde ha; **PLCV**: porcentaje medio de longitud de copa verde.

En relación a la cantidad de entrenudos con largos mayores a 0,60 m observados por hectárea (CIL, n.ha<sup>-1</sup>), la sumatoria de sus largos (SIL, m.ha<sup>-1</sup>), el índice de internudos por árbol (iinl, %.árbol<sup>-1</sup>), la unidad de superficie (CARBINL, %.ha<sup>-1</sup>), y el porcentaje de ejemplares de estos taxones con presencia de dichos internudos (IINL, %.taxón<sup>-1</sup>) se determinó diferencias significativas entre los materiales ensayados ( $p < 0,05$ ). En la tabla 4 se muestran los resultados obtenidos con el test DGC para cada variable mencionadas. PEE alcanzó el mayor valor CIL.ha<sup>-1</sup> con diferencias altamente significativas ( $p < 0,05$ ) respecto de los demás taxones al igual que en el caso de árboles individuales (Tabla 1). Le siguieron PEE × F<sub>1</sub> y F<sub>2</sub> y luego, con menores valores de CIL.ha<sup>-1</sup>, se encuentran los taxones PCH, F<sub>1</sub> × PCH y F<sub>1</sub>. Por último, se ubicó PT. Puede afirmarse que la supervivencia (N) al momento de la evaluación, no afectó el hecho de que PEE mantenga los mejores valores en CIL.ha<sup>-1</sup> respecto a los otros materiales, ya que fue el taxón con más bajos valores de N, junto a PT, por lo que la presencia de esta característica es propia del taxón. Por otro lado, al considerar la sumatoria de los entrenudos con largos mayores a 0,60 m observados por hectárea (SIL.ha<sup>-1</sup>), los taxones PT y F<sub>1</sub> presentaron los menores valores, en contraposición a su mayor productividad en volumen (Tabla 2). Siendo estos los materiales más implantados en la región Mesopotámica Argentina, puede considerarse que el procesamiento industrial de sus trozas basales exigirá un mayor proceso de saneo. Para esta característica se destacó en primer lugar PEE, seguido por el conglomerado constituido por F<sub>2</sub>, PEE × F<sub>1</sub> y PCH, que no se diferenciaron entre sí estadísticamente (Tabla 4). Respecto de la relación entre la proporción de la longitud de los entrenudos largos con el largo del rollizo (índice de entrenudos, iinl), PEE integro el conglomerado junto a F<sub>2</sub> y PEE × F<sub>1</sub>, que se diferenció estadísticamente de los demás taxones. Este indicador expresado a nivel de unidad de superficie, IINL, permitió identificar a PEE como el taxón más destacado respecto del resto. Aunque debe considerarse que, para obtener grados superiores de calidad de madera, el diámetro en punta fina del rollizo es un factor por igual de importante (Fernández *et al.*, 2017), aspecto en el cual PEE no se destacó. Por el contrario, tanto PT como F<sub>1</sub>, presentaron los menores valores de este indicador. En cuanto a la cantidad relativa de árboles de cada taxón que presentó entrenudos largos (CARBINL), se destaca PEE × F<sub>1</sub> que presentó esta característica en todos los ejemplares, exhibiendo diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ) respecto del conglomerado integrado por F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, PEE y PT, que presentaron entre el 90 % y el 87 % de los ejemplares con este carácter. El taxón con menor presencia de árboles con entrenudos largos fue F<sub>1</sub> × PCH, con poco más del 70 % (Tabla 4).

**Tabla 4.** Cantidad, sumatoria, índices y porcentaje de ejemplares con presencia de entrenudos > de 0,60 m por debajo de los 6,20 m de altura en taxones de pinos

| Trat #      | Taxón                | CIL<br>n.ha <sup>-1</sup> | SIL<br>m.ha <sup>-1</sup> | iinl<br>%.árbol <sup>-1</sup> | IINL<br>%.taxón <sup>-1</sup> | CARBINL<br>%.ha <sup>-1</sup> |
|-------------|----------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1           | PT                   | 798 (90) D                | 640 (92) D                | 15 (3,09) B                   | 16 (1,25) D                   | 88 (2,37) B                   |
| 6           | PEE                  | 1781 (90) A               | 1475 (92) A               | 29 (3,1) A                    | 33 (1,25) A                   | 87 (2,37) B                   |
| 7           | F <sub>1</sub> × PCH | 1101 (80) C               | 925 (83) C                | 17 (2,77) B                   | 25 (1,12) C                   | 71 (22,13) D                  |
| 8           | PEE × F <sub>1</sub> | 1461 (85) B               | 1186 (87) B               | 23 (2,92) A                   | 23 (1,18) C                   | 100 (2,24) A                  |
| 9           | F <sub>2</sub>       | 1436 (85) B               | 1305 (87) B               | 26 (2,92) A                   | 28 (1,18) B                   | 89 (2,24) B                   |
| 10          | F <sub>1</sub>       | 1023 (83) C               | 705 (85) D                | 14 (2,84) B                   | 16 (1,15) D                   | 90 (2,18) B                   |
| 12          | PCH                  | 1161 (81) C               | 1138 (83) B               | 20 (2,86) B                   | 23 (1,13) C                   | 80 (2,13) C                   |
| Bloques (B) |                      | B2 A; B3 y B1 B           | B2 A; B3 y B1 B           | B2 y B3 A; B1 B               | B2 y B3 A; B1 B               | B2 A, B1 y B3 B               |

Letras iguales no hay diferencias significativas al  $p > 0,05$

Dónde: error estándar (E.E); **CIL**: cantidad de entrenudo ha<sup>-1</sup>; **SIL**: Sumatoria de entrenudos largos ha<sup>-1</sup>; **iinl**: índice de Entrenudos medio del árbol; **IINL**: Índice de entrenudos medio del taxón; **CARBINL**: cantidad relativa de árboles con entrenudos largos;

#### 4. CONCLUSIONES

Los taxones evaluados en este ensayo mantienen un posicionamiento en producción similar al de la medición realizada a los 10 años de edad. La productividad de los mismos es muy elevada, pero la Hdom refleja que se trata de sitios de alto potencial productivo. El hecho que la Hdom determinada para PEE y PT se encuentren en el límite superior o superen el mismo en las funciones de sitio existentes, pone en evidencia y obliga, a que en el futuro cercano dichas funciones regionales sean revisadas. La incorporación de nuevos materiales genéticos de estas especies, para calidades de sitio similares a la analizada, como de F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> y los posibles desarrollos de las retrocruzas PEE × F<sub>1</sub> y F<sub>1</sub> × PCH, que han expresado a través de las sucesivas evaluaciones su elevada potencialidad, exige mantener actualizados una serie de modelos relativos al manejo de los mismas. Estos conceptos son extensivos a indicadores de competencia como el Índice de Reineke (IDR) y el Factor de Espaciamiento, aunque se consideren independientes del sitio.

Se identificaron diferencias entre ideotipos de copa de los taxones. La longitud del entrenudo es uno de los factores más importantes para mejorar las posibilidades de industrializar la madera o clasificar visualmente la calidad de madera aserrada para usos de apariencia, estructural o para su uso en productos de la ingeniería de la madera. Los entrenudos más largos permiten producir madera libre de nudos de manera más eficiente, mejorando la competitividad nacional e internacional del sector en maderas de coníferas. Es deseable introducir en el fenotipado esta característica en los ensayos genéticos donde se evalúan materiales parentales de PT, de PEE y PCH a los fines de determinar variación genética. En el caso de PEE, que presentó las mejores características en cuanto a cantidad de entrenudos largos y también un elevado porcentaje de ejemplares con presencia de dicha característica, sería interesante evaluar su variabilidad genética de manera de incorporar los mejores ejemplares PEE como madres de los híbridos F<sub>1</sub>. Dicha evaluación sería conveniente realizarla a edades o alturas menores, posiblemente antes de los 15 metros de altura y recurrir al uso de tecnología LIDAR, terrestre o aéreo, a los fines de relevar rápidamente la estructura y arquitectura de copa.

Las evaluaciones de la estructura y arquitectura de copa deberían también incluir otros caracteres como tamaño copa, diámetros y largo de ramas. Debe atenderse a la identificación de ideotipos con alta productividad y con copas estrechas que generen menor competencia con sus vecinos por los recursos disponibles. La incorporación de estas características de copa a las nuevas generaciones de materiales genéticos debiera ir acompañada con el desarrollo de una silvicultura clonal costo efectiva. Estos estudios son también relevantes para su incorporación a sistemas de tipificación de calidad de rollizos.

Los resultados observados con la retrocruza de PEE  $\times$  F<sub>1</sub>, dadas las características de su copa y un rendimiento muy superior al de PEE, permitirían la ampliación de la superficie de plantación de coníferas en otras regiones del país con temperaturas menores a las de Misiones. La mayor capacidad de producción de madera de apariencia y productos de la industria de la remanufactura y eventualmente de resina, facilitaría la inserción en mercados extra regionales o globales.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Assmann, E. 1970. *The Principles of Forest Yield Study*. Oxford, UK, Pergamon Press. 506 pp. 24-26.
- Balzarini, M. G.; L. Gonzalez; M. Tablada; F. Casanoves; J. A. Di Rienzo; C. W. Robledo 2008. InfoStat Versión 2011. *Manual del Usuario*, Editorial Brujas, Córdoba, Argentina.
- Balzarini, M.; J. Di Rienzo; M. Tablada; L. Gonzalez; C. Bruno; M. Córdoba; W. Robledo; F. Casanoves. 2012. *Estadística y Biometría. Ilustraciones del Uso de InfoStat en Problemas de Agronomía*. Editorial Brujas. Córdoba-Argentina. pp 382.
- Bravo, F.; G. Montero y M. Del Rio. 1997. Índices de densidad de las masas forestales. *Ecología* 11: 177-187.
- Cappa, E. P.; M. Marco; D. Garth Nikles; I. S. Last. 2013. Performance of *Pinus elliottii*, *Pinus caribaea*, their F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> and backcross hybrids and *Pinus taeda* to 10 years in the Mesopotamia Region, Argentina. *New Forests* 44: 197-218. <https://doi.org/10.1007/s11056-012-9311-2>.
- Carbaugh, E. D. 2015. *A comparison of crown attributes for six genotypes of Pinus taeda as affected by site and management intensity*. Thesis submitted to the faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science. Fecha de consulta: 18/7/2021. pp.100. Disponible en: [https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/56963/Carbaugh\\_ED\\_T\\_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/56963/Carbaugh_ED_T_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- Carson, M. J. 1988. *Long-internode or multinodal radiata pine - A financial analysis*. FRI Bulletin No. 115. Ministry of Forestry, Forest Research Institute. Rotorua, New Zealand.
- Carson, M. J. & C. S Inglis. 1988. Genotype and location effect on internode length on radiata pine in New Zealand. *New Zealand Journal of Forestry Science* 18: 267-279.
- Crechi, E.; H. Fassola; A. Keller; S. Barth. 2006. *Modelos de estimación del volumen individual de árboles con y sin corteza de Pinus taeda L. para la zona norte de Misiones, Argentina*. Disponible en: CD Actas XII Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales - FCF, UNaM - EEA Montecarlo INTA. Eldorado, Misiones. Argentina.
- Crechi, E.; A. Keller; H. Fassola; J. Fahler; R. Maletti. 2014. *Efectos de la intensidad y oportunidad de raleo en Pinus taeda L. sobre la producción de madera en el noroeste de Misiones, Argentina*. Disponible en CD Actas XVI Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales - FCF, UNaM - EEA Montecarlo INTA. Eldorado. Misiones. pp 9.
- Day, R. J.; H. E. Gonda. 1987. *Un método de planificación para el manejo de Pino elliottii en Misiones tendiente a mejorar la producción* (traducción del original por los autores). Disponible en Actas Simposio Silvicultura y Mejoramiento Genético de Especies Forestales. CIEF. IV: pp. 116-133. Bs. As. Buenos Aires.
- Dieters, M. J.; D. Nikles and M. G. Keys. 2013. Achievements in forest tree improvement in Australia and New Zealand 6: Genetic improvement and conservation of *Araucaria cunninghamii* in Queensland. *Australian Forestry* 70 (2): 75-85. <https://doi.org/10.1080/00049158.2007.10675006>.
- Di Rienzo, J. A.; A. W. Guzmán y F. Casanoves. 2002. Un método de comparaciones múltiples basado en la distribución de la distancia del nodo raíz de un árbol binario. *J Agric Biol Environ Stat* 7: 129-142. <https://doi.org/10.1198/10857110260141193>.
- Di Rienzo, J. A.; F. Casanoves; M. G. Balzarini; L. Gonzalez; M. Tablada; C. W. Robledo. 2008. *InfoStat, versión 2008*, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

