

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 2019

Volumen 27 (1,2)

Comité editor interno

Equipo Editor Principal

Dr. Miguel Sarmiento
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.

Asistentes editoriales

Revisión Inglés: *MTEFL Ing. I.A.A. Ramón 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 mediante Resol. 1071/07 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.

Edición

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

Financia



FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
Ing. Néstor René Ledesma



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

REFERENTES

- Dra. Marta Coronel de Renolfi**
Dra. Ing. Montes Esperanza Ayuga-Téllez
Dra. Ana María Cenzano
Dr. Pablo Aceñolaza
Dr. Luis Mario Chauschard
Dra. Pamela Villalba
M. Sc. Ing. Forestal Hugo Fassola
Dr. Carlos Sanquetta
Dr. Alejandro Friedl
M. Sc. Ing. Ftal. Amalia María Lucila Díaz
M. Sc. Ing. Teresa Boca
M. Sc. Ing. Ind. Forestales Estela Pan
Dr. Federico Jorge Letourneau
Dr. Gabriel Loguercio
Dr. Héctor Gonda
Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos
Dr. Nicolás Gañan
Dr. Ignacio Aspiazú
Dr. Ivan Venson
Dr. José Aliqandro Bezerra da Silva
Dr. José Corronca
Dr. Diego Meloni
Dr. José Omar Bava
Dr. Hugo Raul Zerda
Dra. Liliana Diodato
Dr. Julio Arce
Dr. Luis Fornés
Dr. Miguel Sarmiento
Dra. Evangelina González
Dra. Amelia Nancy Giannuzzo
Dr. Néstor Javier Mancera Rodríguez
Dr. Hugo Acosta
Dr. Paulo Ricardo Gherardi Hein
Dr. Publio Araujo
M. Sc. Ing. Forestal M. de los Ángeles García
Dr. Samuel Rivera
Dra. Patricia Hernández
Dr. Walter Abedini
Dr. Pablo Peri
Dra. Ana Haide Ladio
Dra. Ana Lilian Echevarría
Dra. Ana María Planchuelo
Dr. Osvaldo Encinas
Dra. Jacqueline Joseau
M. Sc. Adriana Gómez
Dra. Luciana Elizalde
Dra. María Elena Gauchat
Dra. Mariana Basualdo
Dra. Liliani Tiepolo
Dra. Miryan Ayala
Dra. Mónica Balzarini
Dra. Néilda Carnevale
Dra. Nilda Dora Vignale
Dr. Carlos Alberto Martínez,
Dra. Paulina Mocchutti
Dr. Oscar Alberto Aguirre-Calderón
Dra. Renita Betero Corréa Frigeri
Dra. Sandra Bravo
Mg. Manuel Palacio
Dra. Sandra Sharry
Dra. Silvia Aguilar Rodríguez
Dra. Stella Bogino
Dra. Lcda. Ecología Carla Rueda
Dr. Javier Grosfeld
M. Sc. Alicia Bohren
Dra. Lcda. Ecología María Eugenia Figueroa
Dr. Mauricio Ponce Donoso
Dra. Gabriela Cardona
M. Sc. Claudia Alzugary
M. Sc. Diego López Lauenstein
M. Sc. Eugenia Toselli
M. Sc. Ing. Forestal Sergio Ramos
M. Sc. Juan Adolfo López
M. Sc. Mariano Agustín Hernández
Dr. José Antonio Díaz Zirpolo
M. Sc. Patricia Rocha
M. Sc. Verónica Parra
Dra. Silvana Nisgoski
Ph.D. Olga Patricia Pinzón
- Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero
Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Madrid, España
Centro Nacional Patagónico (CENPAT) – CONICET. Chubut
CICyTTP-CONICET, FCA. Universidad Nacional de Entre Ríos
AUSMA, Universidad Nacional del Comahue, Neuquen
Instituto de Biotecnología, CICVyA - INTA, Hurlingham, Buenos Aires
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) E.E.A.-Montecarlo, Misiones
Universidad Federal de Paraná (UFPR). Curitiba. Brasil
Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Misiones
Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Misiones
Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (FAUBA), Buenos Aires
Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero
INTA - Bariloche. Campo anexo San Martín. El Bolsón. Chubut
CIEFAP y UNPSJB. Esquel. Chubut.
Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Esquel. Chubut
Universidade Federal do Paraná (UFPR-Br), Curitiba, Brasil
Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. Bs. As. Universidad Nacional de Córdoba
Universidade Estadual de Montes Claros. Janaúba. Brasil
Universidade Federal do Paraná. Curitiba. Brasil
Universidade Federal do Vale do São Francisco. Juazeiro. Brasil
Universidad Nacional de Salta
Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Universidad Nacional de Santiago del Estero
CIEFAP. Esquel. Chubut
Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero
Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero
Universidad Federal de Paraná (UFPR). Curitiba Brasil
INTA EEA – Famaillá. Tucumán
Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero
Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero
Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero
Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín, Colombia
Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero
Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil
Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero
EEA-Concordia, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Concordia, Entre Ríos
Utah State University. Logan. Utah. Estados Unidos
Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero
Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata
Universidad Nacional de la Patagonia Austral. CONICET, Santa Cruz
INIBIOMA / CONICET. Universidad Nacional del Comahue. Neuquen.
Fundación Miguel Lillo. Tucumán
Universidad Nacional de Córdoba
Universidad de Los Andes. Mérida. Venezuela
Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Córdoba
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Santiago del Estero
Universidad Nacional de Comahue. Neuquen
INTA EEA - Montecarlo. Misiones
Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires
Universidade Federal do Paraná - Setor Litoral - Matinhos PR. Brasil
INTA EEA - Formosa
Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba
Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Rosario
Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Jujuy
Universidade Federal de Sao Paulo, Brasil
Facultad de Ingeniería Química. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe
Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León, México
Universidad Federal de Rondonia. Brasil
Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero
Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero
Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata
Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba
Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero
Patagonia Norte. CONICET. Universidad Nacional del Comahue. Bariloche. Río Negro
Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Misiones
Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero
Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Talca, Talca, Chile
Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero
Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Rosario
Instituto Fisiología y Recursos Genéticos Vegetales. INTA Córdoba
Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Universidad Nacional de Santiago del Estero
EEA-Concordia, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Concordia, Entre Ríos
INTA EEA - Bella Vista. Corrientes
INTA EEA - Bella Vista. Corrientes
Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero
Facultad de Ciencias Forestales Universidad Nacional de Misiones
Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero
Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil
Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá. Colombia

Editorial

El año 2019 es el Año Internacional de las Lenguas Indígenas proclamado por la Asamblea de las Naciones Unidas (ONU). Esta proclamación tiene como propósito sensibilizar a la sociedad en general para que reconozca, aprecie y valore la importante contribución que los idiomas originarios hacen a la diversidad cultural y lingüística mundial.

La ONU establece también, como un componente esencial para el desarrollo sostenible, el derecho de los pueblos indígenas a expresarse en sus lenguas. Sin duda las lenguas indígenas están asociadas al vasto conocimiento que poseen estos pueblos sobre sus recursos naturales, incluyendo suelos, plantas, animales, paisajes, su aprovechamiento y procesos de cambio en espacio y tiempo. A esto se le debe agregar los saberes en general y la cultura que los pueblos originarios o indígenas poseen acerca de los bosques relacionado a actividades religiosas o folclóricas. La importancia de estos conocimientos está basada en su intrínseca relación con la cultura, la lengua y los sistemas de producción al nivel local, y en la capacidad de sobrevivencia y adaptación que les han permitido a las comunidades rurales permanecer durante siglos o incluso milenios.

El Foro Permanente de las Naciones Unidas para las Cuestiones Indígenas, en 2016, alertó que el 40 por ciento de las siete mil lenguas indígenas que se hablan en el mundo están en riesgo de desaparecer. Es por eso que la ONU actúa ante la necesidad apremiante de conservarlas, revitalizarlas, promoverlas y desarrollarlas a nivel mundial. De los siete mil idiomas existentes, la mayoría han sido creados y son hablados por pueblos indígenas que representan la mayor parte de la diversidad cultural del mundo. Esa diversidad cultural está asociada también a la diversidad biológica relacionada a los pueblos indígenas, quienes son desde tiempos inmemoriales férreos custodios de la misma. A través de la lengua, las personas preservan la historia, las costumbres y tradiciones de su comunidad, la memoria, los modos únicos de pensamiento, significado y expresión.

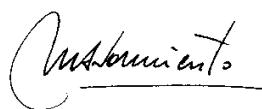
Los saberes populares de los pueblos acerca de acervo tradicional del uso de los bosques están guardados en las lenguas nativas. Por ello el idioma es fundamental en los ámbitos de la protección de los derechos humanos, la buena gobernanza, la consolidación de la paz, la reconciliación y el desarrollo sostenible basado en el uso razonable de los recursos naturales. Trabajos científicos recientes aseguran que los bosques y recursos silvestres son indispensables para la provisión de bienes y servicios ecosistémicos. Durante siglos, las comunidades indígenas han confiado en su conocimiento local para conservar sus entornos. En este contexto la lengua indígena es clave ya que, a través del aprendizaje de experiencias de generaciones en generaciones, imitaciones y observaciones, la población rural moderna ha desarrollado un conjunto de conocimientos sobre la conservación de los bosques y la vida silvestre. En ese sentido, algunas prácticas de conservación de los recursos naturales basadas en el conocimiento indígena y en sus lenguas continúan manteniendo los medios de vida rurales sin poner en peligro la biodiversidad, la integridad morfológica y funcional de los bosques y sus sistemas ecológicos asociados. La Plataforma Intergubernamental Científico-normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES) ha estado proporcionando a responsables de la formulación de políticas las prácticas y conocimientos indígenas relevantes para la conservación de la biodiversidad. La lengua es un eje que contribuye a construir y fortalecer las autonomías y las identidades de los pueblos indígenas, así como el capital intelectual para el desarrollo cultural y científico. La pérdida de una lengua tendría un

impacto negativo en las culturas indígenas afectadas. El término conocimiento indígena se entiende generalmente como conocimiento local o tradicional que se adquiere durante un largo período de tiempo para guiar las interacciones humanas con su entorno. Es por eso que conservar las lenguas indígenas es conservar el conocimiento indígena del manejo (aprovechamiento y conservación) de los bosques y de esta manera se conservarán los ecosistemas, el capital natural en general, sus servicios ecosistémicos y contribuciones de la naturaleza a la sociedad.

Nuestra Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Santiago del Estero y la Revista Quebracho, con su misión de dar a conocer los resultados de investigaciones en temáticas forestales, también juegan un papel importante en la preservación de los conocimientos actuales, pero en el lenguaje científico. Ese lenguaje científico forma parte del idioma actual global que la ciencia utiliza para dar a conocer sus avances a la sociedad.

La formulación, desarrollo y ejecución de proyectos de Investigación financiados por el sistema de Ciencia y Técnica de la UNSE son la fuente de generación de resultados de investigaciones locales en el campo forestal, industrial, ambiental y social. A estos se suman los de otras instituciones de gestión, investigación y extensión que también aportan resultados a otros canales de difusión a la sociedad. Esos resultados son, luego, articulados con otros, obtenidos por investigadores de otras instituciones, generando sinergias que terminan plasmadas en artículos que se dan a conocer a la sociedad científica y a la común.

Por lo tanto, la existencia y utilización de las lenguas indígenas y científica, en todas sus formas, asegura la preservación de los conocimientos en el tiempo. La Revista Quebracho tiene un papel importante en esta acción y trata de mejorar cada vez más.



Dr. Miguel Sarmiento
Equipo Editor
Revista Quebracho
Santiago del Estero, diciembre de 2019

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
Web site: <http://fcf.unse.edu.ar/index.php/quebracho-revista-de-ciencias-forestales/>
Tiraje: 300 ejemplares EJEMPLARES PARA CANJE.

TRABAJO CIENTÍFICO

La deriva de glifosato inhibe la fotosíntesis y produce estrés oxidativo en *Eucalyptus camaldulensis*

Glyphosate drift inhibes photosynthesis and produces oxidative stress to Eucalyptus camaldulensis

Meloni, D. A.¹; G. Targa¹; A. Fraño¹; R. Ledesma^{1,2}; M. C. Silva² y E. A. Catán¹

Recibido en marzo de 2019; aceptado en septiembre de 2019

RESUMEN

El desarrollo de plantaciones de *Eucalyptus camaldulensis* tiene un gran potencial en el noroeste argentino, ya que puede producir madera con características físicas y mecánicas adecuadas para su uso industrial. El manejo de las plantaciones forestales requiere del uso de herbicidas, siendo el glifosato el más frecuente. Este trabajo tuvo como objetivo poner a prueba la hipótesis que la deriva de glifosato inhibe la fotosíntesis, y produce estrés oxidativo en hojas de *E. camaldulensis*. Se realizaron ensayos en invernáculo, con plantines *E. camaldulensis* de un año de edad. Se aplicaron dos dosis de herbicida: 3 y 6 L de glifosato ha⁻¹, y un testigo sin tratar. Diez días después de la aplicación del herbicida, se realizaron mediciones de emisión de fluorescencia modulada e intercambio gaseoso, y se cuantificó la concentración de malondialdehído (MDA), y las actividades de las enzimas superóxido dismutasa (SOD), y peroxidadas (POD). Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado, con 10 repeticiones, y los resultados se analizaron con ANOVA y Test de Fisher. Ambas dosis de glifosato disminuyeron el número de centros de reacción activos, e incrementaron la disipación de energía como calor; la mayor dosis produjo fotoinhibición. Hubo una disminución en la tasa fotosintética; como consecuencia de la inhibición en la etapa fotoquímica, y por cierre estomático. El herbicida produjo peroxidación de lípidos, pese a incremento en las actividades SOD y POD. Se confirmó la hipótesis propuesta.