- Escobar, P. 2021. Claudio Anselmo, ministro de Producción de Corrientes: “Las exportaciones forestales alcanzaron los 50 millones de dólares en el primer semestre de 2021, superó lo exportado en 2020”. Argentina Forestal. Fecha de consulta 20 de octubre 2021. Artículo periodístico disponible en: <https://www.argentinaforestal.com/2021/10/05/claudio-anselmo-ministro-de-produccion-de-corrientes-las-exportaciones-forestales-alcanzaron-los-50-millones-de-dolares-en-el-primer-semestre-de-2021-supero-lo-exportado-en-2020/>.
- Fassola, H. 1991. *Respuesta del Pinus caribaea var. caribaea a regímenes silvícolas directos*. (inf. Avance 2). 1991. Disponible en: Actas Jornadas Sobre *Pinus Caribaea*. CIEF. Eldorado. Mnes. pp 151-163.
- Fassola, H. 1992. Regímenes silvícolas con producción de madera libre de nudos en *P. elliottii*, en la zona central de Corrientes. 1<sup>er</sup>. Inf. de avance: el control del diámetro sobre muñones en 15 cm. *Revista Iyrraretá* N° 3. Fac. Cs. Ftale. UNAM. Eldorado.
- Fassola, H.; E. Wabo. 1993. Funciones de Índice de Sitio para *Pinus elliottii* Engelm. en Misiones (Arg.). *Revista Iyrraretá*. N.º 4. Fc. Cs. Ftale. U.Na.M. Eldorado.
- Fassola, H. E.; P. Ferrere; M. Gelid de Ruibal. 2008. Crecimiento en área basal de *Pinus taeda* L. con relación a la longitud de copa verde. *Revista Iyrraretá* 15: 6-13. Fac. Cs. Ftale. UNAM. Eldorado.
- Fassola, H.; E. Crechi; S. Barth; A. Keller; M. Pinazo; R. Martiarena; A. Von Wallis]; Figueredo. 2009. Relación entre la biomasa aérea y la sección transversal en la base de copa viva de *Pinus taeda* L. en el norte de la provincia de Misiones, Argentina. *Revista Iyrraretá* 16: 7-11. Fac. Cs. Ftale. UNAM. Eldorado.
- Fernández, M. P.; J. Basauri; C. Madariaga; M. Menéndez-Miguélez; A. Zubizarreta-Gerendiain. 2017. Efectos del aclareo y la poda sobre las características del tallo y la copa del pino radiata (*Pinus radiata* D. Don). *Forest - Biogeosciences and Forestry* 10 (2): 383-390. <https://doi.org/10.3832/for2037-009>.
- Ferrere, P.; H. Fassola; H. Fahler, E. Crechi. 2001. Estudio del crecimiento y modelos de producción para *Pinus caribaea* var. *caribaea* en un sitio de Puerto Esperanza, Misiones. Informe Técnico N° 26. EEA INTA Montecarlo. Pp 33.
- Gauchat, M. E.; E. Belaber; G. H. Rodriguez. 2012. *Avances en los programas de INTA de Pinos en Región Mesopotámica*. Ed.: Lopez J. A., Harrand L., Salto C., Marcó M., Surencisky M. R. Resúmenes de trabajos técnicos Jornadas de Mejoramiento Genético de Pinos y Eucalyptus Subtropicales. Concordia. Pp. 64.
- IPEC, 2020. *La situación del sector foresto industrial. Diagnóstico y perspectivas*. Misiones. Pp 22.
- Jayawickrama, K. J. S.; C. J. A. Shelbourne and M. J. Carson. 1997. New Zealand's Long internode breed of *Pinus radiata*. *New Zealand Journal of Forestry Science* 27(2): 126-141.
- Keller, A.; H. E. Fassola; E. Crechi; S. Barth. 2006. *Funciones de volumen individual con y sin corteza para Pinus elliottii Engelm. implantado en las zonas alta y norte de la provincia de Misiones, Argentina*. 12 Disponible en CD Actas Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales – FCF, UNaM – EEA Montecarlo INTA. Eldorado, Misiones. Argentina.
- Keller, A.; E. Crechi. 2015. *Ecuaciones de volumen y forma para Pinus elliottii var. elliottii x P.caribaea var. hondurensis cultivado en la zona noroeste de Misiones, Argentina*. Disponible en CD Actas XXIX Jornadas Forestales De Entre Ríos, Concordia.
- Keller, A. E; E. H. Crechi; H. E. Fassola; L. Colcombet; S. R. Barth; R. A. Winck; J. Di Rienzo. 2017. *PlaForNEA, Plataforma de Gestión Forestal*. INTA EEA Montecarlo. <http://www.plafornea.com.ar>
- Keller, A.; E. Crechi. 2020. *Efectos del raleo sobre el crecimiento y la producción de Pinus elliottii var. elliottii x Pinus caribaea var. hondurensis hasta los 23 años en el noroeste de Misiones, Argentina*. Disponible en Actas XXXIV Jornadas Forestales de Entre Ríos. Pp. 76.80.
- Kumar, S.; C. B. Low and R. D. Burdon. 2009. Across-Sites Genetic Parameters of Internode-Length Variables in *Pinus radiata* assessed by Laser Measurements. *New Zealand Journal of Forestry Science* 39: 99-111. Fecha de consulta 15/11/2021. <https://www.scionresearch.com/services/science-publications/new-zealand-journal-of-forestry-science/nzjfs-volume-39>.

- Pahr, N. P; M. E. Gauchat; F. Sorge. 2002. *Ensayo comparativo de pinos mejorados. No de Misiones, Argentina*. Informe Técnico N° 42. INTA EEA Montecarlo. Publicado en: Novenas Jornadas Técnicas Forestales Eldorado - Misiones.
- Pezzutti, R. 2011. *Efeitos biológicos e econômicos de tratamentos silviculturais em plantios de Pinus taeda L. no nordeste Argentino*. Tesis de Doctorado. UFSM. Brasil. pp. 179.
- Sañudo, G.; P. Yapura; A. E. Keller; E. H. Crechi; H. E. Fassola; R. A. Winck; S. R. Barth; H. Caraballo. 2021. *Simulador de estructura de ramas. Versión 1.0 (Pinus taeda - Misiones)*. EEA INTA Montecarlo. pp. 10. Fecha de consulta 22/11/2021. Disponible en: <http://www.plafornea.com.ar/download/SIMULADOR%20DE%20ESTRUCTURA%20DE%20RAMAS%20web.pdf>.
- Programa Cooperativo Simuladores de Crecimiento. 1999. *Pinus taeda. VERSIÓN 2.0* EEA Montecarlo. Pp.19. INTA EEA Montecarlo.
- Vilches Zurita, P. I. 2005. *Evaluación de defectos y determinación del aprovechamiento a nivel de remanufactura en Pinus radiata D. Don*. Tesis de Grado. UACH. Facultad de Cs. Forestales. Valdivia. Chile. pp. 65.



NOTA TÉCNICA

## Contracción de madera de raleo de *Neltuma alba* proveniente de plantaciones

### *Shrinkage of Neltuma alba thinned wood from plantations*

Arias, E.<sup>1</sup>; C. del R. Sosa Pinilla<sup>2</sup>; W. A. Degano<sup>3</sup>; F. H. Rodriguez Elias<sup>4</sup>

Recibido en junio de 2022; aceptado en diciembre de 2022

#### RESUMEN

Las propiedades físicas de las maderas permiten conocer su comportamiento en servicio. La estabilidad dimensional es un parámetro importante, cuando se desean conocer las prestaciones del material. Para su determinación es necesario conocer la contracción en los tres planos de corte debido a la pérdida de humedad. Este estudio determina los valores medios de las contracciones lineales (axial, radial y tangencial) y la volumétrica de *Neltuma alba* (Algarrobo blanco) proveniente del segundo raleo en plantaciones que corresponden a dos sitios ubicados en las localidades de Buena Vista y Tres Lagunas (departamento Pilagás) provincia de Formosa. La metodología utilizada, se ajusta a una selección aleatoria de los árboles mayores de 20 cm de diámetro a la altura de pecho (DAP) y mayores de 2 m de altura de fuste. El diseño experimental utilizado corresponde a un multifactorial jerárquico con tres factores de variación: sitio (2), árbol (6) y alturas de fuste (3). Los análisis de la varianza muestran que la contracción tangencial se ve influenciada por el sitio y el árbol para un nivel de confianza del 95 %. Ningún factor de variación influye en la contracción que presenta la madera en sentido radial, mientras que en la contracción volumétrica el sitio es el único factor que influye estadísticamente.

**Palabras claves:** Algarrobo blanco, Raleo, Formosa, Argentina.

#### ABSTRACT

The physical properties of a given wood allow for its service behavior be known. Dimensional stability is an important parameter in case the material benefits want to be known beforehand. To determine the dimensional stability of certain wood its shrinkage behavior along its three cutting planes due to moisture loss should be known. This study determines the mean values of the linear (axial, radial and tangential) and volumetric contractions of *Neltuma alba* (white carob tree) from the second thinning in plantations corresponding to two places located in the towns of Buena Vista and Tres Lagunas (Department of Pilagas), province of Formosa. The methodology used is adjusted to a random selection of trees larger than 20 cm in diameter at breast height (DAP) and higher than 2 meters in stem height. The experimental design used is that of a hierarchical multifactorial with three variation factors: site (2), tree (6) and stem height (3). The variance analyses show that the tangential shrinkage is influenced by the site and the tree at a confidence level of 95 %. No variation factor influences the contraction shown in the radial direction, while in volumetric contraction, it is the site the only factor that has statistical influence.

**Keywords:** White carob tree, Thinning, Formosa, Argentina.

<sup>1</sup> Ingeniero Forestal, profesor titular ordinario de Propiedades de la madera, Facultad de Recursos Naturales (FRN). Universidad Nacional de Formosa (UNaF). Av. Gdor. Gutnisky 3200. Formosa. Argentina.

<sup>2</sup> Ingeniera Forestal, profesora: jefe de trabajos prácticos ordinario de Propiedades de la madera, FRN. UNaF. Av. Gdor. Gutnisky 3200. Formosa. Argentina. E-mail: csosapinilla@yahoo.com

<sup>3</sup> Ingeniero Forestal, profesor: jefe de trabajos prácticos de Resistencia de materiales. FRN. UNaF. Av. Gdor. Gutnisky 3200. Formosa. Argentina.

<sup>4</sup> Ingeniero forestal, Auxiliar docente. FRN. UNaF. Av. Gdor. Gutnisky 3200. Formosa. Argentina.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los algarrobos se encuentran entre las especies forestales nativas más importantes del país, tanto por los volúmenes de madera que se comercializan como por la calidad y precio de sus productos (Moglia *et al.*, 2011).

El Parque Chaqueño aporta el mayor porcentaje de la producción de especies nativas del país, siendo las especies del género *Neltuma* las de mayor participación debido a las excelentes propiedades que ofrecen su madera. La industria del mueble, en las provincias de Chaco y Formosa, está basada principalmente en la madera de algarrobo. Esto generó una sobreexplotación produciendo pérdidas en los volúmenes disponibles y en la calidad de la madera.

En la provincia de Formosa a partir del lanzamiento del Plan provincial de fomento de la forestación con algarrobo, complementario a la Ley 25.080, se inician las plantaciones de algarrobo blanco correspondientes al año 2005. A la fecha las mismas han recibido tratamientos silvícolas (podas y raleos), volúmenes desechados como residuos, esto reduce aún más la tasa de aprovechamiento. De allí el interés de conocer las propiedades físicas y tecnologías de la madera proveniente de raleo, con el fin de destinarla al aprovechamiento industrial.

Esta situación se agrava más, debido a la escasa información técnica respecto de las propiedades de la madera de cultivo de la especie Algarrobo. En general, la información disponible de estudios es de carácter descriptivo y la caracterización física se basa en especies adultas desarrolladas en bosques nativos, de generación espontánea.

Este escenario impacta negativamente en el interés del productor forestal.

La variación de las propiedades físicas es producto de la estructura interna del material, como también del contenido de humedad que ella posee. Coronel (1994) menciona que esta variabilidad se ve afectada por el suelo, clima y altitud (factores externos) y la altura del fuste y distancia a la médula (factores internos).

En este mismo sentido Aeberhard *et al.* (2002) menciona que la variabilidad de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas acarrearán inseguridad en la determinación de las mismas aún dentro de la misma especie.

Como antecedentes recientes y relevantes referentes al Parque Chaqueño y a la especie *Neltuma alba*, Martínez *et al.* (2015) determinó la factibilidad industrial de la madera de algarrobo blanco proveniente de raleos. El mismo autor (Martínez, 2016) en plantaciones de 15 años de edad encontró valores de contracción similares a la madera proveniente de árboles adultos del bosque nativo.

El objetivo de este trabajo es la determinación de los valores medios de contracciones lineales y volumétrica y su variación, de los productos de raleo de *Neltuma alba*, con respecto a dos sitios en la provincia de Formosa, planteándose la hipótesis de que esta propiedad se ve afectada por la procedencia, el individuo y la ubicación de las muestras dentro del árbol, con la finalidad de generar información que sustente las decisiones de destinar la madera a usos industriales o de transformación secundaria.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El material para los ensayos propuestos se obtuvo de las localidades de Buena Vista (sitio 1) y Tres Lagunas (sitio 2) en el departamento Pilagás de la provincia de Formosa. Las plantaciones corresponden a 12 años de edad a las que se le practicaron podas sistemáticas y dos cortas intermedias (raleos).

Se aparearon un total de 12 árboles elegidos al azar, 6 en cada sitio, con un diámetro a la altura de pecho (DAP) de 20 cm y altura de troza de 2 metros. Se trasladaron al Centro Tecnológico de la Madera (CTM) para la elaboración de las probetas de ensayo. De cada rollo, luego del despunte se cortaron rodajas de 3 pulgadas para la determinación de las contracciones lineales a tres alturas de cada rollo (denominadas baja, media y alta) como se muestra en la figura 1.

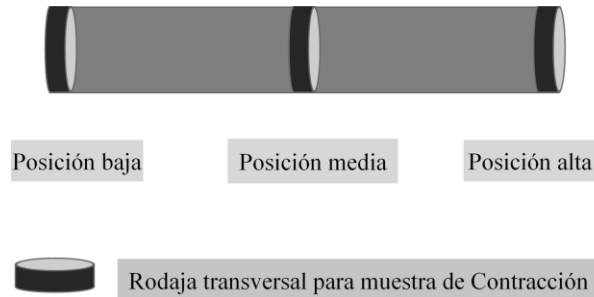


**Figura 1.** Ubicación de las probetas en el tronco

Las contracciones totales lineales y volumétricas se determinaron a partir de madera seca al aire según la Norma IRAM 9.543 (1966) Maderas. Método de determinación de las contracciones totales; axial, radial y tangencial y el punto de saturación de las fibras.

Las mediciones se realizaron en los distintos estados de humedad (verde, anhidro y saturado) y a través de la aplicación de las siguientes ecuaciones

(1) contracciones totales lineales (axial, tangencial y radial)

$$\alpha_a = \frac{L''_a - L'_a}{L'_a} \times 100 \quad \alpha_t = \frac{L''_t - L'_t}{L'_t} \times 100 \quad \alpha_r = \frac{L''_r - L'_r}{L'_r} \times 100$$

(2) contracción volumétrica

$$\alpha_v = \frac{(100 + \alpha_t)(100 + \alpha_r)(100 + \alpha_a)}{10^4} - 100$$

El diseño estadístico utilizado fue un multifactorial jerárquico (nesquet disan) o diseño encajado, cuyos factores de variación son:

Sitio: 2

Árbol: 6

Alturas de corte: 3

N = 36 probetas

Para el análisis de los datos se utilizó el software estadístico Statgraphics Centurión 18 Free Trial Versión 18.1.16 (2022).

### 3. RESULTADOS

La variable contracción corresponde a una distribución normal como se puede observar en la Tabla 1. Los coeficientes de variación para cada sentido fueron: tangencial 27 %, radial 24 % y volumétrico 26 % (Tabla 1).

**Tabla 1.** Estadísticos de tendencias, dispersión y forma

|                     | <b>Tangencial</b> | <b>Radial</b> | <b>Volumétrica</b> |
|---------------------|-------------------|---------------|--------------------|
| Casos               | 36                | 36            | 36                 |
| Media               | 4,09              | 2,65          | 7,16               |
| Desviación estándar | 1,09              | 0,64          | 1,88               |
| Coef. de variación  | 26,82             | 24,33         | 26,25              |
| Mínimo              | 2,56              | 1,19          | 4,19               |
| Máximo              | 6,32              | 3,75          | 10,57              |
| Rango               | 3,76              | 2,56          | 6,38               |
| Oblicuidad          | 1,06              | -0,73         | 0,83               |
| Curtosis            | -0,97             | -0,40         | -0,98              |

La contracción en el sentido tangencial se ve influenciada por el sitio y el árbol no así por el factor altura de corte de las trozas (Tabla 2 y Figura 2).

**Tabla 2.** Análisis de la varianza para la contracción tangencial

| <b>Fuente de variación</b> | <b>P-valor</b> |
|----------------------------|----------------|
| A: Sitio                   | <b>0,0000</b>  |
| B: Arbol                   | <b>0,0153</b>  |
| C: Altura de corte         | 0,4006         |

En el sentido radial los factores considerados en el experimento **no influyen** (Tabla 3 y Figura 2).

**Tabla 3.** Análisis de la varianza para la contracción radial

| <b>Fuente de variación</b> | <b>P-valor</b> |
|----------------------------|----------------|
| A: Sitio                   | 0,1788         |
| B: Arbol                   | 0,0811         |
| C: Altura de corte         | 0,5676         |

La contracción volumétrica está influenciada solo por el factor sitio, como se puede observar en la tabla 4 y la figura 3.

**Tabla 4.** Análisis de la varianza para la contracción volumétrica

| <b>Fuente de variación</b> | <b>P-valor</b> |
|----------------------------|----------------|
| A:Sitio                    | <b>0,0000</b>  |
| B: Arbol                   | 0,5571         |
| C: Altura de corte         | 0,0759         |

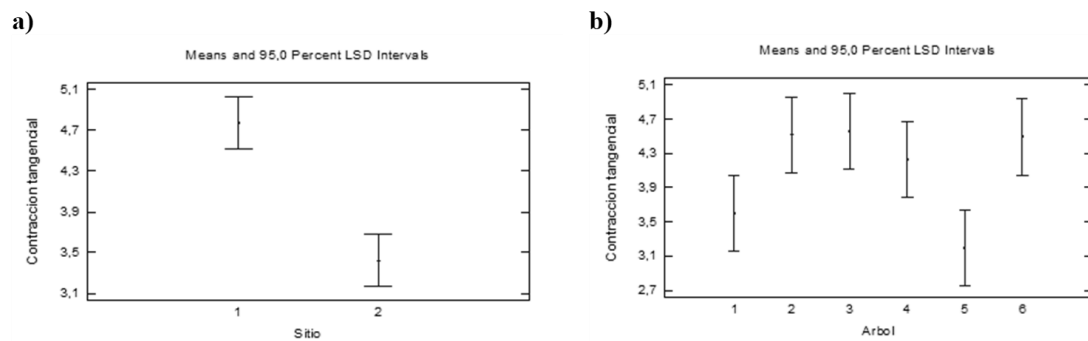


**Figura 2.** Comportamiento de la contracción tangencial con los distintos factores de variación **a)** sitios, **b)** árboles

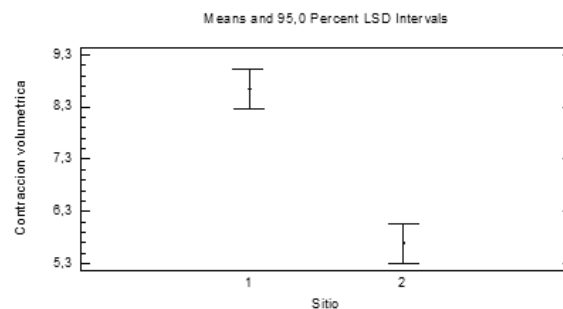


**Figura 3.** Comportamiento de la contracción volumétrica con los factores de variación

#### 4. DISCUSIÓN

La madera de algarrobo, obtenida de segundo raleo en la zona NE de la provincia de Formosa, registra valores medios de contracción lineal en las direcciones tangencial (4 %) radial (2,6 %) y volumétrica (7,16 %) similares a los reportados por Coronel, E (1994) C. tangencial (3,59 %), C. radial (2,24 %) y C. volumétrica (6,80 %). Para el coeficiente de variación el mismo autor obtuvo valores de 6,25 % (radial), 5,57 % (tangencial) y 9,85 % (volumétrica) notablemente inferiores a los obtenidos en este trabajo. Martinuzzi (2007) menciona valores de contracción tangencial (2,5 %), C. radial (1,9 %) y C. volumétrica (6,6 %) con índice T/R de 1,31 %, valores inferiores a los obtenidos en esta experiencia (1,54 %). Ambos, clasifican a la madera de algarrobo como estable.

Moglia *et al* (2016) cita valores de contracción tangencial máximos y mínimos (2,99 % a 3,35%), radiales (1,63 % a 1,73 %) y volumétricas (5,15 % y 5,41 %) con valores de T/R (1,69). Se concluye que el Sitio es el factor estadísticamente significativo, coincidente con lo derivado en este estudio.

#### 5. CONCLUSIONES

Las contracciones lineales de madera juvenil de segundo raleo de *Neltuma* de plantaciones de 12 años de edad en la zona NE de la provincia de Formosa, coinciden con los valores obtenidos para la misma especie por diversos autores (Coronel, 1994; Moglia *et al.*, 2016 y Martinuzzi, 2007) en ejemplares adultos de bosques naturales.

Se puede decir que la madera juvenil es estable y apta para el aprovechamiento industrial y diversos usos, en los que se requieran pequeñas dimensiones.

Con respecto a la influencia de los factores de variación considerados en el presente trabajo podemos concluir que el sitio es el más relevante.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aeberhard, R; A. Aeberhard; M. Natalini; J. Corace; P. Martina; A. Ventin. 2007. *Propiedades Físicas de la madera de Algarrobo (Prosopis sp)*. Grupo de Investigación de Energías Renovables (GIDER) Dpto. de Termodinámica - Facultad de Ingeniería - UNNE.
- Coronel, E. 1994. *Fundamentos de la propiedades físicas y mecánicas de las maderas* 1ª parte. Instituto de tecnología de la Madera (ITM) Serie de publicaciones 9.404. UNSE. Santiago de Estero. Argentina. 187p.
- Martínez, R. H.; M. Ewens; R. Schimpf; A. Ruíz; F. Benítez. 2015. *Posibilidad de uso de la madera del 2º raleo de algarrobo blanco, Prosopis alba para la elaboración de piezas de mobiliario en escala real*. Comunicación técnica. V Jornadas forestales de Santiago del Estero. Argentina
- Martínez, R. H; M. Ewens; R. Schimpf; A. Ruiz; F. Benítez. 2016. *Propiedades físicas y mecánicas de la madera de corta final de Prosopis alba gris*. XXX Jornadas Forestales de Entre Rios. Argentina
- Martinuzzi, F. 2007. *Fichas Técnicas de Maderas*. Bs. As., Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Industrial, INTI Madera y Muebles. Ficha 4.
- Moglia, J.; S. Bravo; M. Pece; A. Bender. 2011. *Crecimiento anual de altura total y de fuste de Prosopis alba en plantación*. Congreso Trinacional del Chaco Sudamericano. Filadelfia. Paraguay. p.214
- Moglia, J; A. B. Cisneros; A. M. Giménez. 2016. Evaluación de la calidad de la Madera de *Prosopis alba* en rodales semilleros. *Investigación forestal 2011-2015. Los proyectos de investigación aplicada* (PIA 10050). Editorial: Ministerio de Agroindustria. ISBN: 978-987-1873-39-5. Disponible en: [https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/115537/CONICET\\_Digital\\_Nro.44bbc4ec-7759-4e6f-89ba-066b88397a0f\\_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/115537/CONICET_Digital_Nro.44bbc4ec-7759-4e6f-89ba-066b88397a0f_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Norma IRAM 9.543. 1966 *Maderas. Método de determinación de las contracciones totales; axil, radial y tangencial y el punto de saturación de las fibras*.
- Statgraphics Technologies, Inc. 2022. *Statgraphics Centurión 18 Free Trial* (Versión 18.1.16.). Windows 64-bit. The Plains, Virginia, EEUU.