Palabras clave: eucalipto rojo, fluorescencia modulada, intercambio gaseoso, herbicidas.

ABSTRACT

Developing plantations of *Eucalyptus camaldulensis* has high potential in north-west Argentina since wood of physical and mechanical features appropriated for industrial use can be obtained. Managing forest plantations demands using herbicides, being glyphosate the most frequently employed. This work aimed to test the hypothesis that glyphosate drift inhibes photosynthesis and produces oxidative stress to *E. camaldulensis*. Tests were carried out in a greenhouse by applying doses of 3 and 6 L ha⁻¹ of glyphosate on one-year old *E. camaldulensis* seedlings and a control left untreated. Ten days later, the emissions of modulated fluorescence and gas exchange were measured, and the concentration of malondialdehyde (MDA) besides the activities superoxide dismutase (SOD) and peroxidase (POD) were quantified. A 10-replicate completely randomized experimental design was utilized and the results analyzed using ANOVA and the Fisher's Test. Both doses of glyphosate lowered the number of centers of reaction active and increased energy dissipation as heat; the highest dose brought about photoinhibition. A decrease of the photosynthetic rate occurred due to the inhibition of the photochemical stage and stomate closure. The herbicide caused lipid peroxidation despite the increase of the SOD and POD activities. The hypothesis was confirmed.

Key words: red eucalyptus, modulated fluorescence, gas exchange, herbicides.

¹ Universidad Nacional de Santiago del Estero, Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Av. Belgrano (S) 1912, 4200 Santiago del Estero, Argentina. E-mail: dmeloniunse@gmail.com

² Universidad Nacional de Santiago del Estero, Facultad de Ciencias Forestales, Av. Belgrano (S) 1912, 4200 Santiago del Estero, Argentina

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de plantaciones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. (“eucalipto rojo”) tiene un gran potencial en el noroeste argentino, ya que puede producir madera con características físicas y mecánicas adecuadas para su uso industrial. Esta especie posee una gran plasticidad, y es muy tolerante al estrés hídrico (Moglia *et al.*, 2008).

El control de malezas es una de las prácticas silvícolas más importantes en viveros y plantaciones forestales. Se realiza mediante métodos mecánicos, químicos, o la combinación de ambos. El uso de herbicidas es una práctica común, siendo el glifosato el herbicida más utilizado en viveros y plantaciones de *Eucalyptus* (Tuffi Santos *et al.*, 2009). Sin embargo el uso de glifosato a lo largo del ciclo de desarrollo del *Eucalyptus* puede ser perjudicial para el propio cultivo, debido a las derivas accidentales que se producen durante las aplicaciones manuales o mecanizadas (Velini *et al.*, 2010; Costa *et al.*, 2012).

El glifosato actúa inhibiendo la enzima 5-enolpiruvil-shikimato-3-fosfato sintasa (EPSPS), responsable de la síntesis del corismato, un intermediario en la ruta del ácido shikímico, que conduce a la síntesis de aminoácidos aromáticos (Alcántara de la Cruz *et al.*, 2016). Pese a que se conoce el mecanismo de acción del glifosato; existen pocas referencias sobre el impacto de este herbicida en la fisiología de especies forestales.

Los herbicidas pueden disminuir la tasa fotosintética, y por ende la síntesis de carbohidratos (Powles y Yu, 2010;). El análisis de la fluorescencia de la clorofila *a*, constituye un método sensible y no destructivo para la evaluación de los cambios producidos en la etapa fotoquímica de la fotosíntesis. Recientemente ha sido utilizado para evaluar el grado de daño del aparato fotosintético, bajo diferentes condiciones de estreses ambientales, tales como temperaturas extremas (Zushi *et al.*, 2012), sequía (Gomes *et al.*, 2012), salinidad (Meloni *et al.*, 2017) y herbicidas (Sousa *et al.*, 2014).

Bajo condiciones de estrés, la energía absorbida por los pigmentos fotosintéticos, que no es utilizada para producir ATP y NADPH, suele conducir a la formación de especies reactivas de oxígeno, EROs (Sousa *et al.*, 2014). Las EROs pueden producir peroxidación de lípidos, alteraciones en las membranas celulares, y degradación de proteínas y clorofilas (Paiva *et al.*, 2019).

Las células vegetales están protegidas de las EROs por un sistema antioxidante, que incluye componentes enzimáticos y no enzimáticos (Meloni *et al.*, 2010). Las especies vegetales más tolerantes a estreses abióticos poseen una mayor concentración de antioxidantes, y enzimas involucradas en las rutas metabólicas de detoxificación de especies reactivas de oxígeno (Naliwajski y Skłodowska, 2014).

Este trabajo tuvo como objetivo poner a prueba la hipótesis que la deriva de glifosato inhibe la fotosíntesis, y produce estrés oxidativo en hojas de *E. camaldulensis*.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal: se realizaron ensayos con plantines *Eucalyptus camaldulensis* de un año de edad, crecidos en macetas plásticas, conteniendo suelo franco, y fertilizadas con N-P-K (20:5:20). Las macetas se dispusieron en invernáculo, recibiendo irrigación manual diaria, para asegurar adecuada disponibilidad de agua.

Se aplicaron dos dosis de herbicida: 3 y 6 L de glifosato ha⁻¹ (Roundup®, sal isopropanilamina al 48 % p/v) utilizando un pulverizador manual, y un testigo sin tratar. Durante la aplicación del herbicida, la temperatura fue de 18 °C, y la humedad relativa del 45 %. Diez días después de la

aplicación del herbicida, se realizaron mediciones de emisión de fluorescencia modulada e intercambio gaseoso y se tomaron muestras para la realización de determinaciones químicas.

Fotosíntesis: la emisión de fluorescencia modulada se midió mediante el uso de un fluorómetro portátil (Walz GmbH Eichenring, 691090 Effeltrich, Germany). Los valores de las variables quenching fotoquímico (qP), quenching no fotoquímico (NPQ), y relación fluorescencia variable/fluorescencia máxima (F_v/F_m), se calcularon de acuerdo a Maxwell y Johnson (2000).

Las mediciones de intercambio gaseoso y asimilación neta de CO_2 , se realizaron en las mismas hojas en las que se midieron las variables de fluorescencia. Para ello se utilizó un analizador de gases infrarrojo en un sistema abierto (IRGA-LCpro⁺ System ADC, BioScientific Ltd.), con cámara para hojas de *Arabidopsis*, en condiciones de luz artificial saturante ($1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y concentración de CO_2 ambiental. Se midieron las siguientes variables: fotosíntesis neta (A), transpiración (E), conductancia estomática (g_s), y concentración intercelular de CO_2 (C_i). A partir de estas variables se calculó la eficiencia de la carboxilación (A/C_i) y eficiencia en el uso del agua (A/E). Se realizaron 10 mediciones en cada hoja.

Determinaciones químicas: se cuantificó el impacto de la aplicación de glifosato sobre el estrés oxidativo, mediante la determinación de la concentración de malondialdehído (Hendry *et al.*, 1993). Se determinaron las actividades de las enzimas superóxido dismutasa (SOD) y peroxidasas, a través de los métodos descritos por Giannopolitis y Ries (1977) y Maehly y Chance (1954), respectivamente.

Análisis estadístico y diseño experimental: se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado, con 10 repeticiones, y los resultados se analizaron con ANOVA y Test de Fisher (Fisher $p < 0,05$).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El glifosato produjo una disminución en el quenching fotoquímico, y un aumento en quenching no fotoquímico, respectivamente (Figura 1 A, B). La respuesta al glifosato fue más acentuada en el quenching no fotoquímico que en el quenching fotoquímico, coincidiendo con lo observado en otras especies sometidas a estreses ambientales. Frankart *et al.* (2003) sugieren que el quenching no fotoquímico es el marcador biológico más apropiado para detectar daños por herbicidas tanto a campo como en laboratorio. Estos resultados indican que el glifosato disminuyó la proporción de centros de reacción activos en el fotosistema II, e incrementó la pérdida de energía absorbida a través de su disipación como calor.

Mientras 3 L ha^{-1} de glifosato no afectaron la relación F_v/F_m , 6 L ha^{-1} produjeron una disminución significativa en dicha relación (Figura 1C). Este resultado indica que altas dosis de glifosato producen fotoinhibición, o sea daños en las proteínas D_1 y D_2 del fotosistema II (Tounekti *et al.*, 2018).

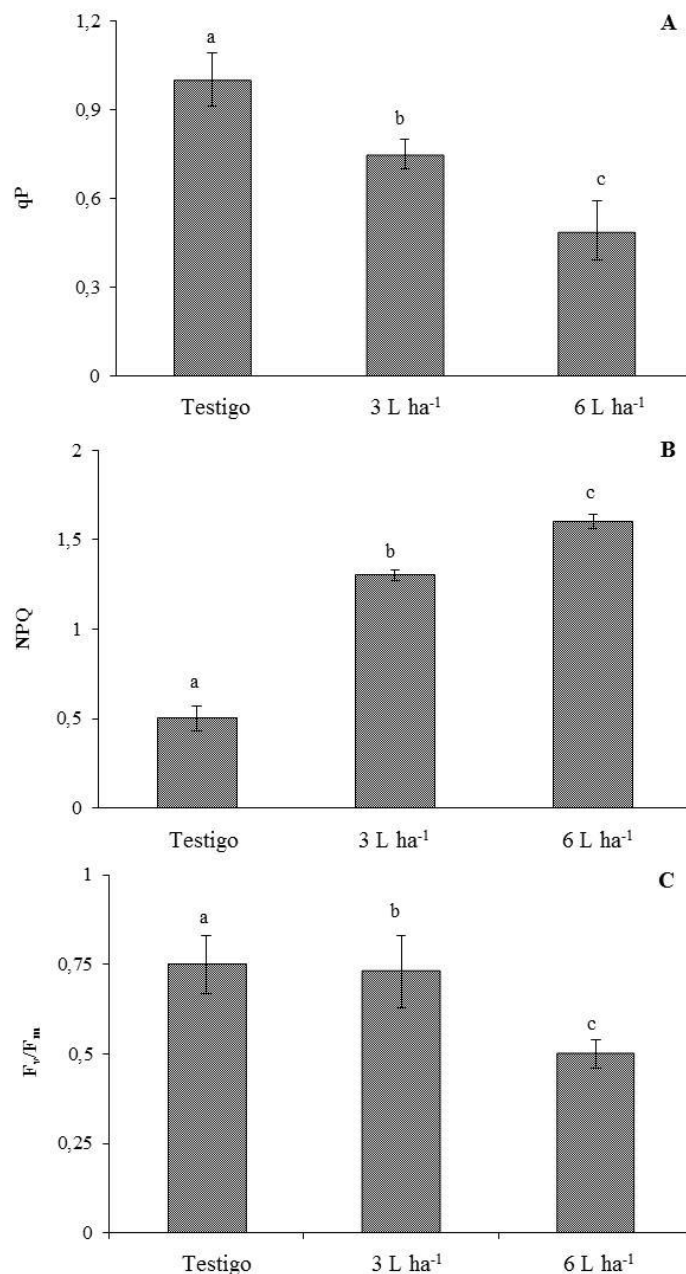


Figura 1. Variables de fluorescencia modulada en hojas de *E. camaldulensis* tratadas agua destilada (testigo), o dosis de 3 y 6 L ha⁻¹ de glifosato. qP: quenching fotoquímico (A), NPQ: quenching no fotoquímico (B), F_v/F_m: relación fluorescencia variable, fluorescencia máxima (C). Letras diferentes indican diferencias significativas por el Test de Fisher ($p < 0,05$).

La relación F_v/F_m solo manifiesta alteraciones en casos de estrés severo, y su disminución en los de plantines de *E. camaldulensis* coincidió con la aparición de necrosis pronunciada en la mayoría de las hojas. El estrés generado por el glifosato en *E. camaldulensis* fue más severo que el producido por Bentazona en soja, donde no se detectaron cambios en la relación F_v/F_m pese a que se registró una inhibición en la etapa fotoquímica de la fotosíntesis (Sousa *et al.*, 2014).

Ambas dosis de glifosato produjeron una disminución significativa en la fotosíntesis neta, siendo el efecto más notorio en el tratamiento de 6 L de glifosato ha⁻¹ (Tabla 1). Esta tendencia coincidió con una disminución en la conductancia estomática, la tasa transpiratoria, y la eficiencia en el uso

del agua (A/E). Pese a ello, la dosis de 3 L de glifosato ha⁻¹, no afectó la concentración intercelular de CO₂, lo que indica que en dicha dosis la fotosíntesis no estuvo limitada por el CO₂. Concordando con este resultado se observó una disminución en la eficiencia de la carboxilación en todos los tratamientos con herbicidas.

Tabla 1. Fotosíntesis neta (A, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), conductancia estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiración (E, $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentración intercelular de CO₂ (C_i $\mu\text{mol mol}^{-1}$), eficiencia en el uso del agua (A/E, $\mu\text{mol mmol}^{-1}$) y eficiencia en la carboxilación (A/ C_i , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$) en plantines de *E. camaldulensis* tratados con dosis crecientes de glifosato ¹

Tratamiento	A	g_s	E	C_i	A/E	A/ C_i
Control	19,2 a	0,6 a	2,4 a	140,3 a	8,0 a	0,13 a
3 L ha ⁻¹	12,1 b	0,4 b	1,9 b	152,1 a	6,9 b	0,08 b
6 g L ha ⁻¹	5,3 c	0,2 c	1,3 c	85,5 b	4,1 c	0,06 c

¹Para cada variable, letras diferentes indican diferencias significativas por el test de Fisher al 5%.

Machado *et al.* (2010) obtuvieron resultados similares, estudiando el efecto de la aplicación de glifosato sobre variables de intercambio gaseoso, en clones de *Eucalyptus grandis*. Estos autores determinaron que el glifosato no inhibió la fotosíntesis de *E. grandis*, luego de 7 días de aplicación. Sin embargo, al cabo de 21 días de aplicación del herbicida, todas las dosis ensayadas inhibieron la fotosíntesis neta, como consecuencia de una disminución en la conductancia estomática.