ARTÍCULO INVITADO

## Historia de Vida de Néstor René Ledesma (período 1953 - 1973)

*Life Story of Néstor René Ledesma (period 1953 - 1973)*

Mendieta, L. A.<sup>1</sup>

Recibido en agosto de 2022

### 1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo aborda la Historia de Vida del Ing. Néstor René Ledesma, por tratarse de un personaje destacado en la sociedad santiagueña. Si bien sus principales aportes fueron en el ámbito académico, también tuvo contribuciones valiosas en los ámbitos cultural y social. Es así que su trayectoria tuvo alcance provincial y nacional, destacándose por contribuir con la creación del Instituto de Ingeniería Forestal en 1958, hecho que posteriormente impulsó la fundación de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE) en 1973 (Ledesma, 2006, 2011). Tasso (2020) sostiene que se está avanzando hacia una comprensión de la palabra del Ing. Ledesma, y que eso nos alerta en la continuidad y renovación de su obra, que necesita estudio, examen, crítica y emulación.

A pesar de sus importantes contribuciones para la provincia de Santiago del Estero, el Ing. Ledesma aún no fue abordado desde lo biográfico. Sólo fue tratado en breves reseñas sobre sus actividades, entrevistas personales y recordatorios post mortem (Burgos, 1987; Arevalo, 2000; Roic, 1999; Fiorentino, 2014; Fernández, 2019). También existen libros de su propia autoría sobre su acción profesional (Ledesma, 2006, 2011).

Los trabajos mencionados sobre el Ing. Ledesma abordados por terceros, no tienen alcance de Historia de Vida, porque no analizan sus acciones en relación al contexto histórico. Por ello el presente trabajo aborda este análisis para el periodo 1953-1973 por ser de importancia para la fundación de la UNSE, suceso que implicó la instauración de la Educación Superior Universitaria Pública en la provincia. De este modo, se pretende profundizar en la comprensión del personaje analizando cómo los contextos influenciaron en su vida durante este período.

En el Método Biográfico, cuando se abordan muchas historias de vidas (i.e. Biogramas), es posible plantear hipótesis que contribuyen con la comprensión de procesos en las sociedades (Pujadas, 2002). En este sentido, una sola historia de vida también es relevante porque al ser parte de estos procesos, puede ser un insumo para otros estudios (Bassi Follari, 2014). Entonces, la Historia de Vida del Ing. Ledesma podría ser relevante para estudios que aborden, por ejemplo, la comprensión de procesos asociados a la instauración de la Educación Superior Universitaria en Santiago del Estero durante el siglo XX.

En base a lo expuesto, el presente trabajo plantea las siguientes preguntas de investigación sobre la vida del Ing. Ledesma:

¿Cuáles fueron sus acciones destacadas durante el período 1953 - 1973 vinculadas a la Fundación de la UNSE?

---

<sup>1</sup> Profesora, Instituto Superior del Profesorado Provincial N° 1 Prof. Rodolfo Argentino Díaz, Av. Colón (sur) 5602 y Dr. Luis Federico Leloir, ciudad Capital (CP 4200), Santiago del Estero. E-mail: mendieta.liz89@gmail.com

¿Cómo influyó el contexto en el accionar del Ing. Ledesma durante el período 1953 - 1973?

¿Cuáles fueron las cualidades destacables del personaje vinculado a sus acciones en relación al contexto histórico en el período 1953 - 1973?

El objetivo de este estudio fue abordar la Historia de Vida del Ing. Néstor Rene Ledesma, centrándose en su accionar durante el período 1953 - 1973.

## 2. METODOLOGÍA

La Historia de Vida es una técnica de investigación cualitativa perteneciente al Método Biográfico (Pujadas, 2002; Bassi Follari, 2014). El Método Biográfico contempla (Pujadas, 2002):

- *Relato de Vida*. Hace referencia exclusivamente a la narración biográfica de un sujeto que puede ser publicada sin retocar.
- *Historia de Vida*. Es el estudio de una persona, comprendiendo no sólo su relato de vida, sino cualquier otro tipo de información que permita la reconstrucción de dicha biografía de la forma más exhaustiva y objetiva posible.
- *Biograma*. Implica la recopilación de una amplia muestra de biografías personales, a efectos comparativos, por ejemplo, el estudio de Balán *et al.* (1967) sobre movilidad social, migración y fecundidad en Monterrey metropolitano, basada en más de 1600 registros biográficos de hombres adultos, focalizados hacia el tema de las relaciones existentes entre movilidad residencial y ocupacional.

Para abordar este estudio se recurrió a una revisión bibliográfica, entrevistas, y a fuentes primarias publicadas y a las obtenidas por la autora del presente trabajo (i.e. artículos del Diario La Hora) (Pujadas, 2002; Bassi Follari, 2014b). Los profesionales entrevistados para este trabajo durante el año 2021, fueron Pedro E. Boletta, Alberto R. Tasso, Lucas D. Roic y María A. Ledesma (hija del Ing. Ledesma), quienes compartieron vivencias cercanas con el personaje durante el período abordado (Ledesma, 2011; Roic, 1999).

Como se trata de un personaje post mortem, para sus acciones se utilizó principalmente un resumen de sus actividades del período publicado en su obra “70 años de acción profesional 1936-2006” (Ledesma, 2006). Los contextos históricos político, social y económico tanto nacional como provincial, se ligan directamente en la sección del análisis de la vida del Ing. Ledesma. Antes, se desarrolla la historia de la Educación Superior en la provincia de Santiago del Estero, porque contribuye a comprender la importancia que tuvo el accionar del Ing. Ledesma vinculado a la fundación de la Universidad Nacional de Santiago del Estero.

### Historia de la Educación Superior en Santiago del Estero

En esta sección se aborda la historia de la Educación Superior en la provincia de Santiago del Estero, desde sus inicios hasta el período de análisis de la vida del Ing. Ledesma (1953 - 1973).

El primer antecedente sobre el establecimiento de la Educación Superior en Argentina, remite a la provincia de Santiago del Estero con la fundación del “Colegio Seminario Santa Catalina Virgen y Mártir” en 1611. El Colegio funcionó con normalidad hasta 1635, y persistió con dificultades hasta 1699 cuando fue trasladado a Córdoba (Sanmarco *et al.*, 2020). Con el traslado del Colegio Seminario, Santiago del Estero quedó relegada a la Educación Superior y sin la posibilidad de fundar una Universidad en esa época. Posteriormente, hasta la fundación de la primera Universidad en la provincia, la educación que prevaleció fue la enseñanza escolar (Jugo Suárez, 2018; Castiglione y Castillo, 1998).

Los acontecimientos de la Reforma del 18 también tuvieron sus repercusiones en Santiago del Estero. Los ideales de los grupos reformistas locales buscaron llevar adelante una difusión de los hechos que se generaron en Córdoba a partir de instrumentos como la revista, conferencias, en la cual es propio identificar un periodismo que propone una expansión de hechos que marcaron un antes y después en la educación en el ámbito nacional. Los ideales de la reforma buscaron llevar adelante una difusión de un pensamiento latinoamericano donde la patria americana a partir de una liberación alcanzaría la independencia. Uno de los resultados de la reforma fue la creación al año siguiente de la Universidad del Litoral, en el centro de la difusión del Normalismo. En lo que refiere a Santiago del Estero, los grupos de intelectuales continuarán su conformación a lo largo de las décadas siguientes sin poder alcanzar el objetivo de la Universidad Nacional en el corto plazo (Jugo Suárez, s.f.). De hecho, la primera universidad en la provincia se fundó 42 años después de la Reforma del 18 (i.e. Universidad Católica de Santiago del Estero fundada en 1960) (UCSE, 2021), y posteriormente en 1973 se fundó la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE, 2021).

Previo a las dos universidades, se destaca para la Educación Superior en la provincia, la creación del primer Profesorado durante la presidencia de Juan Domingo Perón (Castiglione y Castillo, 1998). Hacia 1947, como Santiago del Estero no contaba aún con una casa de estudios superiores, el diputado nacional Pedro Zanoní presentó un proyecto ante el Congreso de la Nación, para convertir la Escuela Normal de Maestras en Escuela Normal de Profesores mediante la creación del Profesorado en Instalaciones anexas al establecimiento. Aprobado el proyecto, el 2 de agosto del mencionado año comenzó a funcionar el Profesorado con dos especialidades: Profesorado Normal en Ciencias y Profesorado Normal en Letras, coexistiendo desde entonces, el nivel superior con los demás niveles de la unidad académica (MEA, 2021). Posteriormente, el Ing. Ledesma elaboró el plan de estudios de la carrera Ingeniería Forestal, que se habilitó en 1960 dependiendo de la Universidad Nacional de Córdoba (Tasso, 2010).

### **Análisis de la vida del Ing. N. R. Ledesma (período 1953 - 1973)**

En esta sección se analiza las acciones del Ing. Ledesma en relación a los contextos históricos político, social y económico correspondiente al período 1953 - 1973, siendo estos años los destinados a sus acciones vinculadas principalmente con la Fundación de la Universidad Nacional de Santiago del Estero. Primero se exponen sus acciones durante este período, y posteriormente se indaga al personaje en base a los contextos. Previo a esto, se desarrolla una breve síntesis de su vida hasta el inicio del periodo, lo cual es importante para una mejor comprensión del periodo que se analiza.

Néstor René Ledesma nació el 26 de febrero de 1914 en la provincia de Santiago del Estero, Argentina. Su padre, Felipe Ledesma, trabajó en el Correo Argentino, y su madre, Carlota Tarchini (oriunda de Suiza), fue una mujer muy atípica para su época porque tuvo su propia empresa, “el Jardín Tarchini”, donde cultivaba plantas florales y vendía flores de su producción y también las que compraba fuera de la provincia. La casa de la infancia del Ing. Ledesma era un jardín de flores que su madre dirigía, viviendo esa etapa en contacto con las plantas y la naturaleza, nutriéndose del amor que su madre profesaba (Entrevista, María A. Ledesma). Su formación primaria y secundaria la realizó en la ciudad Capital de Santiago del Estero, obteniendo en 1932 el título de Bachiller en el Colegio Absalón Rojas donde además recibió la medalla al mejor compañero (Arevalo, 2000; Burgos, 1987).

Posteriormente se trasladó a Buenos Aires para estudiar en la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), logrando obtener el título de Ingeniero Agrónomo el 24 de diciembre de 1936 (Arévalo, 2000). Su paso por esta Facultad trascendió tanto su intelecto como su persona, mostrando allí sus condiciones morales e intelectuales que sostendrán su destino, caracterizándolo como un hombre inteligente, generoso y una vida austera (Burgos, 1987). Es así que tuvo una destacada actividad en dicha casa de estudio como estudiante y como profesional que se extendió hasta el inicio de la década del 50. Al respecto, como docente e investigador, hizo aportes sustanciales en la mejora de variedades de arroz. Además, como

técnico del Servicio Meteorológico Nacional, contribuyó con el desarrollo del método del "Registro Fitofenológico integral de Ledesma" (Burgos, 1987; Ledesma, 2006). Como finalización de esta etapa, en 1951 fue designado Profesor Adjunto en la cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas en la UNLP (Ledesma, 2006; Fernández, 2019).

Burgos (1987) destaca que, a pesar de su excelente labor en Buenos Aires, lo cual le abría posibilidades para una buena proyección profesional, incluso brillar en el extranjero, el Ing. Ledesma decide volver en 1953 a su provincia natal porque soñaba con su tierra y los suyos, con el hachero chaqueño que para sobrevivir una vida infrahumana destruía los bosques, acosados ya naturalmente por la gran seca de los años 30 y 40.

Ya en su tierra natal, inicia el período 1953 - 1973 que él denominó "Proyecto para la nueva Universidad en Santiago del Estero" (Ledesma, 2006). Esta iniciativa del Ing. Ledesma se vinculaba con su mirada sobre las consecuencias de la falta de educación universitaria por varios siglos en la provincia, sugiriendo que esta era una de las principales causas del atraso en los ámbitos económico, social, cultural y político, llevando a generar la emigración de jóvenes que buscaron su destino educativo-profesional en los principales centros universitarios (p. ej. Córdoba). De estos jóvenes, sólo unos pocos retornaban a la provincia, ya formados, siendo insuficiente para disponer en su totalidad de dirigentes capacitados. A su vez, destacaba al desconocimiento de las riquezas naturales como una de las grandes falencias, sin tener quien planifique y ejecute las obras de su desarrollo en el volumen y nivel necesario, sugiriendo que de este modo la provincia se destruye, se empobrece y se atrasa (Ledesma, 2011).

En términos generales, las actividades del Ing. Ledesma que caracterizaron a este periodo se vincularon con información al pueblo, preparación de la opinión pública, creación de comisiones, proyectos ejecutivos e información a los representantes legislativos. Ledesma (2006) resume estas actividades:

- 1953 Retorna definitivamente a su provincia. Introdujo la iniciativa de crear una Universidad Nacional en Santiago del Estero.
- Inició las acciones formando comisiones "pro Universidad" que, por carecer de apoyo, se fueron disolviendo una tras otra.
- La masa del pueblo, históricamente sometida, no imaginaba alcanzar altos niveles de capacitación.
- Quiénes ostentaban situaciones de privilegio sin méritos, temían -probablemente- la competencia de los nuevos graduados universitarios. Silenciosamente, con astucia, se oponían a la fundación de la Universidad.
- Entre los años 1953 y 1956, dictó conferencias en cuantos organismos lo aceptaron, por lo general en bibliotecas de barrio, clubes sociales y deportivos, en la Sociedades Sirio-Libanesa y Española. Brindo varias de ellas en el Rotary Club de Santiago Del Estero, que las publicó y difundió en los "Rotarys" del mundo.
- Publicó más de trescientos artículos periodísticos, en diarios y revistas, utilizó todos los medios que tuvo a su alcance: prensa escrita, radio, televisión, para argumentar sobre la necesidad de la creación de una Universidad en Santiago y en otras Provincias.
- En los comienzos, tenía la sensación de PREDICAR EN EL DESIERTO.
- El pueblo santiagueño se fue compenetrando, paso a paso, con la idea de poseer una casa de altos estudios.
- Se pensó en la conveniencia de crear una sola Facultad para iniciar las acciones, considerando las dificultades para obtener la decisión ejecutiva y recursos suficientes para sostener una universidad integrada.

- La Comisión "Pro Universidad" gestionó la creación de una Facultad de Ingeniería Forestal, ante las autoridades de las Universidades Nacionales de Tucumán y de Córdoba. Los resultados fueron negativos en Tucumán y tibios en Córdoba.
- Continuó, a pesar de todo, motivando al pueblo de Santiago del Estero.
- Por fin, en 1956, la Asociación Santiagueña de Ingenieros Agrónomos organizó una Asamblea Pública, Pro-Facultad de Ingeniería Forestal, en la Biblioteca Sarmiento, a la que asistió el entonces Interventor Federal vicealmirante Gabriel Maleville, quien, compenetrado con la iniciativa, la recibió con beneplácito. Sin embargo, todavía no era posible una decisión ejecutiva.
- Designado Ministro de Gobierno, en 1958, el Dr. Horacio G. Rava apoyó, en forma entusiasta y eficiente.
- De acuerdo con los conceptos del Dr. Rava, se decidió que la Provincia asumirá la responsabilidad de la fundación, apoyada en la Constitución Provincial. El nuevo ministro, le pidió que redactara un Proyecto de Decreto-Ley de creación de la Facultad de Ingeniería Forestal. El texto propuesto fue adoptado, sin enmiendas y fue sancionado, bajo el N° 9, de fecha 12 de febrero de 1958, con la designación de FACULTAD DE INGENIERÍA FORESTAL.
- Advirtió al Ministro y a la Comisión, que los gobiernos provinciales, por lo general, cambian de actitud al renovarse las autoridades. La Universidad no puede estar sometida a tales peligros.
- En consecuencia, se gestionó oficialmente, el apoyo a la Universidad Nacional de Córdoba. Esta aceptó la "INCORPORACIÓN", denominándola INSTITUTO DE INGENIERÍA FORESTAL, por cuanto el Estatuto Universitario exige ciertas condiciones para acceder al nivel de Facultad. La Universidad Nacional de Córdoba prestó solamente apoyo ACADÉMICO, pero no económico.
- El nuevo organismo tuvo, por lo tanto, una doble dependencia: La Facultad sostenida, en los aspectos presupuestarios, por la Provincia; y en carácter de Instituto, por la Universidad Nacional de Córdoba, que apoyaba solamente en los aspectos académicos.
- DIEZ AÑOS debió esperar: desde 1958 a 1968, para ser incluida en el presupuesto universitario.
- Dependió pues, durante este largo lapso, del sostén del Gobierno de la Provincia de Santiago del Estero.
- Al crearse la Facultad de Ingeniería Forestal, se reinició la actividad universitaria, en Santiago del Estero, después de un período de 345 años (1613 - 1958).
- Fue, al mismo tiempo, el primer Centro Universitario, de Ciencias Forestales, en la República Argentina.
- Su principal colaborador fue el Ing. Agr. Mario Antonio Lavaisse, joven profesional, graduado en la Universidad Nacional del Litoral. Fue la única persona que colaboró en las acciones para fundar la Universidad. Su entusiasmo y capacidad de trabajo superó dificultades que parecían insalvables: reparación del edificio (facilitado en préstamo, por la Liga del Magisterio Santiagueño), adquisición del mobiliario, dotación de elementos a los laboratorios... y tantos problemas que exigen la iniciación de las actividades universitarias. El Ing. Mario Antonio Lavaisse, supera todos los obstáculos.
- Continúo promoviendo la idea de integrar la Universidad, a pesar de la oposición, cada vez mayor de numerosos círculos.
- Se constituyeron nuevas Comisiones que, progresivamente, se disolvieron ante la falta de apoyo de los estamentos dirigentes.

- 1972 Integró al entonces gobernador Dr. Carlos A. Jensen ante la fundación de Universidades en varias provincias. Creó Comisión Promotor Oficial, oficializó la Comisión que había actuado hasta ese momento para la fundación de la Universidad, la modificó para designar como Presidente a su Secretario de Educación, Prof. Edvino Paz. El Ministro de Educación de la Nación, Dr. Gustavo Malek, confirmó dicha Comisión y le otorgó carácter nacional.
- 1972 Fue necesario discutir la iniciativa con los Estados Mayores de las tres Fuerzas Armadas que, aparentemente, ejercían las funciones de Poder Legislativo.
- Se obtuvo, no sin dificultades, la sanción de las Leyes de creación de las Universidades de San Juan, Entre Ríos, San Luis y Santiago del Estero.
- 1973 Al sancionarse la Ley Nacional, N° 20.364, de fecha 10 de mayo de 1973, se logró finalmente la fundación de la UNIVERSIDAD NACIONAL en Santiago del Estero, como resultado de tantos esfuerzos.
- De este modo se pudo cumplir con la idea original: integrar toda la Universidad en un solo cuerpo.
- 1973 - 1975 La nueva Universidad recién inició sus actividades en el año 1975, dos años después de la sanción de la Ley de su creación.
- 1975 Previa designación del nuevo Rector - organizador, por el P. E. Nacional, el 21 de abril de 1975, el gobernador Dr. Carlos Arturo Juárez inauguró las actividades de la UNSE.
- 1953 - 1975 Fueron necesarios, para alcanzar el objetivo, 22 años de continua acción.

Entre las actividades de difusión del Ing. Ledesma en los inicios del período, en una de sus conferencias en 1956 sobre los fundamentos de creación de la Facultad de Ingeniería Forestal en Santiago del Estero, destacaba la importancia de una Facultad de este tipo en base a la necesidad de atender las demandas de maderas del país, así como de los problemas ambientales asociados a un manejo inadecuado del bosque. Advirtiendo que, de no reaccionar, puede ocurrir como en otras regiones del mundo donde la sobreexplotación de los bosques derivó en la desertificación. A su vez, destacando cómo países que entendieron esta problemática, son referencias en el mundo por su manejo adecuado de bosques (p. ej. Finlandia) (Conferencia transcripta y publicada en Santucho (2012)).

Es importante destacar que el plan de estudio para la carrera se basó fundamentalmente en Facultades similares de Suecia, España, U.R.S.S. y dos de E.E.U.U., y consistió de una duración de 5 años (Diario La Hora, 1958a, b). Previo al inicio de las clases, la comisión organizadora de la carrera buscó asesoramiento en Buenos Aires para los equipamientos, y definió el plantel de profesores titulares en base a profesionales de otras universidades consagrados por concursos (Diario La Hora, 1958c). Finalmente, las clases comenzaron en abril de 1958 (Diario La Hora, 1958d). Con respecto a definiciones importantes sobre el funcionamiento y presupuesto en el primer año de la Facultad de Ingeniería Forestales, se difundió lo siguiente (Diario La Hora, 1958b):

“Por decreto expedido por el gobierno de la intervención en uso de sus facultades legislativas, el que ha sido firmado por todos los ministros, se otorga a la Facultad de Ingeniería Forestal, recientemente creado, el carácter de organismo autárquico. La importante medida se fundamenta en la necesidad de facilitar el desenvolvimiento de la facultad en la misma forma que los institutos similares que funcionan en los diversos países. Que con lo demás, agrega que por el decreto ley de su creación se fija una partida de \$ 1.300.000 para su funcionamiento, que está incluida en el presupuesto del corriente año, a lo que deberá sumarse el aporte de instituciones particulares que lo han ofrecido y que las necesidades de una entidad de estudios

universitarios exigen que la misma pueda actuar con la agilidad suficiente tanto en el manejo de los fondos como en la realización de sus contratos y de las actividades que le son propias, de acuerdo a lo establecido en los países más evolucionados, que asegura, por su jerarquía, garantía suficiente para confiarle su propia administración”.

Los 20 años del periodo en que se desarrollaron estas acciones vinculado con la Fundación de la UNSE, se caracterizaron por ser muy inestables en lo político, económico y social, tanto en el ámbito provincial como nacional (Tenti, 1998; Lobato y Suriano, 2000; Bona y Páez, 2020). Si bien los desafíos para lograr los objetivos de fundación eran considerables por sí mismo, llevarlos a cabo en contextos inestables realza aún más las cualidades del Ing. Ledesma.

Estas cualidades se vinculan con un personaje visionario, apasionado, comprometido, persistente y estratega. Estos elementos se evidencian a lo largo de todo el período. Por ejemplo, entre 1953 y hasta lograr la creación de la Facultad Ingeniería Forestal, intervalo caracterizado por un escenario totalmente desfavorable donde prácticamente significó iniciar el desafío desde cero, quizás representa una de las instancias más críticas en el proceso. Aquí las acciones del Ing. Ledesma se concentraron en destacar para la sociedad, la importancia de instaurar la Educación Superior Universitaria en la provincia. Para esto requirió compartir su visión con los diversos sectores de la sociedad, recurriendo al dictado de conferencias, charlas y publicaciones escritas en diversos medios. La persistencia del personaje también fue fundamental en este intervalo, que se evidencia cuando a pesar de los primeros intentos fallidos para la creación de la Facultad de Ingeniería Forestal, el Ing. Ledesma no se desmotivaba y continuaba firme con sus acciones.