Los resultados obtenidos sugieren que la inhibición de la fotosíntesis a 3 L de glifosato ha⁻¹ se debió a una inhibición en la etapa fotoquímica, como demuestran las variables de fluorescencia de la clorofila. En la dosis de 6 g de glifosato ha⁻¹, la fotosíntesis fue inhibida tanto en la etapa fotoquímica, como en a nivel estomático con una concomitante disminución en la concentración interna de CO₂.

Radwan y Fayez (2016) obtuvieron resultados similares en plantas de en *Arachis hypogaea* tratadas con 360 y 720 g de glifosato ha⁻¹, y atribuyeron la disminución en la tasa fotosintética a una menor disponibilidad de ATP y NADPH, provenientes de la etapa fotoquímica. Yanniccari *et al.* (2012) reportaron que en *Lolium perenne*, el glifosato produjo como primera respuesta cierre estomático, y luego alteraciones en las variables de emisión de fluorescencia.

Los resultados obtenidos difieren con los observados en *Phaseolus vulgaris*. En dicha especie el glifosato produjo una inhibición de la fotosíntesis, como consecuencia del cierre estomático, mientras que la etapa fotoquímica no fue alterada (Olesen y Cedergreen, 2010). Dichos autores cuestionan el uso de variables de fluorescencia como marcador de estrés por herbicidas, y sugieren utilizar variables de intercambio gaseoso.

Ambas dosis de glifosato ocasionaron incrementos en la concentración de malondialdehído, producto de la peroxidación de lípidos (Figura 2A). Esto indica que el glifosato produjo un importante estrés oxidativo en hojas. Ahsan *et al.*, (2008) observaron una respuesta similar en hojas de *Oryza sativa* tratadas con glifosato, con una importante producción de H₂O₂, resultando en peroxidación de lípidos.

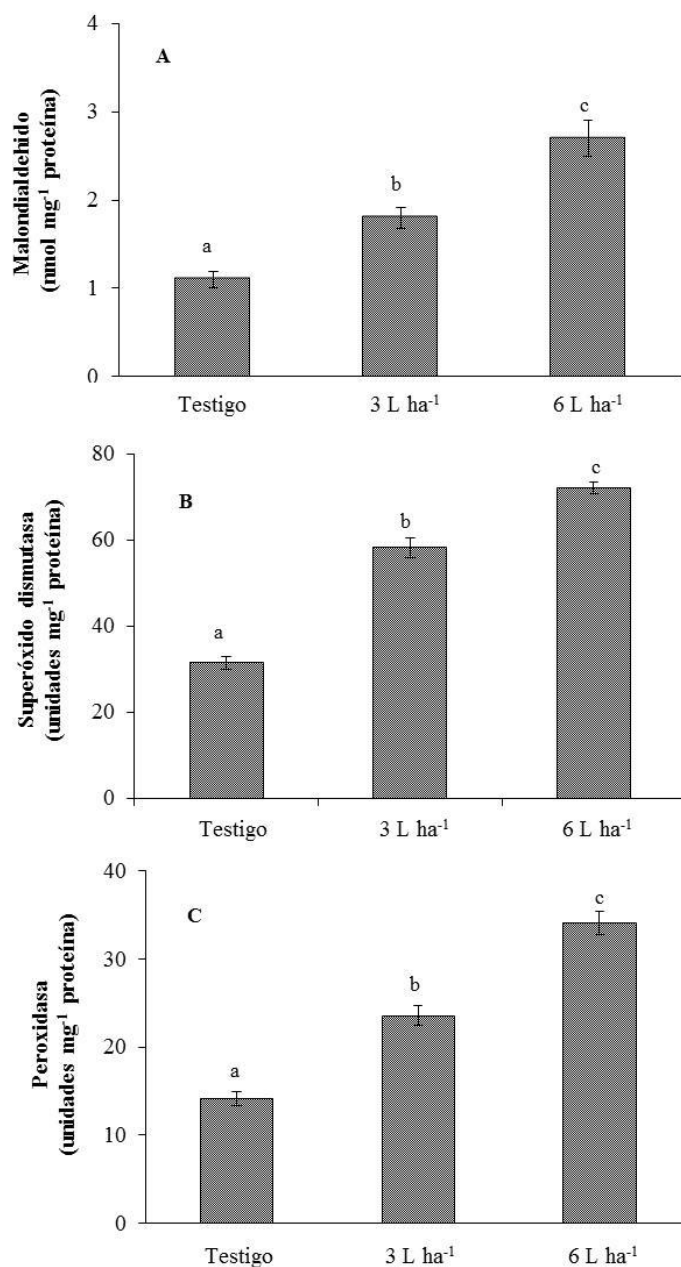


Figura 2. Concentración malondialdehído (A), y actividades superóxido dismutasa (B), y peroxidasa (C), en hojas de *E. camaldulensis* tratadas agua destilada (testigo), o dosis de 3 y 6 L ha⁻¹ de glifosato. Letras diferentes indican diferencias significativas por el Test de Fisher ($p < 0,05$).

Radwan y Fayez (2016) también observaron acumulación de malondialdehído, e incremento en las actividades de SOD y POD en hojas de *Arachis hypogaea* tratadas con glifosato. Song *et al.* (2007) reportaron un incremento de la actividad POD en plantas de trigo tratadas con clorotoluron, y propusieron su uso como marcador en plantas sometidas a contaminantes.

4. CONCLUSIONES

La deriva de glifosato inhibe la fotosíntesis en *E. camaldulensis*, a nivel de la etapa fotoquímica, y por cierre estomático. También produce estrés oxidativo, pese a que incrementa la actividad de las enzimas antioxidantes SOD y POD.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahsan, N.; D. G. Lee.; K. W. Lee; I. Alam; S. H. Lee; J. D. Bahk y B. H. Lee. 2008. Glyphosate-induced oxidative stress in rice leaves revealed by proteomic approach. *Plant Physiology and Biochemistry* 46: 1062-1070.
- Alcántara de la Cruz, R.; F. Barro y J. A. Domínguez Valenzuela. 2016. Physiological, morphological and biochemical studies of glyphosate tolerance in Mexican Cologania (*Cologania broussonetii* (Balb.) DC.). *Plant Physiology and Biochemistry* 98: 72-80.
- Costa, P. R.; A. C. Costa; N. Vilanova; R. M. R. Pereira y D. Martins. 2012. Efeito da deriva simulada de glyphosate em diferentes partes da planta de *Eucalyptus grandis*. *Ciências Agrárias* 33: 1663-1672.
- Frankart, C; P. Eullaffroy y G. Vernet. 2003. Comparative effects of four herbicides on non-photochemical fluorescence quenching in *Lemna minor*. *Environmental and Experimental Botany* 49:159-168
- Giannopolitis, N. y S. K. Ries. 1977. Superoxide dismutase. I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology* 59: 309-314.
- Gomes, M. T.G.; A. C. Luz; M. R. Dos Santos; M. C. P. Batitucci; D. M. Silva y A. R. Falqueto. 2012. Drought tolerance of passion fruit plants assessed by the OJIP chlorophyll *a* fluorescence transient. *Scientia Horticulturae* 142: 49-56.
- Hendry, G. A. F.; P. C. Thorpe y M. N. Merzlyak. 1993. Stress indicators- lipid peroxidation. In: G.A.F. Hendry, J.P. Grime (Eds.), *Methods in Comparative Plant Ecology*, Chapman and Hall, London, pp. 154-156.
- Maehly, P. C. y M. Chance. 1954. The assay of catalase and peroxidases. In: Gluck, D. (ed.) *Methods of Biochemical Analysis* pp. 357-424. Interscience Publishers, New York.
- Machado, A. F. L.; L. R. Ferreira; L. D. T. Santos; F. A. Ferreira; R. G. Viana; M. S. Machado y F. C. L. Freitas 2010. Eficiência fotossintética e uso da água em plantas de eucalipto pulverizadas com glifosato. *Planta Daninha* 28: 319-327.
- Maxwell, K. y G. N. Johnson. 2000. Chlorophyll fluorescence practical guide. *Journal of Experimental Botany* 51: 659-668.
- Meloni, D. A.; L. Fornés.; M. R. Gulotta y D. Moura Silva. 2010. Tolerancia de *Cedrela lilloi* a bajas temperaturas: cambios metabólicos. *Revista de Ciencias Forestales Quebracho* 18: 16-23.
- Meloni, D. A. 2017. *Fisiología Vegetal: Respuestas de especies leñosas al estrés salino*. Editorial Universidad Nacional de Santiago del Estero.
- Meloni, D. A.; D. M. Silva; R. Ledesma y G. I. Bolzón. 2017. Nutrición mineral y fotosíntesis en plántulas de algarrobo blanco, *Prosopis alba* (Fabaceae) bajo estrés salino. *UNED Research Journal* 9: 297-304.
- Moglia, J. G.; S. Bravo y R. Gerez. 2008. Anatomía comparada del leño de *Eucalyptus camaldulensis* (Myrtaceae) de dos orígenes, ensayados en Santiago del Estero. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 43: 239-246.
- Naliwajski, M. R. y M. Skłodowska. 2014. The oxidative stress and antioxidant systems in cucumber cells during acclimation to salinity. *Biologia Plantarum* 58: 47-54.
- Olesen, C. F. y N. Cedergreen 2010. Glyphosate uncouples gas exchange and chlorophyll fluorescence. *Pest Management Science* 66: 536-542.

- Paiva, A. L.; G. Passaia; A. K. M. Lobos; D. J. Messeder; J. A. G. Silveira y M. M. Pinheiro. 2019. Mitochondrial glutathione peroxidase (OsGPX3) has a crucial role in rice protection against salt stress. *Environmental and Experimental Botany* 158: 12-21.
- Powles, S. B. y Q. Yu. 2010. Evolution in action: plants resistant to herbicides. *Annual Review of Plant Biology* 61: 317-347.
- Radwan, D. E. M. y K. A. Fayez 2016. Photosynthesis, antioxidant status and gas-exchange are altered by glyphosate application in peanut leaves. *Photosynthetica* 54: 307-316.
- Song, N. H.; X. LeYin; G.F. Chen y H. Yang. 2007. Biological responses of wheat (*Triticum aestivum*) plants to herbicide chlorotoluron in soils. *Chemosphere* 68, 1779-1787.
- Sousa, C. P.; M. E. Farías; A. A. Shock y M. A. Bacarin. 2014. Photosynthesis of soybean under the action of a photosystem II-inhibiting herbicide. *Acta Physiologiae Plantarum* 36: 3051-3062.
- Tounekti, T; M. Mahdhi.; T. A. Al-Turki y H. Khemira. 2018. Water relations and photo-protection mechanisms during drought stress in four coffee (*Coffea arabica*) cultivars from southwestern Saudi Arabia. *South African Journal of Botany* 117: 17-25.
- Tuffi Santos, L. D.; B. F. Santanna-Santos; R. M. S. A Meira; F. A. Ferreira, R. A. S. Tiburcio y A. F. L. Machado. 2009. Leaf anatomy and morphometry in three eucalyt clones treated with glyphosate”. *Brazilian Journal of Biology* 69: 129-136.
- Velini, E. D.; L. B. Trindade; L. R. M. Barberis y F. Duke 2010 Growth regulation and other secondary effects of herbicides. *Weed Science* 58: 351-354.
- Yannicari, M.; E. Tambussi; C. Istilart y A.M. Castro. 2012. Glyphosate effects on gas exchange and chlorophyll fluorescence responses of two *Lolium perenne* L. biotypes with differential herbicide sensitivity. *Plant Physiology and Biochemistry* 57: 210-217.
- Zushi, K.; S. Kajiwaru y M. Naotaka. 2012. Chlorophyll *a* fluorescence OJIP transient as a tool to characterize and evaluate response to heat and chilling stress in tomato leaf and fruit”. *Scientia Horticulturae* 148: 39-46.



TRABAJO CIENTÍFICO

Evaluación de la fórmula que determina el valor monetario del arbolado urbano en Montevideo, Uruguay

Testing the formula for determining the monetary value of urban trees in Montevideo, Uruguay

Alonso M.¹; C. Morales¹; O. Vallejos-Barra²; G. Jolochin¹ y M. Ponce-Donoso²

Recibido en enero de 2019; aceptado en noviembre de 2019

RESUMEN

La valoración monetaria del arbolado urbano es un campo de estudio a nivel mundial, donde se intenta resolver la problemática del justo valor. Montevideo no es ajeno a este desafío, siendo necesario comparar diferentes fórmulas y métodos de valoración existentes con la utilizada por su Intendencia. Se eligieron diez fórmulas para esta evaluación, métodos Helliwell, Estandar Tree Evaluation Method (STEM), Italiano, Francés, Council Tree Landscape Appraisal (CTLA), Norma Granada, Intendencia de Montevideo (IM), Valoración Monetaria del Árbol Urbano (VaMA), Suizo y Burnley, tasándose 31 árboles de 18 especies, trabajo realizado por dos evaluadoras. A partir de las 620 valoraciones, se analizó las fuentes de variación: fórmulas y evaluadoras. Se comprobó que no hubo diferencias significativas entre las evaluadoras, pero sí entre las fórmulas, organizándose en cuatro grupos. En el grupo A, las fórmulas N. Granada, CTLA, M. Suizo, M. Italiano y Helliwell, presentaron los valores más bajos. En el grupo B, con valores medios poco más bajos, se ubicó la fórmula de Intendencia, mientras que en el grupo C, con valores medios poco más altos, se hayan VaMA, M. Francés y Burnley, y en el grupo D, con valores promedios altos, está la fórmula STEM. Se concluye que la fórmula que actualmente utiliza la Intendencia de Montevideo no sería la más conveniente para determinar el valor monetario del arbolado urbano de Montevideo, ya que la fórmula de mejor aptitud para determinar el valor monetario del arbolado urbano en Montevideo es VaMA, siempre que se le realicen determinados ajustes que deben evaluarse.

Palabras clave: arbolado urbano, análisis no paramétrico, fórmula paramétrica, silvicultura urbana, valor del árbol.

ABSTRACT

The monetary valuation of urban forests is a field of study worldwide by which the topic of their fair value is tried to be solved. Montevideo is not foreign to this challenge, being necessary to compare different existing formulas and valuation methods with that used by the local Town Hall. Ten formulas were chosen for the evaluation using methods such as the Helliwell, the Standard Tree Evaluation Method (STEM), the Italian, the French, the Council Tree Landscape Appraisal (CTLA), the Norma Granada, the Intendencia Montevideo (IM), the Valoración Monetaria del Árbol Urbano (VaMA), the Swiss and the Burnley for the appraisal of 31 trees from 18 species by two evaluators. From the 620 evaluations performed, the sources of variation were analyzed: formulas and evaluators. There were no significant differences by those obtained by the latter, but it did among the formulas. They were organized into four groups: group A including the lowest values obtained through the N. Granada, CTLA, Swiss M., Italian M. and Helliwell methods; group B comprising the values that were slightly lower than the mean ones estimated using the Town Hall formula; group C grouping the slightly higher than the mean values calculated using the VaMA, French M. and Burnley methods and group D with the high average values computed using the STEM formula. It can be concluded that the best formula to determine the monetary value of urban trees in Montevideo would not be the one used by the local Town Hall but that of the VaMA method provided that certain adjustments that should be evaluated are made.

Key words: urban forest, non parametric analysis, parametric formula, urban forestry, tree value..

¹ Departamento de Producción Forestal y Tecnología de la Madera, Facultad de Agronomía, Universidad de la República. Avda. Garzón 980, Montevideo, Uruguay. E-mail: mponce@utalca.cl

² Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Talca. Avda. Lircay s/n, Talca, Chile.

1. INTRODUCCIÓN

La mayoría de la población mundial vive en áreas urbanas y lo seguirá haciendo en el futuro (Dye, 2008). Cerca del 61 % de la población mundial vivirá en las ciudades en 2025, un gran cambio comparado con el 37 % que había en 1990 (FAO, 1993). La tasa de urbanización, en algunos casos está teniendo impactos negativos, tanto ambiental, social como económicamente. Así el rol de los árboles en este aspecto cambia en los últimos años, reconociéndoles una amplia gama de beneficios (FAO, 1993).

El árbol en las ciudades desarrolla funciones ornamentales, paisajísticas y experienciales, constituyendo la expresión de necesidad psicológica de la naturaleza. Aporta equilibrio ecológico, ejerciendo funciones reguladoras y depuradoras de carácter ambiental, abrigo y protección a la fauna y flora, garantizando una mejora de la calidad de vida de los ciudadanos. El árbol forma parte de su patrimonio histórico, artístico e ingrediente inseparable de la puesta en valor y comprensión, configurando el derecho social al paisaje (Villota, 2015).

Jørgensen define arboricultura urbana como: “una rama especializada de la forestación, que tiene el objetivo de cultivar y manejar los árboles para su presente y potencial contribución al bienestar psicológico, social y económico de la sociedad urbana. Estas contribuciones incluyen el beneficio global de los árboles en el ambiente, así como el valor recreacional y general” (Konijnendijk *et al.*, 2006); aunque la más ampliamente citada se refiere a “...el planeamiento, establecimiento, protección y manejo de árboles y otras plantas asociadas, individualmente o en grupos pequeños, o formando bosques en ciudades o suburbios” (Miller, 1997). Caballer (1999) señala que la valoración de los árboles urbanos presenta dificultades al no generar flujos de caja, ya que no producen bienes o servicios intercambiables. Estos árboles tienen utilidades diferentes, producen sombra, amortiguan la contaminación acústica, adornan calles, jardines y parques, simbolizan ideas, sentimientos e historia (Caballer, 1999).

La valoración monetaria del arbolado urbano se utiliza para distintos fines, tales como valoraciones motivadas por la extracción debido a construcciones privadas y obras públicas (Vidal, 2012), por daños ocasionados por accidentes meteorológicos o físicos, por impacto ambiental, por los servicios ecosistémicos proporcionados o bien por inventario del patrimonio público (Caballer, 1999).

El valor de los árboles en un extenso paisaje no es fácil de calcular, debido a la dificultad de asignar un valor a diferentes árboles, tanto por las características fácilmente visibles, como por los distintos usos y servicios que éstos ofrecen. Sin embargo, el costo de reemplazo es el método más directo para determinar el valor de un árbol; cuestión compleja cuando el árbol alcanza un tamaño tal como para ser reemplazados por uno equivalente. En estos casos existen otras alternativas para calcular su valor monetario (Watson, 2002), siendo el más común y difundido el uso de fórmulas. Actualmente existen dos tipos básicos de fórmulas: 1) La que establece un valor inicial basada en el tamaño del árbol, que se ajusta por factores como condición (vigor, estructura, sanidad, etc.), locación (valor de bienes raíces, función, visibilidad, etc.), entre otros; y 2) La que utiliza un sistema de puntuación, que pueden ser sumados o multiplicados, usando un factor monetario introducido para obtener el valor, que habitualmente corresponde al precio de la planta de un vivero comercial, ya sea mayorista o minorista (Watson, 2002; Cullen, 2002; Ponce y Piedrahita, 2009; Grande-Ortiz *et al.*, 2012; Ponce-Donoso *et al.*, 2012).

Espluga (1989) señala que las fórmulas se pueden clasificar como multiplicativa o paramétrica, combinando variables físicas, explicativas y objetivas, con otras más subjetivas, más complejas de medir, tales como valor estético o significado histórico, entre otras. El valor final se obtiene con un valor inicial, generalmente monetario, que se ajusta con el resto de las variables.

En países como Suiza, los árboles urbanos se valorizan desde un punto de vista arquitectónico, estético y significado cultural histórico, introduciendo ideas de valor ornamental, árbol con significancia histórica o árbol distintivo, demostrando a economistas, técnicos, políticos y administrativos urbanos, que los árboles urbanos son mucho más que activos fijos, y su valor

intrínseco va más allá de su uso funcional. Asimismo, en su búsqueda por resaltar el valor ornamental de los árboles, los métodos europeos son reacios a conceder valor cero a árboles en peligro de caerse, que representen un riesgo a las propiedades y las personas o cuando se ubica en lugares inapropiados, o bien, cuando carece de valor funcional, métodos que según Contato-Carol *et al.* (2008) tienden a incrementar el valor base de los árboles.

El arbolado urbano en la ciudad de Montevideo se distribuye a lo largo de los ocho municipios, donde cada uno cuenta con una sección encargada del arbolado urbano. La de Intendencia de Montevideo presenta dos líneas de trabajo en arbolado público que no se ubican en parques: 1) arbolado alineado en aceras y 2) coordinaciones de políticas de trabajo con los demás municipios. En el Artículo D.2226 del Digesto Municipal, señala que las especies vegetales ubicadas en la vía pública son bienes públicos cuya administración compete a la Intendencia de Montevideo, debiendo aplicar sanciones cuando se constaten intervenciones no autorizadas en las especies vegetales. Las infracciones posibles de sanción se vinculan a daños debido a obras no autorizadas o mal realizadas. Al haber daños se deberá pagar una indemnización, valorada según la fórmula del Índice de Valoración de Arbolado, ajustada por la Unidad de Áreas Verdes, fórmula basada en la desarrollada por el ICONA de España (ex Instituto para la Conservación de la Naturaleza del Ministerio de Agricultura) (IMM, 2006).

El objetivo de este trabajo es comparar la fórmula de valoración monetaria del árbol urbano que aplica la Intendencia de Montevideo, con un grupo de fórmulas presentes en la literatura y praxis en otros países.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en la ciudad de Montevideo capital, al sur de Uruguay, latitud Sur 34° 50' 00'' y longitud Oeste de 56° 10' 02''. La ciudad tiene 1.330.400 habitantes, y una distribución administrativa de ocho Municipios en un área urbanizada de 192 km². Las áreas verdes de uso público ocupan 9.565 ha y están compuestas de parques (1.599 ha), plazas y plazuelas (600 ha), otros espacios verdes (5.340 ha), playas (123 ha) y veredas (2.000 ha), con un total de 211.400 árboles, según el censo de 2005.

Los 31 especímenes evaluados se seleccionaron con base en el censo del arbolado urbano de Montevideo en el período de 2005 - 2008 (Terrani, 2014), siendo tasados por dos evaluadoras, totalizando 620 valoraciones (Tabla 1).

El costo de mantenimiento anual por árbol se estimó en US\$ 25 y el costo de plantación US\$ 285 por planta, de acuerdo a datos obtenidos en la Intendencia de Montevideo y un vivero local, considerando una planta de 4 cm de diámetro de cuello.

A cada árbol se le midieron variables dendrométricas: circunferencia a 1 m; 1,3 m y 1,4 m de altura desde el suelo; altura total y altura de copa. Las valoraciones fueron realizadas en diciembre de 2016.

Tabla 1. Listado de árboles evaluados según ubicación, especies y edad

Nº árbol	Ubicación	Especie	Edad (años)
1	Palmar 25	<i>Melia azedarach</i>	80
2	Simón Bolívar 1443	<i>Melia azedarach</i>	10
3	Simón Bolívar 1433	<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	60
4	Brito de Pino 1442	<i>Platanus x acerifolia</i>	80
5	Francisco Soca 1427	<i>Ceiba speciosa</i>	80
6	Francisco Soca 1389	<i>Peltophorum dubuim</i>	80
7	Av. Brasil 2823	<i>Tipua natipu</i>	100
8	Francisco Soca 1209	<i>Liriodendron tulipifera</i>	16
9	Oscar Gestido 2629	<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	60
10	Oscar Gestido 2613	<i>Tilia x viridis</i>	30
11	Bv. Artigas 1141	<i>Tipuana tipu</i>	100
12	Canelones 2312	<i>Platanus x acerifolia</i>	100
13	Dr. Mario Csinoni 1136	<i>Ulmus procera</i>	100
14	Hugo Prato 2316	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	80
15	Plaza Varela	<i>Grevillea robusta</i>	100
16	Ing. Luis P. Ponce 1530	<i>Populus deltoides</i>	100
17	Ing. Luis P. Ponce 1557	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	60
18	Simón Bolívar 1542	<i>Catalpa bignonioides</i>	15
19	Bv. España y Luis de la Torre	<i>Phytolacca dioica</i>	150
20	Copacabana 6808	<i>Liriodendron tulipifera</i>	10
21	Pedro Figari 1668	<i>Tilia x viridis</i>	50
22	Viña del Mar 6776	<i>Liquidambar styraciflua</i>	30
23	Cartagena 1637	<i>Grevillea robusta</i>	60
24	Américo Ilaria 6642	<i>Catalpa bignonioides</i>	30
25	Cartagena 1623	<i>Liquidambar styraciflua</i>	25
26	Eduardo Blanco Acevedo 1713	<i>Acer saccharinum</i>	60
27	Eduardo Blanco Acevedo 1722	<i>Acer negundo</i>	20
28	Milington Drake 1826	<i>Taxodium distichum</i>	80
29	Almirante Harwood 6545	<i>Taxodium distichum</i>	50
30	Pedro Figari 1607	<i>Ulmus procera</i>	50
31	Viña del Mar 1655	<i>Ceiba speciosa</i>	60

Los métodos para determinar el valor monetario se resumen a continuación:

a) Método Helliwell, desarrollado en Inglaterra, usa una tasa de 0 a 4,0 puntos en siete factores (Helliwell, 2008). El método se basa en los juicios de valor del experto en relación a las amenidades visuales. La fórmula se expresa como:

$$\text{Valor (US\$)} = T * E * I * P * R * F * Vb$$

Donde: (T) tamaño del árbol, (E) expectativa de vida, (I) importancia en el espacio, (P) presencia de otros árboles, (R) relación con el entorno, (F) forma y factores especiales, (Vb) valor monetario, equivalente al valor base, que es de £ 14, equivalente a US\$ 21,2. El tamaño del árbol se estima como el producto de la altura y el diámetro de la copa. La expectativa de vida útil se considera en función de la situación y localización del árbol. Los factores especiales son casos raros, árboles dignos de puntos extras, ejemplares históricos, interés botánico no usual, rareza o valor excepcional.

b) Standard Tree Evaluation Method (STEM) de Nueva Zelanda (Flook, 1996). Método que utiliza un sistema de puntos en base a veinte atributos (3 a 27 puntos para cada uno). Los atributos son: condición (forma, frecuencia, vigor y vitalidad, función, y edad); amenidades (estatura, visibilidad, presencia de otros árboles, papel, y clima); notabilidad para los árboles que tengan más de 50 años de edad (estatura: aspecto, y forma; historia: edad, asociación, conmemoración, remanente, y relicto; y científico: fuente, rareza, y riesgo). El total de puntos es multiplicado por el precio mayorista en vivero de un árbol, más el costo mayorista de plantación y de mantenimiento del árbol a la misma edad que éste se hubiera perdido, de esta manera, esto se multiplica por un factor de conversión desde mayorista a minorista, para lo cual se recomienda un valor 2.

$$\text{Valor (US\$)} = \text{total puntos atribuidos (máximo 540 puntos)} * (\text{CM} + \text{CP} + \text{CMA}) * \text{FCM}$$

Donde: (CM) costo de la especie en viveros mayoristas, (CP) costo de plantación, (CMA) costo de mantenimiento y (FCM) factor de conversión minorista.