En esta instancia, es importante destacar que, si bien este escenario desfavorable era desafiante, también fue clave para que el personaje pueda despertar su espíritu visionario y compromiso con los suyos. De hecho, los contextos desfavorables es una de las características que también se destacan en otros personajes que trascendieron, por ejemplo, Domingo Faustino Sarmiento quien logró importantes aportes al Sistema Educativo Argentino (Weinberg, 1999), o Mahatma Gandhi en el plano internacional (Pontara, 2016).

La figura de estrategia del Ing. Ledesma se evidencia con la decisión de abordar primero una Facultad, porque en esa instancia pudo visualizar las dificultades para obtener la decisión ejecutiva y recursos suficientes para sostener una universidad integrada. Es así que la creación de la Facultad de Ingeniería Forestal ocurre en 1958 en un contexto de falencias en las normativas sobre fundaciones de este tipo de casa de estudio, simplemente por ser el primero en su tipo en la provincia, además de ocurrir en un periodo inestable en lo político con alternancias entre gobiernos democráticos y de facto (Tenti, 1998), lo cual derivó en que la Facultad pase a tener figura de Instituto con doble dependencia, por un lado era financiado por la provincia de Santiago del Estero, y por otro, respaldado académicamente por la Universidad Nacional de Córdoba.

El compromiso y pasión del Ing. Ledesma en el proceso de fundación de una Universidad Nacional en la provincia, se evidencian, por ejemplo, cuando destaca que eran muy pocas las personas que lo ayudaron en el proceso, como ser el Ing. Agr. Mario Antonio Lavaisse, y a su vez los obstáculos de sectores que se oponían al propósito de fundación. Es aquí donde estas cualidades pasan a tener un significado importante en el Ing. Ledesma, que lejos de intimidarse por el contexto, recurre a su compromiso, motivado por su pasión e intelecto para cumplir con su objetivo.

Aquella decisión estratégica de abordar primero la creación de una Facultad, daría sus frutos 15 años después con la fundación de la UNSE en mayo de 1973. En ese entonces el país atravesaba muchos conflictos políticos y sociales desde finales de los 60, siendo una de las medidas por el gobierno de turno en el ámbito nacional, descentralizar el sistema y crear instituciones más pequeñas a fines del sesenta y principios del setenta, lográndose de este modo la creación de 12 nuevas universidades en el ámbito público, tanto nacionales como provinciales. (Buchbinder, 2005). Esto se llevó a cabo con el plan Taquini que buscaba la reorganización de la Educación Superior en el país (Mendonça, 2015). En este sentido, la provincia de Santiago del Estero fue una de las elegidas para la creación de una Universidad Nacional, sin dudas porque ya estaban

asentadas las bases con el Instituto de Ingeniería Forestal, sumado a la insistente labor del Ing. Ledesma para tal objetivo, incluso llegando a integrar comisiones nacionales para discutir la iniciativa con los Estados Mayores de las tres Fuerzas Armadas.

Estas cualidades del Ing. Ledesma presentan consistencia con las destacadas por los profesionales entrevistados, quienes compartieron vivencias cercanas con el personaje durante el período abordado. Pedro E. Boletta sostiene que desde que lo conoció como estudiante en 1960, el Ing. Ledesma fue un “gran luchador” para recuperar la Universidad Nacional para Santiago del Estero. Alberto R. Tasso destaca su tenacidad, creatividad y amor por la docencia e investigación. Por su parte, Lucas D. Roic resalta su perseverancia y empuje, así como su capacidad de relacionarse y su visión para la búsqueda de apoyo.

El análisis presentado sugiere una combinación entre las cualidades del personaje y las influencias del contexto en sus decisiones para direccionar el proceso de fundación de una Universidad Nacional en Santiago del Estero. Esta influencia también es reconocida por Alberto R. Tasso, quien destaca que muchas de las acciones del Ing. Ledesma disientan con ese contexto, y podría decir que surgieron como reacción al mismo. Esta apreciación de A. Tasso es consistente con el punto de vista de los “contextos desfavorables y personajes” abordado con anterioridad. Por su parte, Lucas D. Roic sugiere que las acciones del Ing. Ledesma estuvieron determinadas no sólo por el contexto político, social y económico de la época, sino también por una visión de futuro.

Este estudio contribuye a mejorar la comprensión del Ing. Ledesma al analizar sus acciones de vida en los contextos del período abordado. Se evidencia cómo estos contextos tuvieron influencias en el personaje, y viceversa. De hecho, las acciones del Ing. Ledesma no sólo tuvieron un impacto positivo inmediato durante el período, sino que se acrecentaron con el tiempo debido a todas las implicancias que la Educación Superior Universitaria tiene para una sociedad. En este sentido, Pedro E. Boletta destaca que el Ing. Ledesma no era un político (perteneciente a un partido político), era un luchador, que hacía política universitaria y que pretendía el progreso económico y social de los habitantes de Santiago del Estero, con el argumento que eso se lograba con profesionales formados en la provincia y que se quedasen en la misma, y no que fueran a otras universidades de otros lugares y no volviesen a su lugar de origen.

Por último, la presente Historia de Vida del Ing. Ledesma puede ser de utilidad en otros estudios que aborden procesos históricos más amplios vinculados con la Educación Superior en la provincia, así como a mejorar la comprensión de grupos de personajes específicos de la época.

### 3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arévalo, R. 2000. *Santiagoueños Notables*. Editorial Dunken, Buenos Aires. 160 p.
- Balán, J.; H. Browning; W. Feindt y E. Jelin. 1967. *Movilidad social, migración y fecundidad en Monterrey metropolitano*. Universidad de Nuevo León, Monterrey. 439 p.
- Bassi Follari, J. E. 2014. Hacer una historia de vida: decisiones clave durante el proceso de investigación. *Athenea Digital* 14(3): 129-170.
- Burgos, J. J. 1987. Incorporación del Académico Correspondiente Ing. Agr. Néstor René Ledesma. pp. 7-19 En H. G. Aramburo (ed.). *Anales. Tomo XLI 1986-1987*. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria, Argentina.
- Bona, L. M. y S. M. Páez, 2020. Fases, similitudes y diferencias entre los casos de las dictaduras y economía política en Argentina, 1966-1973 y 1976-1983, y Brasil, 1964-1985. *América Latina en la Historia Económica* 27(2): e1068.
- Buchbinder, P. 2005. *Historia de las Universidades Argentinas*. Editorial Sudamericana, Buenos Aires. 255 p.
- Castiglione, J. C. y E. Castillo. 1998. Retrato de un siglo. Una visión integral de Santiago del Estero desde 1898. El Libera, Santiago del Estero. 465 p.

- Diario La Hora. 1958a. Se Propone un Plan de Estudios para la Facultad de Ingeniería. Editado por la Cooperativa de Periodismo y Artes Gráficas "La Hora" Ltda. Fecha de publicación: 20 de febrero de 1958.
- Diario La Hora. 1958b. La Facultad de Ingeniería Forestal será un Organismo Autárquico. Editado por la Cooperativa de Periodismo y Artes Gráficas "La Hora" Ltda. Fecha de publicación: 24 de marzo de 1958.
- Diario La Hora. 1958c. Estúdiase el Equipamiento de la Facultad de Ingeniería Forestal. Editado por la Cooperativa de Periodismo y Artes Gráficas "La Hora" Ltda. Fecha de publicación: 26 de febrero de 1958.
- Diario La Hora. 1958d. Ayer se iniciaron las clases en la Facultad de Ingeniería Forestal. Editado por la Cooperativa de Periodismo y Artes Gráficas "La Hora" Ltda. Fecha de publicación: 25 de abril de 1958.
- Fernández, N. E. 2019. *Biografías: Protagonistas de la Ciencia Forestal Argentina*. Ministerio de Producción y Trabajo, Argentina. 73 p.
- Florentino, D. C. 2014. Prólogo: Homenaje a Néstor René Ledesma, artífice de la educación universitaria en Santiago del Estero. pp. 11-15. En A. Tasso (ed.). *Publicación Homenaje – Ing. Dr. Néstor René Ledesma*. Editorial Lucrecia. Santiago del Estero.
- Jugo Suárez, A. (s.f.). La Reforma Universitaria de 1918 y las repercusiones en Santiago del Estero. Ensayo inédito.
- Jugo Suárez, A. 2018. El surgimiento del sistema educativo en Santiago del Estero, 1850-1900. *Revista IRICE* 34: 97-117.
- Ledesma, N. R. 2006. *Néstor René Ledesma. 70 años de acción profesional 1936-2006*. Editorial Lucrecia, Santiago del Estero. 74 p.
- Ledesma, N. R. 2011. *Universidad en Santiago del Estero. Historia de su recuperación*. Encuentro Grupo Editor, Córdoba. 397 p.
- Lobato, M. Z. y J. Suriano (2000). *Nueva Historia Argentina: Atlas Histórico*. Buenos Aires: Editorial Sudamericana. 587 p.
- MEA (Ministerio de Educación Argentina). 2021. *Historia Institucional del Nivel Superior de la Escuela Normal Manuel Belgrano de Santiago del Estero*. [fecha de consulta: julio de 2021]. Disponible en: <https://ensbelgrano-sgo.infed.edu.ar/sitio/historia-institucional/>
- Mendonça, M. 2015. La creación de nuevas universidades nacionales en la década de los años setenta Continuidades y rupturas del plan Taquini en el marco de la coyuntura política nacional (1966-1973). *Perfiles Educativos* 37(150): 171-187.
- Pontara, G. 2016. Gandhi: el político y su pensamiento. *Revista Latinoamericana* 15(43):19-40.
- Pujadas, J. J. 2002. *El método biográfico: El uso de las historias de vida en ciencias sociales*. 2da. edición. Centro de Investigaciones Sociológicas, Madrid. 107 p.
- Roic, L. D. 1999. Aniversarios. *Quebracho* 7:19-20.
- Sanmarco, G. L.; H. R. Paz, A. V. Castiglione y J. M. Sanmarco. 2020. *Seminario Santa Catalina Virgen y Mártir, de 1611, de Santiago del Estero. Origen de la educación superior en Argentina*. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Santiago del Estero. 428 p.
- Santucho, F. R. (ed.). 2012. *Dimensión. Revista de cultura y crítica. Edición facsimilar*. 1ra. edición. Subsecretaría de Cultura de la Provincia de Santiago del Estero, Santiago del Estero. 112p.
- UCSE (Universidad Católica de Santiago del Estero). 2021. *Acerca de Nosotros. Universidad Católica de Santiago del Estero*. [fecha de consulta: julio de 2021]. Disponible en: <http://www.ucse.edu.ar/acerca-de-nos/>
- UNSE (Universidad Nacional de Santiago del Estero). 2021. *Institucional. Universidad Nacional de Santiago del Estero*. [fecha de consulta: julio de 2021]. Disponible en: <https://www.unse.edu.ar/index.php/institucional/2016-06-09-19-22-00/historia>

- Tasso, A. 2010. Pensamiento social y ciencias sociales en Santiago del Estero. Autores, obras y temas (1875-1975). *Revista Cifra* 5:13-38.
- Tasso, A. (2020). *Figuras al trasluz vistos a 200 años de la Autonomía*. Barco Edita (Inédito).
- Tenti, M. M. 1998. Entre gobiernos autoritarios y democracia limitada. pp. 75-96. En J. C. Castiglione y E. Castillo (eds.). *Retrato de un siglo. Una visión integral de Santiago del Estero desde 1898*. El Liberal, Santiago del Estero.
- Weinberg, G. 1999. *Sarmiento, Bello, Mariátegui y otros ensayos*. Academia Nacional de Educación, Buenos Aires. 164 p.