c) Método Francés. Ferraris (1984) revisa la metodología Suiza y la adapta, intentando definir el costo de reemplazo más probable. El valor es obtenido por el uso de los mismos cuatro índices utilizados en el método Suizo. Su expresión es:

$$\text{Valor (US\$)} = \text{Pb} * \text{B} * \text{U} * \text{D}$$

Donde: (Pb) valor base relacionado al valor de la especie en vivero, (B) índice sanitario y de valor estético, (U) índice estético y de ubicación, (D) índice de tamaño, determinado por el tamaño de la circunferencia del fuste a la altura del pecho

d) Método Italiano (Fabbri, 1989). Para el cálculo del valor se utiliza la siguiente ecuación

$$\text{Valor (US\$)} = \text{Pb} * \text{I} * \text{S} * \text{C}$$

Donde: (Pb) precio de vivero de las especies, (I) estado sanitario del árbol y su apariencia en una escala del 1 al 10, (S) índice de ubicación, con valores entre 2 y 10, considerando si el árbol se encuentra ubicado en la ciudad o un área rural, (C) factor dimensión del árbol, con valores que varían entre 1 y 55 para circunferencias normales de entre 30 cm y 900 cm.

e) Método del Council of Tree Landscape Appraisers (CTLA) de los Estados Unidos (CTLA, 1992). Este método da lugar a la idea de un valor base como expresión del precio unitario de la sección de un tronco y considera que el precio máximo de un árbol es el producto de este valor base multiplicado por el área de la sección del tronco. Índices de corrección como especie, estado sanitario y posición mantienen o reducen el valor, pero nunca lo incrementan.

$$\text{Valor (US\$)} = \text{A} * \text{Pb} * \text{E} * \text{C} * \text{L}$$

Donde: (A) área del tronco es el área de la sección transversal del tronco a 1,4 m sobre el nivel del suelo en cm^2 , (Pb) precio base es un valor basado en el costo de la especie disponible en

viveros regionales en $\$/\text{cm}^2$, (E) factor especie relacionada con los atributos del árbol: crecimiento, expectativa de vida, adaptabilidad a las condiciones ambientales, requerimientos de mantenimiento, amenidades y otras. (C) condición se relaciona con las características de sanidad y vigorosidad del árbol, (L) localización vinculada al emplazamiento que el árbol tenga en la ciudad (L).

f) Método Burnley. Desarrollado en Australia, realiza la valoración a través de la siguiente fórmula (Moore y Arthur, 1992):

$$\text{Valor (US\$)} = V * P_b * E * FV * L$$

Donde: (V) tamaño del árbol (medido como el volumen de un cono invertido) siendo éste el volumen, (P_b) valor monetario (costo por metro cúbico en viveros minoristas) denominado valor base, (E) expectativa de vida (0,5 a 1,0), (FV) forma y vigor (0,0 a 1,0), y (L) localización (0,4 a 1,0).

g) Método Suizo. Método aceptado y posteriormente desarrollado en Francia, Alemania e Italia. Utiliza la siguiente fórmula (Ferraris, 1984):

$$\text{Valor (US\$)} = P_b * ID * IP * IES * IR$$

Toma en consideración cuatro índices básicos, siendo: (P_b) precio de mercado en vivero de la especie, (ID) índice de dimensión, (IP) índice de posición, (IES) índice estético y de condición sanitaria, (IR) índice de reducción del valor por daño. Estas variables se separan de forma cualitativa para evitar error de juicio.

h) Valoración Monetaria del Arbolado Urbano (propuesta para el arbolado urbano en Chile central) (Ponce-Donoso *et al.*, 2017b).

$$\text{Valor (US\$)} = UTM * T * U * S * A * E * FE * DS$$

Donde: (UTM) Unidad Tributaria Mensual (valor monetario que se reajusta con el Índice de Precios al Consumidor, IPC) del mes cuando se realiza la valoración, (T) tamaño, expresada como la relación entre el DAP (medido en centímetros a 1,3 metros desde el nivel de suelo) y el volumen de copa, medida como el volumen en metros cúbicos entre la altura de copa y su área de proyección (el promedio de la copa corresponde al promedio aritmético entre la distancia más corta y la más larga), que se corrige de acuerdo su forma (palmiforme, columnar, extendida, pendular, piramidal, ovalada, esférica o irregular); (U) ubicación, por sitio correcto se debiera entender el lugar donde se encuentra plantado, considerando un adecuado suelo, alcorque y espacio a nivel de suelo; (S) condición sanitaria del árbol, trata de identificar la vigorosidad que presenta el árbol, tanto en la copa, fuste, ramas y raíces; (A) amenidades, representa la característica plástica del árbol, tanto de manera individual o en grupo, además de su defloración, fragancia y otras de este tipo; (E) características ambientales, que se le relaciona como un aporte a la biodiversidad, reducciones del ruido, del material particulado, de gases con efecto invernadero, rayos ultravioletas y de la erosión, además de la mejora de la humedad ambiental; (FE) factores especiales, que es un factor de corrección o ponderador que se aplica de encontrarse una o más variables a destacar, subiendo proporcionalmente el valor en 5 % por cada una de estas variables, tales como ubicación en un arboretum, árbol de componente histórico (debidamente documentado), relicto, en peligro, fuente de calidad genética, u otro, teniendo

como máximo un 30 %; (DS) dis-servicios, se aplica un factor de corrección o ponderador al identificar alguna variable que sea reconocida como dis-servicio, descontando un máximo de 10 % del valor total, entre estas variables están, especies alergénicas, caída de hojas, caída de frutos, rotura de infraestructura u otro.

i) Intendencia de Montevideo. Es una modificación de la fórmula desarrollada en España por el ICONA (López Arce y del Álamo, 1975).

$$\text{Valor (US\$)} = Vb * E * S * EV * C$$

Donde: (Vb) precio de venta de la especie en viveros, (E) edad, (S) índice de situación (avenida, calle común, zona de difícil reposición, alineación, etc.), (EV) estado vegetativo, (C) índice de crecimiento expresado como el cociente edad/DAP.

j) Norma Granada. Método desarrollado por la Asociación Española de Parques y Jardines Públicos (AEPJP, 2007). El método distingue entre árboles sustituibles y no sustituibles como primera clasificación, centrándose en árboles no sustituibles que presentan una mayor problemática (Caballer, 1999).

$$\text{Valor (US\$)} = (Vb * Els) * (1 + Ele)$$

Siendo Vb = valor básico de árbol = $\omega * \mu * (0.0059 * p^2 + 0.0601 * p - 0.324)$. Els = $(S1 + S2 + S3 + S4 + S5) / 5$. Ele = $(Ele1 + Ele2 + Ele3) / 3$

Donde: (Vb) valor básico del árbol, (Els) estado sanitario del árbol, siendo (S) los factores intrínsecos, (Ele) factor estético y funcional, además de los factores extrínsecos, (ω) coeficiente actualizado de la especie, fijado por una comisión para cada zona climática según la clasificación de Köppen, (μ) coeficiente corrector edafológico, (p) perímetro a 1 m de altura.

En el análisis de los datos se utilizó el promedio y la mediana de la valoración, tanto para árbol como fórmula; este último estadígrafo ayuda a reducir el impacto de los valores extremos. Se plantearon las siguientes hipótesis para las fórmulas de valoración y evaluadores:

- $H_0: \omega_i = \omega_j / i \neq j$; (es decir, no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de las fórmulas y de las evaluadoras).
- $H_1: \omega_i \neq \omega_j / i \neq j$; (es decir, existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de las fórmulas y de las evaluadoras).

Se usó análisis de varianza para determinar si existen diferencias significativas entre las fórmulas y entre evaluadoras. Debido a que los supuestos de homocedasticidad y normalidad no se cumplieron, se recurrió al análisis de varianza no paramétrico de Kruskal–Wallis (Conover, 1999), ya que es menos sensible a la presencia de valores atípicos. Para ello, los valores fueron ubicados en un ranking, ordenándolos de manera ascendente, siendo el 1 la menor valoración (US\$ 0) y 620 la mayor valoración (US\$ 162.814) en lugares intermedios se distribuyeron las demás valoraciones. Dada la existencia de diferencias significativas entre las diferentes fuentes de variación, se usó la prueba de múltiples rangos de Tukey HSD para identificar cómo se agrupan estas diferencias. En el análisis de los datos se utilizaron los programas Microsoft Excel v.2003 y Statgraphics Centurion vXVI, ambos para Windows.

3. RESULTADOS

Los valores monetarios (Tabla 2) muestran que el más alto fue US\$ 162.814 (árbol 19, *P. dioica*), con la fórmula Intendencia de Montevideo (IM), que también arrojó el mayor valor promedio. El valor mínimo fue US\$ 0, usando la misma fórmula (árbol 14, *J. mimosifolia*), dado que la fórmula da este valor a los individuos que son considerados no viables y que deberían ser removidos. El menor valor promedio fue US\$ 6.490 (árbol 9, *F. pennsylvanica*). La fórmula que obtuvo el mayor valor promedio fue STEM con US\$ 68.718 y la de menor valor fue el Método Suizo con US\$ 4.114.

Tabla 2. Valor monetario por árbol y fórmula (promedio, US\$)

Nº de árbol	Helliwell	STEM	Francés	Italiano	CTLA	Burnley	Suizo	VaMA	Intendencia	Granada	Promedio
1	2.470	57.960	9.975	3.732	6.854	15.082	2.858	13.467	8.553	4.250	12.520
2	1.283	47.283	2.660	679	1.669	38.474	709	3.607	2.624	452	9.944
3	2.340	57.638	7.429	2.612	5.020	8.380	1.751	10.183	4.434	1.476	10.126
4	5.200	56.727	12.857	5.089	8.973	20.872	4.715	18.063	10.459	2.037	14.499
5	2.640	85.192	25.929	5.971	15.950	17.857	5.257	64.128	32.582	3.983	25.949
6	9.600	82.217	24.750	7.071	15.911	24.690	6.269	36.339	34.915	6.292	24.805
7	5.733	85.857	21.214	4.821	13.018	15.539	3.300	37.408	20.463	6.434	21.379
8	14.850	77.381	13.714	2.679	8.196	54.674	3.040	24.048	17.189	1.792	21.756
9	347	45.199	4.086	1.213	2.649	5.237	896	2.685	1.912	675	6.490
10	6.600	79.241	12.571	2.986	7.779	67.949	2.647	19.773	8.553	1.057	20.916
11	5.200	90.456	28.500	5.464	16.982	21.486	4.617	65.732	26.431	7.540	27.241
12	12.600	98.122	42.857	7.589	25.223	10.820	6.386	106.881	37.472	5.917	35.387
13	750	61.260	19.286	6.616	12.951	27.625	4.856	8.323	14.664	2.281	15.861
14	150	48.363	10.286	2.411	6.348	4.144	1.505	2.316	0	1.675	7.720
15	9.360	89.190	60.000	9.257	34.629	27.625	8.460	109.553	20.340	9.991	37.840
16	3.600	87.253	13.393	2.902	8.147	4.834	2.286	33.846	15.714	3.319	17.529
17	125	41.915	12.054	2.652	7.353	16.920	908	3.741	7.610	1.426	9.470
18	2.400	43.813	5.049	1.020	3.034	35.298	1.008	12.398	3.547	280	10.785
19	57.600	145.089	135.000	22.902	78.951	38.272	19.575	140.281	162.814	50.035	85.052
20	7.500	53.199	4.800	857	2.829	63.946	800	5.277	2.558	611	14.238
21	7.920	79.241	44.000	8.046	26.023	57.023	5.955	29.841	12.005	3.883	27.394
22	3.600	56.424	31.875	3.461	17.668	46.617	5.890	13.111	6.262	6.414	19.132
23	2.400	50.072	11.571	2.880	7.226	29.006	2.229	7.214	6.541	2.325	12.146
24	720	35.989	7.329	1.509	4.419	13.198	1.110	2.975	1.074	512	6.883
25	2.400	58.036	9.257	1.607	5.432	43.164	1.400	8.871	2.592	1.840	13.460
26	3.000	64.484	36.161	6.964	21.563	27.337	4.640	18.437	8.475	4.046	19.511
27	3.150	49.061	7.086	1.214	4.150	17.841	1.133	8.337	2.489	460	9.492
28	8.775	88.666	46.286	8.743	27.514	34.531	8.208	69.829	18.417	10.540	32.151
29	7.875	85.442	50.625	7.714	29.170	43.483	7.940	55.863	8.910	6.621	30.364
30	4.500	62.872	22.500	4.286	13.393	40.286	3.500	14.986	2.726	1.350	17.040
31	3.960	66.605	22.275	2.239	12.257	28.699	3.696	22.046	6.690	4.913	17.338
Pro.	6.408	68.718	24.367	4.748	14.557	29.062	4.114	31.276	16.420	4.981	

El análisis de varianza de Kruskal-Wallis determinó que las fórmulas presentaron diferencias significativas entre las medianas del ranking ($P = 0$), mientras que para las evaluadoras no hubo diferencias ($P > 0,58$). Aplicada la prueba de Tukey, las fórmulas se agruparon en cuatro grupos homogéneos (A, B, C y D) (Tabla 3), mientras que las evaluadoras formaron un solo grupo (Tabla 4).

Tabla 3. Grupos homogéneos por Fórmulas

Fórmula	Casos	Media	Grupos Homogéneos
N. Granada	62	176,209677	A
CTLA	62	181,983871	A
M. Suizo	62	184,879032	A
M. Italiano	62	205,927419	A
Helliwell	62	207,862903	A
IM	62	314,435484	B
VaMA	62	405,274194	C
M. Francés	62	410,153226	C
Burnley	62	451,677419	C
STEM	62	566,596774	D

Las fórmulas N. Granada, CTLA, M. Suizo, M. Italiano y Helliwell se ubicaron en el grupo A, con los valores promedio más bajos del ranking. La fórmula que se localiza en la medianía del ranking (grupo B) es la fórmula de Intendencia; le sigue el grupo C, conformado por las fórmulas VaMA, M. Francés y Burnley. Por último en el grupo D, con el valor medio más alto, la fórmula STEM (Figura 1).