TESIS DOCTORAL

**Evaluación de la estructura y manejo de la densidad de tres plantaciones mixtas de *Melia azedarach* y *Grevillea robusta* en Misiones (Argentina)**

*Assessing the structure and density management of three mixed plantations of Melia azedarach and Grevillea in Misiones (Argentina)*

Universidad Nacional de Santiago del Estero

Facultad de Ciencias Forestales

Director: Dr. Publio A. Araujo<sup>1</sup> Codirector: Dr. Hermann Hampel<sup>2</sup>

**Víctor Ramón Pérez<sup>3</sup>**

**RESUMEN**

La silvicultura de plantaciones forestales se ha orientado a la máxima producción de madera, centrada en la técnica de monocultivos de pocas especies de rápido crecimiento. Una alternativa a este tipo de forestaciones son las plantaciones mixtas, cuyos ensayos y práctica de cultivo a nivel mundial han originado gran variedad de resultados, algunos contradictorios. En el presente estudio se informan resultados del manejo de la densidad efectuado a través de la aplicación a temprana edad de diversas intensidades de raleos, en tres plantaciones mixtas de *Melia azedarach* y *Grevillea robusta*. La experiencia fue realizada en tres campos de Danzer Forestación S.A. (Misiones, Argentina), con el objetivo general de evaluar la estructura y dinámica de estas plantaciones mixtas, con y sin la aplicación de raleos. En los ensayos se utilizó diseño de bloques completos al azar con diversos tratamientos y tres réplicas. Se aplicaron diferentes intensidades de raleos, desde muy leves (< 20 % de la densidad) hasta muy fuertes (> 50 % de la densidad). Resultados: Satisfactorio comportamiento y crecimiento de ambas especies. Las ecuaciones de volumen para ambas especies fueron validadas. Distintas proporciones de las especies en rodales mixtos que tienen igual densidad post raleo no se diferencian estadísticamente en cuanto a su producción. El diámetro fue la variable más afectada por el raleo. Los mayores crecimientos post-raleo se dieron en las intensidades de raleos moderados a fuertes. Mayor sensibilidad a los cambios de densidad se observó en plantas de *M. azedarach*. Los mayores incrementos relativos de área basal y volumen en el rodal mixto se dieron en las intensidades de raleos moderados a fuertes y la mejor combinación de crecimiento en diámetro con área basal se logra con esas intensidades.

**Palabras clave:** competencia, espaciamiento, densidad, crecimiento.

---

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano (s) 1912. 4200 Santiago del Estero. Argentina. (†)

<sup>2</sup> Danzer Veneer Américas. Darlington, Pennsylvania, USA.

<sup>3</sup> Tesista. Ing. Ftal. Tesis presentada como requisito para obtener el grado de Doctor en Ciencias Forestales. Año 2021. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano 1912 (s). 4200 Santiago del Estero. Argentina

### ABSTRACT

Forest plantation forestry has focused on maximum wood production, focused on the monoculture technique of few fast growing species. An alternative to this type of forestation is mixed plantations, whose trials and practice of cultivation worldwide have given rise to a variety of results, some contradictory. In the present study, results are reported on density management carried out at the early age of various thinning intensities in three mixed plantations of *Melia azedarach* and *Grevillea robusta*. The experiment was carried out in three fields of Danzer Forestation S.A. (Misiones, Argentina), with the general objective of evaluating the structure and dynamics of these mixed plantations, with and without the application of thinning. Randomized complete blocks design with various treatments and three replicates were used in the trials. Several thinning intensities were applied, from very light (< 20 % of density) to very strong (> 50 % of density). Results: Satisfactory behavior and growth of both species. The volumen equations for both species were validated. Different proportions of the species in mixed stands with equal post-thin density do not differ statistically in their production. The diameter was the variable most affected by thinning. The highest post-thin growth occurred in moderate to strong thinning intensities. Greater sensitivity to density changes was observed in *M. azedarach* plants. The highest relative increases of basal area and volume in the mixed stand occurred in the moderate to strong thinning intensities. The best combination of diameter growth with basal area is achieved with these intensities.

**Keywords:** competence, spacing, density, growth.

TESIS DOCTORAL

**La calidad de sitio como condicionante del crecimiento y la calidad de frutos de plantaciones de *Neltuma alba* (ex *Prosopis alba* Griseb) en la provincia de Santiago del Estero, Argentina**

*Site quality as a determinant of growth and fruit quality of Neltuma alba (ex Prosopis alba Griseb) plantations in the province of Santiago del Estero, Argentina.*

Universidad Nacional de Santiago del Estero

Facultad de Ciencias Forestales

Director: Dr. Miguel Brassiolo<sup>1</sup> Codirectora: Dra. Cecilia Bruno<sup>2</sup>

**María Gracia Senilliani<sup>3</sup>**

**RESUMEN AMPLIADO**

La Silvicultura ha evolucionado hacia esquemas más precisos a nivel de rodal para lo cual las variables del sitio cumplen un rol fundamental. Este nuevo enfoque silvícola requiere de una base amplia de conocimientos que permitan entender la dinámica y productividad de la especie. Para ello, es necesario introducir el concepto de calidad del sitio, referido a la productividad potencial de un sitio para una especie particular. La productividad es un concepto biológico que no tiene representación numérica, por lo que cual se opta por emplear como indicativo de la calidad de sitio al Índice de Sitio, valor expresado por la altura dominante de un rodal a una edad determinada, llamada edad base. El objetivo del trabajo fue determinar la influencia del sitio en el crecimiento y la calidad de frutos de plantaciones de *Neltuma alba* en la provincia de Santiago del Estero, Argentina, como un aporte de nuevos conocimientos que sustenten la toma de decisiones silviculturales.

El área de estudio se sitúa en el Complejo Valle del río Dulce perteneciente a la Subregión del Chaco semiárido en la Ecorregión del Chaco seco de la República Argentina. La zona específica de trabajo está comprendida dentro del área de riego del río Dulce en la provincia de Santiago del Estero. En esta área se ubican mayormente los rodales de algarrobo blanco en la provincia que se corresponde con la Llanura aluvial del río Dulce, Paleo Llanura de Inundación.

La base de datos proviene de la medición de parcelas temporales, de intervalo, permanentes y datos de crecimiento del análisis de fustes de 13 árboles dominantes extraídos de plantaciones adultas de *Neltuma alba*, lo que permitió registrar 100 pares de datos altura-edad. Para evaluar el desarrollo de los rodales, las variables a medir fueron el diámetro a la altura de pecho, altura total del árbol, altura de fuste, altura dominante y edad de las plantaciones. En el análisis de fuste se registró el espesor de los anillos de crecimiento. Se ensayaron distintos modelos de crecimientos para caracterizar la evolución de la altura dominante. En cada parcela se realizó un relevamiento general del sitio y se caracterizó el perfil del suelo en calicatas. Para ello se evaluaron variables edáficas y fisiográficas. Entre las variables edáficas, se realizaron análisis de pH, conductividad eléctrica, cationes solubles (Sodio, Calcio, Magnesio), relación adsorción sodio, densidad aparente, porosidad de la capa arable, textura, humedad del suelo y presencia de carbonatos. Entre los factores fisiográficos relevados estuvieron la pendiente, el drenaje, la permeabilidad y el relieve o posición fisiográfica. El factor relieve relacionado a la posición geomorfológica, se categorizó en plano bajo (áreas deprimidas y generalmente salinizadas), plano alto (áreas de terrazas o albardones) y plano medio (transición entre estas dos categorías). En las mismas parcelas donde se realizaron las mediciones dasométricas se hizo la cosecha de frutos para la evaluación de la calidad de frutos, para ello se cosechó de 2 kg a 3 kg de vainas en condiciones de madurez plena, en el mes de enero (estación estival), provenientes del ciclo 2015 - 2016. Las muestras de vainas fueron secadas a temperatura ambiente,

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano (s) 1912. (4200) Santiago del Estero, Argentina.

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.

<sup>3</sup> Tesista. Ing. Ftal. Tesis presentada como requisito para obtener el grado de Doctor en Ciencias Forestales. Año 2021. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano 1912 (s). 4200 Santiago del Estero. Argentina

etiquetadas y conservadas en frío para su posterior procesamiento. Para la evaluación de la calidad nutritiva se analizó el contenido de humedad, cenizas, lípidos, proteínas, fibras totales e hidratos de carbono, expresados en porcentajes.

Los resultados preliminares indicaron que la evolución de la altura dominante de esta especie en función de la edad se puede definir en tres etapas de crecimiento, una etapa inicial o juvenil del rodal, que se estableció hasta los 8 años, donde hay una marcada aceleración del incremento de la altura dominante, luego una etapa de edades intermedias, entre los 8 a los 15 años donde el incremento disminuye y una etapa final, mayor a 15 años, en la cual el rodal alcanza la altura final.

Para la modelación de las curvas de crecimiento en altura dominante y determinación del Índice de sitio (IS), el patrón de evolución en altura se ajustó con el modelo Gompertz siendo los modelos no lineales mixtos los que han tenido mejores ajustes. La dispersión de los datos de altura - edad reflejó un patrón anamórfico, en función de ello se optó por la construcción de curvas anamórficas a partir del método de la curva guía. En este estudio, según las características de la especie y el comportamiento de los datos, se definió la edad base en 15 años, considerando que a esa edad el potencial del sitio ya se ha expresado y que la misma responde aproximadamente a la mitad del turno. A partir de la curva guía se establecieron 3 clases de calidad de sitio que estiman la capacidad productiva de la especie con la definición de los siguientes rangos de altura dominante: Clase I, correspondiente a una calidad de sitio superior con un rango de  $11,2 \geq IS \geq 9,2$  siendo el Índice de sitio que caracteriza esta clase 10,2, Clase II, correspondiente a una calidad de sitio intermedia con  $9,2 > IS \geq 7,2$  siendo el IS que caracteriza esta clase 8,2, Clase III, que se corresponde con una calidad de sitio pobre con  $7,2 > IS \geq 5,2$  siendo el IS que caracteriza esta clase 6,2.

La calidad de sitio en relación a factores edáficos, demuestra que el crecimiento se ve condicionado negativamente por encima de un umbral salino alterando la productividad. La calidad de sitio I que responde a la clase de mayor crecimiento en altura se corresponde con plantaciones que crecen en suelos con pH básicos a ligeramente alcalinos, baja conductividad eléctrica ( $< 6,3$  ds/m) y reducida concentración de sodio en horizontes superficiales ( $< 21$  meq/l).

Resultados preliminares en la calidad nutritiva de las vainas de *Neltuma alba* en relación a la calidad de sitio indican una variación influenciada por las calidades de sitio más extremas (CI y CIII), básicamente en contenido de azúcares y porcentaje de lípidos.

El crecimiento y la producción son influenciados por la calidad de sitio. Esto indica que los rendimientos en volumen de fuste en árboles individuales varían con la densidad y clase de sitio. Como consecuencia de esto se propone que el manejo silvicultural para *Neltuma alba* se adecue a las calidades de sitio determinadas debiendo restringirse su uso preferentemente a los rangos de altura y edad abarcados en este trabajo.

**Palabras claves:** Índice de Sitio, Algarrobo, Silvicultura.

## ABSTRACT

Forestry has evolved towards more precise schemes at the stand level for which site variables play a fundamental role. This new forestry approach requires a broad base of knowledge that allows understanding the dynamics and productivity of the species. To do this, it is necessary to introduce the concept of site quality, referring to the potential productivity of a site for a particular species. Productivity is a biological concept that has no numerical representation, which is why the Site Index is chosen to be used as an indicator of site quality, a value expressed by the dominant height of a stand at a given age, called base age. The objective of the work was to determine the influence of the site on the growth and quality of fruits of *Neltuma alba* in the province of Santiago del Estero, Argentina, as a contribution of new knowledge that supports silvicultural decision-making.

The study area is located in the Rio Dulce Valley Complex belonging to the semi-arid Chaco Subregion in the Dry Chaco Ecoregion of the Argentine Republic. The specific work area is included within the irrigation area of the Dulce River in the province of Santiago del Estero. In this area, the stands of white carob trees are located in the province that corresponds to the alluvial plain of the Dulce River, Paleo Flood Plain.