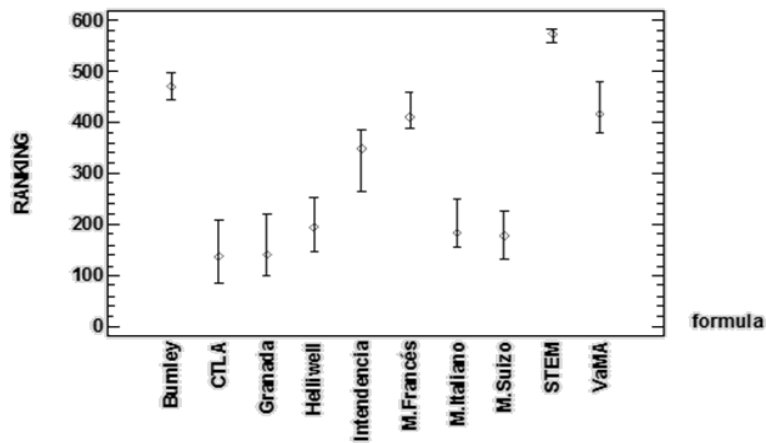


Figura 1. Mediana, error estándar y ranking para fórmulas

Tabla 4. Grupos homogéneos por Evaluadoras

Evaluadora	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Evaluadora 1	310	306,554839	A
Evaluadora 2	310	314,445161	A

4. DISCUSIÓN

Las variables particulares de cada árbol que están contempladas en las fórmulas son las que generarían las principales diferencias en la valoración, distinguiendo a los árboles por sus diferentes propiedades cuantitativas y cualitativas, ya que fue posible encontrar variaciones para un mismo árbol al aplicar las diferentes fórmulas. Teniendo en cuenta que se encontraron diferencias significativas entre las medianas de los valores finales para algunas de ellas, no sería indistinta la elección y uso de una fórmula u otra.

Los mayores valores monetarios se obtuvieron con STEM, coincidente con el análisis estadístico, ya que se ubicó en el primer lugar del ranking. Este resultado se observó también en Watson (2002) y Ponce-Donoso *et al.* (2012), lo que podría deberse a la existencia del factor de conversión minorista, el cual multiplicó el valor final por 1,5, además de ser la única fórmula que incluye en el valor base el costo de plantación y mantenimiento.

En el grupo C se ubicaron las fórmulas Burnley, M. Francés y VaMA. A diferencia de lo que observaron Ponce-Donoso *et al.* (2012), la fórmula Burnley obtuvo una posición relativa alta de los valores promedio, similar a lo señalado por Watson (2002), Ponce-Donoso y Vallejos-Barra (2016) y Ponce-Donoso *et al.* (2017a). Las diferencias en las posiciones de esas fórmulas podrían explicarse debido al índice de volumen, ya que los árboles de menor tamaño obtienen un mayor valor para este índice. Como consecuencia se sobreestimarían los árboles de porte pequeño, tal como el árbol N° 8 (*L. tulipifera*) que presenta un valor final mayor al del árbol N° 19 (*P. dioica*), que es un árbol de gran porte.

El Método Francés tomó valores altos en el análisis estadístico realizado, a diferencia de Ponce-Donoso y Vallejos-Barra (2016) y Ponce-Donoso *et al.* (2017a) para quienes esta fórmula se posicionó como uno de los valores promedio del ranking más bajos. A su vez el Método Suizo, siendo una derivación del Método Francés, presentó valores promedio mucho más bajos, ubicándolos en grupos separados (Ponce-Donoso y Vallejos-Barra, 2016).

La fórmula IM se ubica sola en el grupo B, presentando valores intermedios en el promedio del ranking.

Dentro del grupo homogéneo A, la fórmula de la Norma Granada presentó el menor promedio del ranking, esto difiere de los resultados obtenidos por los estudios de Watson (2002) y Ponce-Donoso *et al.* (2013; 2017a) cuya fórmula estuvo entre los valores más altos del ranking. Dicha diferencia se podría explicar por el coeficiente actualizado, correspondiente a la especie individualizada, donde no se encuentran algunas especies utilizadas en el arbolado urbano del hemisferio Sur, por lo que para esos casos se utilizó un promedio de las demás especies, lo que podría haber subestimado las valoraciones. El valor base del árbol se calculó a partir del coeficiente actualizado de Köppen, coeficiente corrector edafológico y el perímetro a 1 m de altura, y es el único caso donde el precio base no se ajustó a los precios de mercado. Además, existen en su cálculo coeficientes de origen local, que dieron el valor base de la fórmula, lo que podría afectar las valoraciones cuando es usada fuera de España, en condiciones de crecimiento y situación económica diferente, por lo que podría ser necesario un ajuste para realizar una valoración completamente válida. Así, estas fórmulas y su comportamiento deberían ajustarse para su uso en países latinoamericanos, en algunos de sus parámetros para las condiciones locales (Watson, 2002).

En el mismo grupo homogéneo (A) se encuentra el Método Helliwell, que a diferencia de los trabajos de Ponce-Donoso (2012), Ponce-Donoso y Vallejos-Barra (2016) y Ponce-Donoso *et al.* (2017a), presentó valores que lo ubican entre los más bajos del ranking.

El valor promedio del ranking obtenido para CTLA se encuentra entre los más bajos, similar al trabajo de Watson (2002), sin embargo en los trabajos de Ponce-Donoso *et al.* (2012; 2013; 2017a), Ponce-Donoso y Vallejos-Barra (2016), ésta toma valores intermedios en el ranking. Al igual como ocurre con la fórmula Helliwell, se ha cuestionado el Método CTLA debido a su

subjetividad, lo cual puede tener como consecuencia estas diferencias en el ranking (Cullen, 2007), aspecto que estaría afectando su valor monetario.

Las fórmulas que presentaron la más alta dispersión de valores en el ranking fueron CTLA, N. Granada e IM (Figura 1). También presentaron una amplia distribución Helliwell, M. Italiano, M. Suizo y VaMA, lo que mostraría un mejor desempeño de estas fórmulas, ya que serían capaces de discriminar las diferencias entre individuos (Ponce-Donoso *et al.*, 2013). En cambio Burnley, Método Francés y STEM tuvieron dispersiones menores (Figura 1). Según Ponce-Donoso y Vallejos-Barra (2016), las fórmulas que presentaron la más alta dispersión de los valores fueron CTLA, N. Granada, M. Francés, M. Italiano y M. Suizo, coincidiendo en gran medida con los resultados obtenidos en este trabajo.

La posición de la mediana en el rango de dispersión de los datos para cada fórmula, como indicador de la distribución de los datos, señala que cuanto más centrada se encuentre, los datos se distribuirían de manera más uniforme (Figura 1). En este sentido, dado que los individuos evaluados fueron seleccionados al azar, se esperaría que los valores obtenidos deberían distribuirse de manera uniforme; así, las fórmulas que presentan dicha característica tendrían una mejor capacidad de discriminar las características del árbol, una valoración más cercana a la realidad de su selección al azar, como Burnley, Helliwell, CTLA y M. Suizo (Ponce-Donoso *et al.*, 2017a).

En cuanto a las evaluadoras no se observaron diferencias estadísticamente significativas, lo cual coincide con los resultados de Ponce-Donoso y Vallejos-Barra (2016), sugiriendo que esto no influiría en la agrupación de las fórmulas cuyas diferencias radican en sus propias características. Esto podría deberse a que ambas tienen niveles de experiencia parecidos y recibieron similar inducción del uso de las fórmulas. Sin embargo, a fin de corroborar estos resultados, se deberían realizar las mediciones con un mayor número de evaluadores, como ocurrió en los trabajos de Watson (2002), Ponce-Donoso y Vallejos-Barra (2016) y Ponce-Donoso *et al.* (2017a, 2017b).

Respecto a observaciones realizadas de la aplicabilidad de las fórmulas, se destacó la facilidad de uso en su gran mayoría, revelando que evaluadores sin o con poca experiencia sean capaces de aplicarla. Sin embargo, generaron dificultades de uso aquellas fórmulas que consideran valores entre clases, como es el caso de Helliwell, que en el factor tamaño de árbol, se estima deja algunos valores fuera de las clases definidas.

Otros casos que generaron dificultades de uso son las fórmulas que tienen uno o más factores y que dentro de su descripción no contemplan todos los casos; esto dificultó al evaluador, que ante una situación particular puede no encontrar un valor que se adecúe. Un ejemplo es el índice de vigor en Burnley, donde los descriptores son muy específicos, por ejemplo, respecto a bifurcaciones o madera muerta, dejando de lado otras situaciones como el estado del follaje, raíces u otras. Presentan este tipo de factores las fórmulas M. Francés, M. Suizo e IM.

Por otro lado, la fórmula que resultó más compleja al momento de realizar las mediciones fue Norma Granada, debido al hecho de tener que cambiar de escala según el factor que se estuviera midiendo, lo que podría aumentar la probabilidad de cometer errores o ampliar la variabilidad.

La dificultad de obtención de los datos requeridos para la fórmula es otra limitante a considerar. El dato más comúnmente utilizado que se considera de difícil obtención o estimación, es la edad del árbol. Éste no está registrado para muchos de los ejemplares de árboles en Montevideo, por lo que en la mayoría de los casos se deberían realizar estimaciones. Aunque la edad puede ser importante a la hora de valorar los árboles en algunas fórmulas, se puede prescindir de ella al darle mayor importancia al tamaño y estado vegetativo, como es el caso de la fórmula VaMA. Otro caso donde existen datos de difícil obtención es en la Norma Granada, ya que el coeficiente para zona climática de Köppen no está disponible para todas las especies evaluadas. A su vez, en esta fórmula se contempla un coeficiente corrector edafológico, donde para árboles en alcorque no implicó un problema, de lo contrario este coeficiente fue difícil de estimar. En todo caso, los árboles en alcorque no siempre se desarrollan de buena forma, dado que este espacio es a veces insuficiente para las características de crecimiento de la especie.

5. CONCLUSIONES

Las fórmulas mostraron un buen comportamiento para distinguir entre las diversas características de los árboles tasados, dándole mayor valor a aquellos árboles que se observaron con rasgos distintivos.

El análisis estadístico mostró que hay diferencias significativas entre las fórmulas aplicadas. A su vez no se observaron diferencias significativas entre evaluadoras.

Ninguna fórmula resultaría completamente adecuada para ser aplicada en Montevideo, debido a la amplia dispersión de los valores obtenidos, la existencia de cuatro grupos, la posición media de la mediana, la ubicación, las amenidades, el valor base en moneda local, la facilidad y factibilidad de uso, la subjetividad, los factores especiales y la facilidad de obtención de datos. Aspectos que deben ser considerados al momento de elegir una posible fórmula a aplicar.

La fórmula de Intendencia, presentó buen comportamiento en el ranking, generando un único grupo en un valor medio, pero tiene un importante sesgo, ya que deja de lado criterios importantes como amenidades, sanidad, factores especiales, tamaño y además utiliza la edad.

La fórmula que mejor se ajustaría a las necesidades en Montevideo es VaMA, debido a la facilidad de aplicación, forma de abordar ubicación, amenidades y tamaño, además no considera la edad, incorpora factores especiales y muestra una dispersión de los valores del ranking adecuada. Para su factible utilización en Uruguay, deberían realizarse algunos ajustes como la adaptación de las UTM a un equivalente en el país.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Intendencia de Montevideo, Uruguay, por el apoyo para la realización de esta investigación, especialmente al Ingeniero Agrónomo Alfonso Arcos.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asociación Española de Parques y Jardines Públicos (AEPJP). 2007. *Norma Granada. Método para valoración de árboles y arbustos ornamentales*. 3ª ed. Madrid, España. AEPJP. 53 p.
- Caballer, V. 1999. *Valoración de árboles frutales, forestales medioambientales y ornamentales*. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa. 247 p.
- Conover, W. 1999. *Practical nonparametric statistics*, third edition. John Wiley & Sons Inc., New York, New York, U.S. 584 pp.
- Contato-Carol, M. L.; E. Ayuga-Téllez y M. A. Grande-Ortiz. 2008. A comparative analysis of methods for the valuation of urban trees in Santiago del Estero, Argentina. *Spanish Journal of Agricultural Research* 6(3):341-352.
- Council of Tree and Landscape Appraisers (CTLA). 1992. *Guide for plant appraisal*. 8ª Ed. Savoy, USA. 103 p.
- Cullen, S. 2002. Tree appraisal: can depreciation factors be rated greater than 100%? *Journal of Arboriculture* 28(3):153-158.
- Cullen, S. 2007. Putting a value on trees - CTLA guidelines and methods. *Arboricultural Journal* 30(1):21-43.
- Dye, C. 2008. Health and urban living. *Science* 319(766):766-769.
- Espluga, A. P. 1989. *Valoración de árboles ornamentales: modelo para la determinación de un valor básico en función del tamaño*. Tesis Doctorado. Madrid, España. Universidad Politécnica de Madrid. 137 p.

- Fabbri, M. 1989. Metodi di stima del valore delle piante ornamentali. *Acer* 2:15-19.
- Ferraris, P. 1984. Note sulla valutaciones del soprasuolo arbóreo di parchi e giardini. *Journal Flortécnica* 11:11-15.
- Flook, R. 1996. A Standard Tree Evaluation Method - STEM. *Journal of the New Zealand Institute of Horticulture* 1:29-35.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 1993. The potential of urban forestry in developing countries: a concept paper. [en línea] Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/005/t1680e/T1680E00.htm#TOC>
- Grande-Ortiz, M. A.; E. Ayuga-Téllez y M. L. Contato-Carol. 2012. Methods of tree appraisal: A review of their features and application possibilities. *Arboriculture and Urban Forestry*, 38(4):130-140.
- Helliwell, D. R. 2008. Amenity Valuation of Trees and Woodlands. *Arboricultural Journal* 31:161-168.
- Intendencia Municipal de Montevideo (IMM). 2006. *Digesto Departamental*, Volumen VII, Obras. Montevideo. s.p.
- Konijnendijk, C. C.; R. M. Ricard; A. Kenney and T. B. Randrup. 2006. Defining urban forestry – A comparative perspective of North America and Europe. *Urban Forestry & Urban Greening* 4(34):93-103.
- López Arce, M. y C. del Álamo. 1975. *El cálculo de indemnizaciones derivadas de la pérdida de árboles ornamentales*. I.C.O.N.A. Madrid.
- Miller, R. W. 1997. *Urban forestry; planning and managing urban greenspaces*. 2da ed. Nueva Jersey. Prentice Hall. 502 p.
- Moore, G. M. and T. Arthur. 1992. Amenity tree evaluation: A revised method. In: T. Arthur (Ed.). *The Scientific Management of Plants in the Urban Environment*. Proceedings of the Burnley Centenary Conference. Centre for Urban Horticulture. Melbourne, Australia. pp. 166-171.
- Ponce, M. y P. Piedrahita. 2009. Valoración económica del arbolado urbano en 28 comunas de Chile. *Quebracho* 17(1, 2):89-101.
- Ponce-Donoso, M.; O. Vallejos-Barra and F. J. Escobedo. 2017a. Appraisal of urban trees using twelve valuation formulas and two appraiser groups. *Arboriculture & Urban Forestry* 43(2):72-82.
- Ponce-Donoso, M.; O. Vallejos-Barra y F. J. Escobedo. 2017b. Fórmula para la valoración monetaria del árbol urbano en Chile central. *Bosque* 38(1):67-78
- Ponce-Donoso M. y O. Vallejos-Barra. 2016. Valoración de árboles urbanos, comparación de fórmulas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* 48(2):195-208.
- Ponce-Donoso, M.; O. Vallejos-Barra; G. Daniluk-Mosquera y C. Avilés-Palacios. 2013. Comparación de siete fórmulas chilenas para la valoración del arbolado urbano. *Agrociencia* 47(7):723-737.
- Ponce-Donoso, M.; O. Vallejos-Barra y G. Daniluk-Mosquera. 2012. Comparación de fórmulas chilenas e internacionales para valoración del arbolado urbano. *Bosque* 33(1):69-81.
- Terrani, E. 2014. *Evaluación de la estructura y comportamiento del arbolado urbano en Montevideo*. Tesis Ing. Agr. Montevideo. Universidad de la República, Facultad de Agronomía Uruguay.
- Vidal, F. 2012. La valoración del arbolado en España. Una revisión. *Economía Agraria y Recursos Naturales* 12(1):115-140.
- Villota, M. 2015. El árbol en la ciudad como elemento de identidad urbana. Campaña para poner el arbolado urbano en valor de Victoria Gasteiz. [en línea] Disponible en: <http://www.vitoritagasteiz.org/wb021/contenidosEstaticos/adjuntos/eu/10/46/61046.pdf>
- Watson, G. 2002. Comparing formula methods of tree appraisal. *Journal of Arboriculture* 28(1):11-18.



TRABAJO CIENTÍFICO

Identificación de genotipos estables en 19 familias de *Prosopis alba* usando marcadores de microsatélites y parámetros de productividad

Identifying stable genotypes in 19 families of Prosopis alba using microsatellite markers and productivity parameters

Klein L. M.¹; M. V. Spoljaric¹ y S. L. Torales²

Recibido en junio de 2018; aceptado en marzo de 2019

RESUMEN

Se caracterizaron mediante marcadores moleculares y morfométricos diecinueve familias de algarrobo blanco, de la colección a campo de *Prosopis* establecida en el año 2010, pertenecientes al banco de germoplasma INTA-Sáenz Peña, seleccionando la procedencia Río Bermejito (Departamento General Güemes, Chaco) por su estabilidad genética. La investigación fue conducida en la EEA (Estación Experimental Agropecuaria) INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), Sáenz Peña (Latitud Sur 26° 47' 27" y Longitud Oeste 60° 26' 29"; Altitud 90 m s.n.m.), Chaco. Durante 2014-2016.

Se realizó la caracterización molecular con catorce marcadores microsatélites (SSRs) y la caracterización morfológica se llevó a cabo analizando distintas variables morfométricas.

Al estudiar la similitud genética entre las diecinueve familias se observó que las progenies se relacionaron en un solo grupo con un 45 % de similitud sin agruparse por familia. El estudio de la diversidad genética reveló una frecuencia alélica similar entre las familias. Además, el valor de la heterocigosidad esperada (H_e) resultó más baja que la heterocigosidad observada (H_o) indicando endogamia. El AMOVA y los estadísticos F de Wright evidenciaron que la mayor diferenciación genética se encuentra dentro de cada familia y es menor entre familias.

La plantación presenta un distanciamiento de 4x4 m con cuatro (4) pseudorepeticiones por familia. Se aplicó un análisis estadístico descriptivo y un análisis de la variancia no paramétrico Kruskal Wallis al 5 %, ambos mostraron que no existen diferencias significativas entre las familias, siendo la altura total el parámetro más estable.

Este estudio permitirá un primer paso en la selección de genotipos estables para mejoramiento genético convencional.

Palabras clave: SSR, morfométrico, algarrobo blanco

ABSTRACT

Nineteen (19) white carob families from Rio Bermejito (General Güemes Department in the Province of Chaco) belonging to the field collection of *Prosopis* established in 2010 were selected from the INTA-Saenz Peña germplasm bank due to their genetic stability and characterized by molecular and morphometric markers. This work was conducted in the Agricultural Experimental Station (EEA in Spanish) of the National Institute of Agricultural Technology (INTA in Spanish) located in Sáenz Peña (Latitude South 26°47'27" and West Length 60°26'29", Altitude 90 msn), Chaco during 2014-2016. The molecular characterization was performed using fourteen microsatellite markers (SSR) while the morphological one was carried out by analyzing different morphometric variables. When studying the genetic similarity among the 19 families, the progenies were related into a single group showing 45 % of similarity without being grouped by family. The study of genetic diversity revealed similar frequency between families. Furthermore, the expected value for heterozygosity (H_e) was lower than the observed (H_o) which indicates inbreeding. The AMOVA and the Wright's F statistical showed that the greatest genetic differentiation occurs within each family and it is lower among families. There is a 4x4 distancing in the plantation with four (4) pseudo-repetitions per family. The descriptive statistical analysis together with the nonparametric Kruskal Wallis at 5% of variance were both applied; both showed non-significant differences among families, being total height the most stable parameter. This study will allow a first step in the selection of stable genotypes for conventional breeding improvement be taken.

Keywords: SSR, morphometrics, white carob

¹ EEA INTA Sáenz Peña, Ruta Nacional N° 95 Km 1108, 3700 Presidencia R. Sáenz Peña, Chaco, Argentina. E-mail: klein.lorena@inta.gov.ar

² Biological Resources Institute (IRB). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA Castelar). Las Cabañas y Los Reseros, s/n. 1686 Hurlingham. Buenos Aires, Argentina. E-mail: Torales.susana@inta.gov.ar

Abreviaciones

PCR: reacción en cadena de la polimerasa.
 SSR: secuencias simples repetitivas.
 AT: altura total
 DAP: diámetro a la altura del pecho
 ABF: altura de la bifurcación de fuste.
 N°F: número de fustes.
 m: metro.
 cm: centímetro.

ng: nanogramos.
 µL: microlitros.
 N_a: número de alelos
 N_e: número efectivo de alelos
 H_o: heterocigosidad observada
 H_e: heterocigosidad Esperada
 BGFN: Banco de Germoplasma Forestales Nativas.

1. INTRODUCCIÓN

El género *Prosopis* es un componente común de las zonas áridas y semiáridas de América y un recurso promisorio para la reforestación y recuperación de este tipo de suelo.

Prosopis alba Grisebach (algarrobo blanco) es una especie de importancia económica del Parque Chaqueño, se distribuye en varias provincias de la Argentina, pero el 80 % de la extracción de madera de algarrobo se centra en Chaco y Formosa (Verga, 2005). Tiene madera dura (0,80 kg/dm³), poco vetada, gran estabilidad y durabilidad al aire libre (Giménez y Moglia, 2003) por lo cual es apta para muebles finos, carpintería de obra y parquet, entre otros. Estas excelentes propiedades tecnológicas han generado la extracción de los mejores ejemplares causando una fuerte erosión de los recursos genéticos disponibles (López *et al.*, 2001). Además, diferentes autores (Torggler, 1987, López, 1992, Cony, 1996, Felker *et al.*, 2001, López *et al.*, 2001) han reportado cruzamiento abierto y gran heterocigosidad en la especie, causante de la variabilidad intraespecífica observada en la producción de plántulas y plantaciones logradas (López Lauenstein *et al.*, 2012, Verga *et al.*, 2009). De acuerdo con Mckay *et al.* (2005), una elección incorrecta de los genotipos que se reproducen puede traducirse en procesos de mala adaptación que deprimen el vigor de los árboles implantados y pueden comprometer su supervivencia. Es por ello que la detección de algarrobos “in situ” mínimamente explotados es de gran importancia para el establecimiento de poblaciones base destinadas a programas de conservación y reproducción (Roldan Bernhard, 2007). Ledesma *et al.* (2008), llevaron a cabo un estudio con 2 orígenes (Chaco y Santiago del Estero) de *P. alba* sobre características productivas como diámetro y altura, descubriendo que la procedencia del Chaco tiene características fenotípicas más estables en la progenie. López *et al.* (2001) evaluaron 57 familias de *P. alba* de 8 orígenes correspondientes a la provincia fitogeográfica del Chaco, encontrando una alta heredabilidad en altura y diámetro a la altura del cuello en las procedencias de Castelli (Chaco) e Ibarreta (Formosa). Del mismo modo, Salto y López (2011) evaluaron 217 familias de polinización abierta de diferentes orígenes de *P. alba*, mostrando que las procedencias del norte de Formosa, Salta (cuena del río Bermejo), Chaco (cuena del río Bermejo) y los sitios Laguna Yema (Formosa) y Santa María (al norte de Salta) evidencian mayor estabilidad genética. Estos orígenes son materiales prometedores para futuras mejoras.

La mejora genética y la conservación de las especies forestales enfrentan problemas difíciles de resolver con el uso exclusivo de herramientas convencionales, por lo que la aplicación de marcadores microsatélites constituye una técnica apropiada para la identificación de especies y las relaciones filogenéticas. A través de estudios moleculares, también es posible obtener diferentes índices genéticos de distancia y generar esquemas ramificados o dendrogramas, que permiten demostrar la similitud genética de los materiales (Carrera *et al.*, 2004). Mottura (2006) desarrolló seis SSRs genéticos y Torales (2013) 11 SSRs funcionales en genes de estrés abiótico siendo informativos y útiles para caracterizar genotipos de *P. alba*. El objetivo del trabajo fue caracterizar la estabilidad genética de 19 familias de *P. alba*, del departamento de General Güemes-Chaco, Argentina a través de marcadores moleculares y caracteres morfométricos. La selección del origen se basó en la estabilidad genética de la progenie (Lopez *et al.* 2001, Ledesma *et al.* 2008, Salto y López, 2011) y la especie *P. alba* por su alto interés económico para el polo productivo de la región.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en la EEA (Estación Agrícola Experimental) INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) Sáenz Peña, (Latitud Sur 26° 47' 27" y Oeste Longitud 60° 26' 29", Altitud 90 m s. n. m.), Chaco. Durante los años 2014-2016.

Material vegetal

Diecinueve familias pertenecientes a la colección de *Prosopis* spp fueron seleccionadas del banco de germoplasma INTA Sáenz Peña según el origen (Departamento General Güemes ubicado entre los paralelos 24° y 27° de Latitud Sur y los meridianos 60° y 69° de Longitud Oeste, de la provincia de Chaco). La plantación presenta un diseño experimental con un distanciamiento de 4x4 m y 4 pseudorepeticiones por familia.

Métodos

1- Caracterización molecular: para la extracción de ADN, se seleccionaron brotes jóvenes y se utilizó el Qiagen® Plant DNA Easy Mini Kit. En el momento de la extracción, la plantación tenía cuatro años.

La cuantificación se llevó a cabo de manera visual directa mediante comparación de las muestras con concentraciones conocidas de ADN del bacteriófago Lambda (Fermentas) corridos en geles de agarosa al 0,8 %. A partir de la determinación de las concentraciones iniciales, se obtuvo una dilución de trabajo final de 10 ng/μl.

En este estudio se contó con once (11) microsátélites funcionales. Para la amplificación de los mismos se utilizó el *kit* para PCR Taq DNA Polimerasa (Fermentas), con un tiempo de ciclado según protocolo reportado por Torales (2013), y seis (6) SSRs genómicos, con un tiempo de ciclado según Mottura *et al*, (2005).

La visualización de los productos de PCR se llevó a cabo mediante electroforesis en cuba vertical para geles de poliacrilamida, los que fueron teñidos con nitrato de plata y revelados con carbonato de sodio.

La determinación de los pesos en pares de bases (pb) de las bandas se realizó tomando un valor de referencia del marcador de 10 pb DNA ladder (Invitrogen).

La estimación de la similitud genética entre y dentro de familias se realizó mediante el programa NTSYS versión 2.01e (Rohlf, 1993), utilizando el coeficiente de Jaccard (1908) y el método UPGMA (Unweighted Pair Group Method Average) que generó gráficamente una estructura arborescente o dendrograma.