The database comes from the measurement of temporary, interval, and permanent plots and growth data from the stem analysis of 13 dominant trees extracted from adult plantations of *Neltuma alba*, which allowed the recording of 100 pairs of height-age data. To evaluate the development of the stands, the variables to be measured were the diameter at breast height, total tree height, stem height, dominant height and age of the plantations. In the stem analysis, the thickness of the growth rings was recorded. Different growth models were tested to characterize the evolution of the dominant height. In each plot, a general survey of the site was carried out and the soil profile in pits was characterized. For this, edaphic and physiographic variables were evaluated. Among the edaphic variables, analyzes of pH, electrical conductivity, soluble cations (Sodium, Calcium, Magnesium), sodium adsorption ratio, density, porosity of the topsoil, texture, soil moisture and presence of carbonates were performed. Among the physiographic factors surveyed were slope, drainage, permeability and relief or physiographic position. The relief factor related to the geomorphological position was categorized into low plane (depressed and generally salinized areas), high plane (areas of terraces or embankments) and medium plane (transition between these two categories). In the same plots where the dasometric measurements were made, the harvest of fruits was made for the evaluation of the quality of the fruits, for which 2 to 3 kg of pods were harvested in conditions of full maturity, in the month of January (summer season), from the 2015-2016 cycle. The pod samples were dried at room temperature labeled and kept cold for later processing. For the evaluation of the nutritional quality, the content of humidity, ashes, lipids, proteins, total fibers and carbohydrates, expressed in percentages, were analyzed.

Preliminary results indicate that the evolution of the dominant height of this species as a function of age can be defined in three growth stages, an initial or juvenile stage of the stand, which was established up to 8 years, where there is a marked acceleration of dominant height increase, then a stage of intermediate ages, between 8 to 15 years where the increase decreases and a final stage, greater than 15 years, in which the stand reaches the final height.

For the modeling of the dominant height growth curves and the determination of the Site Index (SI), the height evolution pattern was adjusted with the Gompertz model, with the mixed nonlinear models having the best fit. The dispersion of the height-age data reflected an anamorphic pattern, based on this, the construction of anamorphic curves from the guide curve method was chosen. In this study, according to the characteristics of the species and the behavior of the data, the base age was defined as 15 years, considering that at that age the potential of the site has already been expressed and that it responds approximately halfway through the shift. . From the guide curve, 3 site quality classes were established that estimate the productive capacity of the species with the definition of the following ranges of dominant height: Class I, corresponding to a higher site quality with a range of  $11.2 \geq IS \geq 9.2$  being the Site Index that characterizes this class 10.2, Class II, corresponding to an intermediate site quality with  $9.2 > IS \geq 7.2$  being the IS that characterizes this class 8.2, Class III, which corresponds to poor site quality with  $7.2 > IS \geq 5.2$ , the IS that characterizes this class being 6.2.

The quality of the site in relation to edaphics factors shows that growth is negatively conditioned above a saline threshold, altering productivity. Site quality I, which corresponds to the class with the highest growth in height, corresponds to plantations that grow in soils with basic to slightly alkaline pH, low electrical conductivity ( $<6.3$  ds/m) and low sodium concentration in superficial horizons. ( $< 21$  meq/l).

Preliminary results on the nutritional quality of *Neltuma alba* in relation to site quality indicate a variation influenced by the most extreme site qualities (CI and CIII), basically in sugar content and lipid percentage.

Growth and production are influenced by site quality. This indicates that yields in volume of stem in individual trees vary with the density and class of site, as a consequence of this it is proposed that the silvicultural management for *Neltuma alba* be adapted to the determined site qualities and its use should preferably be restricted to the ranges of height and age included in this work.

**Key words:** Site Index, algarrobo tree, Forestry.

TESIS DOCTORAL

# Crecimiento del Bosque Chaqueño Semiárido de Jujuy en distintas situaciones estructurales

## *Growth of the Semi-arid Chaco Forest of Jujuy in various structural situations*

Universidad Nacional de Santiago del Estero

Facultad de Ciencias Forestales

Director: Dr. Publio Alejandro Araujo<sup>1</sup>

**Cristian Ariel Humano<sup>2</sup>**

### RESUMEN

El Bosque Chaqueño Semiárido es un ecosistema de valor forestal por la especies componentes en su estructura. Su aprovechamiento forestal fue intenso debido a la creciente demanda de productos madereros favorecido por su relieve plano, la cercanía a centros urbanos, causando una gran fragmentación comprometiendo su biodiversidad. La sustentabilidad de su manejo se basa en el conocimiento del crecimiento y la dinámica poblacional de sus especies; y la proyección en el tiempo la evolución de su dinámica para predecir su manejo. El objetivo planteado en este trabajo fue cuantificar la relación entre el crecimiento de las especies arbóreas y las variables estructurales del bosque para proyectar su evolución y producción. El trabajo se realizó en el Campo Experimental “Dr. Emilio Navea” (24° 21’ 8” S; 65° 11’ 28” O), de la Facultad de Ciencias Agrarias-UNJu. Se instalaron parcelas permanentes, donde se midió el crecimiento de la estructura forestal. La instalación de las parcelas fue en el año 2009 y se remidieron en 3 oportunidades. Los datos de crecimiento muestran que las especies con mayores incrementos son *Anadenanthera colubrina* var *cebil* y *Parapiptadenia excelsa* resultando el tiempo estimado en lograr sus diámetros mínimos de corta (DMC) de 27 y 35 años respectivamente. La regeneración dominante corresponde a *Schinopsis lorentzii*, *A. colubrina*, *P. excelsa* y *Caesalpinia paraguariensis*, además se encontró que los disturbios afectan la distribución espacial de la regeneración. Se estimó que a mayor competencia arbórea disminuye el crecimiento de las especies. La reducción de la densidad del bosque favorece los incrementos diamétricos de los individuos. La proyección del bosque demuestra que un aprovechamiento forestal realizado con las condiciones técnicas y DMC vigentes, no recupera en un período de 20 años el volumen aprovechado.

**Palabras claves:** Bosque Chaqueño Semiárido, crecimiento, estructura.

---

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano (s) 1912. 4200 Santiago del Estero. Argentina. (†)

<sup>2</sup> Tesista. Ing. Agrónomo. Tesis presentada como requisito para obtener el grado de Doctor en Ciencias Forestales. Año 2022. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano 1912 (s). 4200 Santiago del Estero. Argentina

### ABSTRACT

The Chaco Forest is an ecosystem of forest value due to the component species in its structure. Its harvesting was intense due to the growing demand for wood products favored by its flat relief, proximity to urban causing great fragmentation and compromising its biodiversity. The sustainability of its management is based on knowledge of the growth and population dynamics of its species; and the projection in time of its evolution. The objective proposed in this work was to quantify the relationship between the growth of tree species and the structural variables of the forest to project its evolution and production. The work was carried out in the Experimental Field "Dr. Emilio Navea" (24 ° 21' 8" S; 65 ° 11' 28 "W), from the FCA - UNJu. Permanent plots were installed, where individuals larger than 10 cm in DAP were labeled and measured. The installation of the plots was in the year 2009 and they were repeated 3 times. Growth data show that the species with the greatest increases are *Anadenanthera colubrina* var *cebil* and *Parapiptadenia excelsa*. being the estimated time to achieve its minimum cutting diameters (DMC) of 27 and 35 years respectively. The dominant regeneration corresponds to *Schinopsis lorentzii*, *A. colubrina*, *P. excelsa* and *Caesalpinia paraguariensis*, in addition it was found that the disturbances affect the pattern of distribution of the regeneration. It was estimated that tree competition has an impact on species growth. The reduction of the density of the forest favors the diametric increases of the individuals. The projection of the forest demonstrates that a forest exploitation carried out with the current technical conditions and DMC does not recover the volume used in a period of 20 years.

**Keywords:** Chaco Forest, growth, structure.

TESIS DOCTORAL

**Conocimientos y prácticas silvopastoriles en el noreste  
de la provincia de Santiago del Estero, Argentina:  
una aproximación etnobotánica**

*Knowledge and silvopastoral practices in the northeast of the province of  
Santiago del Estero, Argentina: an ethnobotanical approach*

Universidad Nacional de Santiago del Estero

Facultad de Ciencias Forestales

Director: Dr. Julio Alberto Hurrell<sup>1</sup> Codirector: Dr. Hugo Raúl Zerda<sup>2</sup>

**Enrique Roger<sup>3</sup>**

**RESUMEN**

Las relaciones entre las personas y los vegetales de su entorno es el ámbito de estudio de la etnobotánica. Seres humanos y plantas se vinculan a través del conocimiento tradicional, el cual (en Santiago del Estero) no había sido estudiado en un contexto silvopastoril. El objetivo fue analizar el estado de ese conocimiento entre las poblaciones campesinas del noreste de Santiago del Estero, a partir de la identificación, caracterización y valoración de los recursos involucrados en el ámbito silvopastoril (la principal actividad socio - económica local). Previo consentimiento informado se hicieron entrevistas y caminatas etnobotánicas con 55 pobladores (técnica bola de nieve), en los alrededores del Parque Nacional Copo. En estas instancias se analizó el contexto cultural, social y productivo referido a las prácticas silvopastoriles y se fijaron cuatro categorías etnobotánicas para el análisis de los datos (forrajeras, veterinarias, tóxicas y de usos complementarios). Se utilizaron índices etnobotánicos para analizar cada categoría y se creó el índice de valoración silvopastoril para la jerarquización general de las especies. Se presentó información relacionada con las características generales del sistema socio-productivo, relatos, prácticas orientadas por el conocimiento botánico local, las especies vegetales y animales involucradas y las estrategias de manejo en ese contexto cultural. Se analizaron las especies por cada categoría y se identificaron en total 196 especies de plantas asociadas a la actividad silvopastoril (45,5 % de la flora registrada en el sitio). Las especies leñosas estuvieron más ligadas al acervo cultural local. Se discute el valor de la flora en los sistemas silvopastoriles tradicionales. El conocimiento local de la población sobre su entorno vegetal se enmarca en un proceso complejo que guía las estrategias de uso de los recursos vegetales, en relación a su principal actividad socio - económica. Esta información podría ser útil para el diseño de estrategias y planes de manejo sustentables.

**Palabras clave:** Etnobotánica, sistemas silvopastoriles tradicionales, Chaco semiárido.

---

<sup>1</sup> Dr. Ciencias Naturales. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Laboratorio de Etnobotánica y Botánica Aplicada. Calle 64 Nro. 3 entre 119 y 120, (1900) La Plata, Buenos Aires, Argentina

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano (s) 1912. 4200 Santiago del Estero. Argentina.

<sup>3</sup> Tesista. Ing. Ftal. Tesis presentada como requisito para obtener el grado de Doctor en Ciencias Forestales. Año 2022. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano 1912 (s). 4200 Santiago del Estero. Argentina

### ABSTRACT

The relationships between people and the plants of their environment are the field of study of ethnobotany. Humans and plants are linked through traditional knowledge, which (in Santiago del Estero) had not been studied in a silvopastoral context. The objective of this thesis was to analyse the state of this knowledge among the peasant populations of the northeast of Santiago del Estero, from the identification, characterization and valuation of the resources involved in the silvopastoral scope (the main socio-economic activity of the place). With prior informed consent, interviews and ethnobotanical walks were conducted with 55 inhabitants (snowball technique), in the surroundings of Copo National Park. In these instances, the cultural, social and productive context related to silvopastoral practices was analysed and four ethnobotanical categories were established for data analysis (forage, veterinary, toxic and complementary uses). Ethnobotanical indices were used for the analysis in each category and the silvopastoral valuation index was created for general hierarchy of species. Information related to the general characteristics of the socio-productive system, the speeches, the practices guided by local botanical knowledge, the plant and animal species involved, and the management strategies in this cultural context are presented. The species for each category were analysed and a total of 196 plant species associated with the silvopastoral environment were identified (45.5 % of the flora registered at the site). Woody species were more closely linked to the local cultural heritage. The value of local flora in traditional silvopastoral systems is discussed. The local knowledge of the population about their plant environment is part of a complex process that guides the strategies for the use of plant resources, in relation to their main socio-economic activity. This information could be useful for the design of sustainable management strategies and plans.

**Key words:** Ethnobotany, traditional silvopastoral systems, semi-arid Chaco.