En la estimación de la diversidad genética se utilizó el software GenAlEx 6 (Peakall y Smouse, 2006) para el cual se obtuvo una matriz de datos mediante la estimación del tamaño de los alelos expresado en pares de bases. Se estimaron los siguientes parámetros genéticos: número de alelos observados por locus (N_a), número promedio de alelos por locus (A/L), número efectivo de alelos por locus (N_e) (N_e estimado como $1/\sum p_i$ donde p_i es la frecuencia i^{a} del alelo en el locus), alelos privados (únicos), heterocigosidad observada (H_o) y heterocigosidad esperada (H_e). Además, se realizó un análisis molecular de variancia (AMOVA) y se obtuvieron los estadísticos F de Wright (Wright, 1951).

2- Caracterización morfológica: Al momento de la toma de datos morfométricos la plantación contaba con cinco años. Las mediciones se llevaron a cabo sobre cuatro (4) genotipos de cada familia, siendo un total de 76 árboles analizados, midiéndose las siguientes variables: altura total

(AT, medida en m), diámetro a la altura del pecho (DAP, medida en cm), altura de bifurcación de fuste (ABF, medida en m) y número de fustes (N° F).

Las variables fueron analizadas mediante el programa InfoStat/P (Di Rienzo *et al.*, 2009), aplicando un análisis estadístico descriptivo para todas las variables medidas, utilizando medidas de resumen: media, límites de mínimo (Min.) y máximo (Máx.). Además, se construyó un gráfico de barras apiladas, mostrando la contribución que presentan las distintas variables medidas. Por último, se realizó un análisis de la varianza no paramétrica Kruskal Wallis al 5 % (Kruskal y Wallis, 1952, Marasciulu, 1977).

3. RESULTADOS

1-Caracterización molecular:

Del total de 17 marcadores microsatélites utilizados, tres (3) fueron descartados ya que no se logró una transferencia exitosa y resultaron poco informativos para el estudio.

Para el total de las familias estudiadas, se realizó una estimación de la similitud genética dentro de cada familia, donde se evidenció que la familia 10 (BGFN0012) presentó la mayor similitud entre los medios hermanos (Tabla 1); mientras que la familia 3 (BGFN0045) mostró la menor similitud entre sus genotipos (Tabla 2)

Tabla 1: Matriz de similitud obtenida aplicando el coeficiente de Jaccard Familia 10 (BGFN0012).

	Árbol 1	Árbol 2	Árbol 3	Árbol 4
Árbol 1	1			
Árbol 2	0,904	1		
Árbol 3	0,800	0,850	1	
Árbol 4	0,800	0,666	0,680	1

Tabla 2: Matriz de similitud obtenida aplicando el coeficiente de Jaccard Familia 3 (BGFN0045).

	Árbol 1	Árbol 2	Árbol 3	Árbol 4
Árbol 1	1			
Árbol 2	0,750	1		
Árbol 3	0,600	0,615	1	
Árbol 4	0,739	0,708	0,818	1

Al analizar la similitud genética entre las 19 familias, las progenies se relacionaron en un solo grupo con un 45 % de similitud lo que indicaría un 65 % de variabilidad entre ellas. Las progenies no se agruparon por familia a excepción de la Familia 11 (BGFN0011), siendo los árboles 2 y 3 los que presentaron mayor asociación (82 %); por otra parte los genotipos 1 y 2 de la familia 10 (BGFN0012) presentaron una asociación del 90 % (Figura 1).

En la Tabla 3 se describen los promedios de: número de alelos observados por locus (N_a), número efectivo de alelos por locus (N_e), heterocigosidad media observada y la heterocigosidad media esperada (H_o y H_e respectivamente). El número total de alelos observados (N_a) para todas las familias en todos los loci fue de 43, siendo los marcadores, S-P1EPIV2 y Mo16 los que presentaron el valor más alto ($N_a = 2,47$) con una media general por locus en toda la población de 1,98 (A/L). El número de alelos efectivos (N_e) presentó un valor medio de 1,69. La heterocigosidad observada (H_o) y esperada (H_e) arrojaron valores medios de 0,44 y 0,34 respectivamente indicando alta probabilidad de endogamia entre las familias.

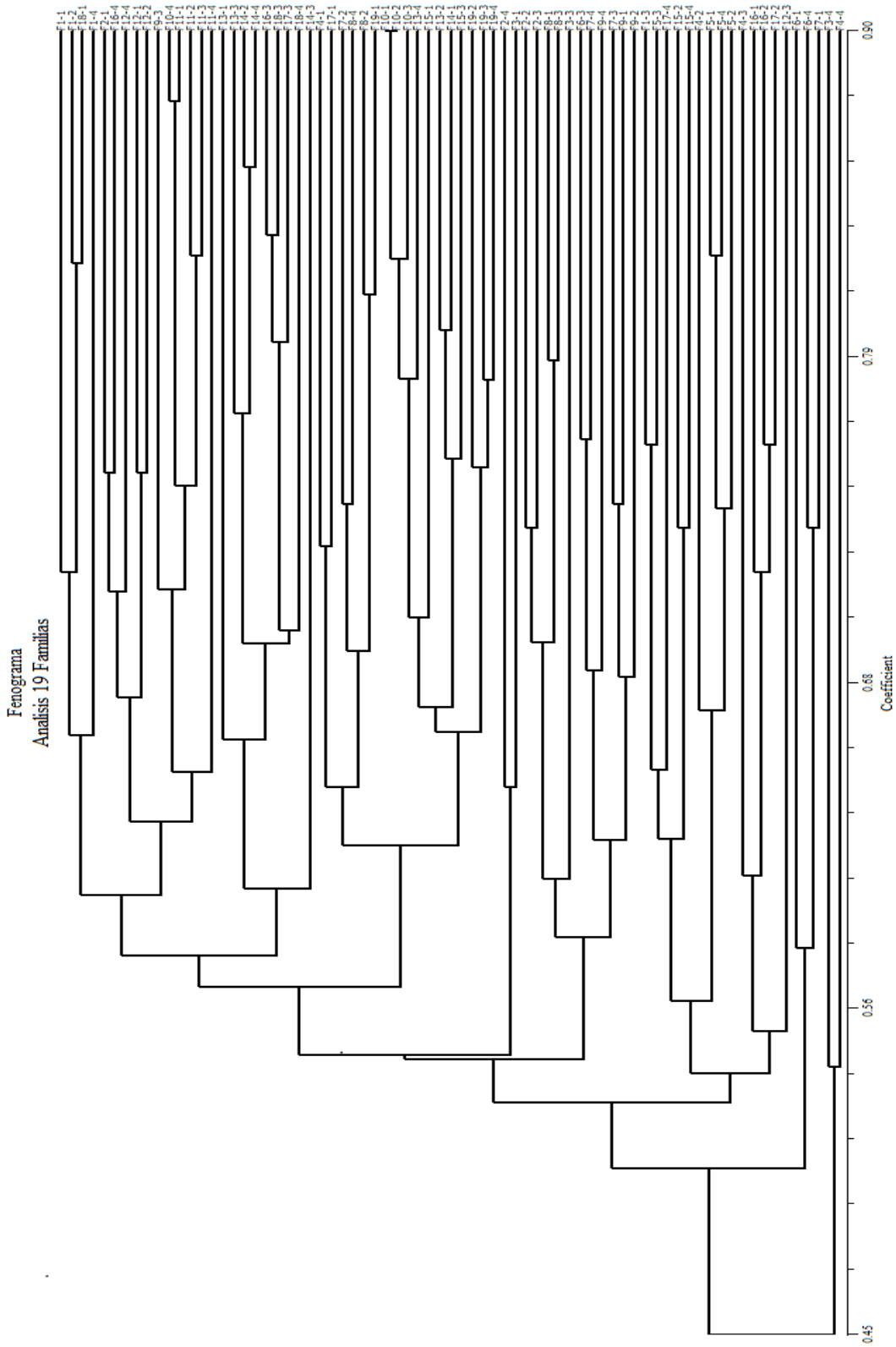


Figura 1. Fenograma SSRs obtenido por la técnica de agrupamiento UPGMA utilizando el coeficiente de JACCARD, para el total de las familias analizadas.

Tabla 3. Diversidad genética de la población por Loci

	SSR	N _a	N _e	H _o	H _e
SSRs Funcionales	IP00930b	1,47	1,33	0,19	0,10
	IP00930c	1,74	1,46	0,27	0,24
	IP00930d	1,95	1,68	0,35	0,52
	IP03211	2,42	2,09	0,46	0,54
	IP03325a	1,95	1,71	0,39	0,46
	IP07653	1,84	1,46	0,28	0,35
	IP10500	1,53	1,22	0,15	0,20
	S-P1DKSFA	1,84	1,57	0,33	0,51
	S-P1EPIV2	2,47	1,95	0,45	0,54
SSRs Genómicos	Mo05	1,89	1,65	0,29	0,25
	Mo07	2,16	1,77	0,39	0,52
	Mo09	1,79	1,53	0,30	0,46
	Mo13	2,32	2,04	0,49	0,74
	Mo16	2,47	2,21	0,51	0,81
	Media general	1,98	1,69	0,44	0,34

N_a: media del número de alelos observado por locus; N_e: Número efectivo de alelos por locus; H_o: heterocigosidad media observada; H_e: heterocigosidad media esperada. .

Se evidenciaron dos alelos privados, uno en la familia 1 (BGFN0062) para el marcador Mo05 (alelo 118 pb con una frecuencia de 0,125) y uno en la familia 7 (BGFN0015) para el marcador IP00930d (alelo 208 pb con una frecuencia 0,125). El AMOVA estimó que el 87 % de la variación genética se encuentra dentro de cada familia mientras que entre familias es de un 13 % (Figura 2). En la tabla 4 se observan los estadísticos F de Wright estimados para las 19 familias en estudio, el cual arrojó valores para F_{st}: 0,14 (baja diferenciación genética entre familias) y F_{is}: -0,121 (exceso de heterocigosis dentro de cada familia).

Porcentaje de Variancia Molecular

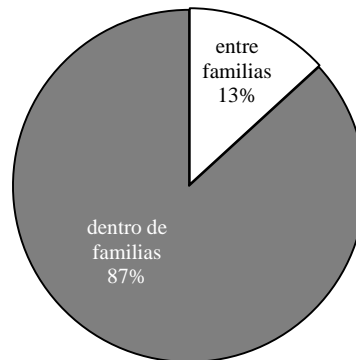


Figura 2. Gráfico de torta mostrando la distribución de la variancia.

Tabla 4. Análisis mediante estadístico F de Wright

Estadístico-F	Valor	P(aleat. >= dato)
F _{st}	0,146	0,001
F _{is}	-0,121	1,000

2-Characterización morfológica: el análisis estadístico descriptivo realizado para todas las variables en estudio evidenció que la familia 10 (BGFN0012) mostró la mayor altura media

(5,95 m) con valores entre 5,60 y 6,20 m. En cuanto al DAP el promedio más alto (10,64 cm) lo manifestó la familia 7 (BGFN0015), con valores entre 17,30 y 6,53 cm; mientras que para la variable ABF, la familia 14 (BGFN0008) expresó mayor uniformidad entre sus genotipos con una media de 0,68 siendo el valor mínimo a 0,50 m y el máximo a 0,89 m de altura. Por último para la variable N° F la familia 3 (BGFN0045) se presentó como la más estable con un valor medio de 2 fustes por árbol (Tabla 5).

Tabla 5. Tabla de valores medios, Min, Max para las variables: altura total (AT), altura de bifurcación de fuste (ABF), número de fustes (N°F) y diámetro a la altura del pecho (DAP).

Variables Familia	AT			ABF			N°F			DAP		
	Media	min	max	Media	min	max	Media	min	max	Media	min	max
FLIA 19	5,90	4,80	6,40	0,73	0,25	1,35	2,75	1	4	9,42	8,03	12,50
FLIA 18	5,73	5,00	6,40	0,78	0,50	1,10	2,67	2	4	9,58	8,50	11,40
FLIA 17	5,88	5,40	6,80	0,54	0,25	0,85	2,75	2	4	8,95	6,85	10,73
FLIA 16	5,75	5,20	6,20	0,62	0,35	0,87	3,75	3	6	8,22	6,73	10,50
FLIA 15	5,65	5,60	5,80	0,53	0,35	0,98	4,00	3	5	8,23	5,60	10,53
FLIA 14	5,43	4,60	5,90	0,68	0,50	0,89	2,50	2	3	10,29	7,37	13,70
FLIA 13	4,98	4,10	5,60	0,82	0,43	1,08	3,00	2	5	7,90	5,03	11,90
FLIA 12	5,60	5,40	6,00	0,68	0,00	1,48	3,25	1	5	8,64	7,80	10,18
FLIA 11	5,48	5,00	5,80	0,80	0,42	1,31	3,00	1	5	9,94	6,77	17,00
FLIA 10	5,95	5,60	6,20	0,68	0,32	0,93	3,75	3	6	9,43	7,80	11,20
FLIA 9	5,48	5,00	6,00	0,92	0,25	1,40	2,50	1	4	9,07	7,70	12,00
FLIA 8	5,60	4,80	6,40	0,66	0,40	0,84	3,25	2	4	8,31	7,63	9,30
FLIA 7	5,93	5,60	6,50	0,87	0,30	1,35	2,50	1	4	10,64	6,53	17,30
FLIA 6	4,47	3,00	5,30	0,38	0,00	0,88	3,33	2	5	5,50	2,00	7,50
FLIA 5	5,65	4,30	7,80	0,21	0,00	0,35	4,00	2	5	7,03	5,00	9,10
FLIA 4	4,75	3,40	5,40	0,54	0,00	1,05	2,25	2	3	7,55	3,00	11,45
FLIA 3	5,17	5,00	5,30	0,96	0,48	1,20	2,00	2	2	8,05	5,60	9,60
FLIA 2	5,58	5,40	5,70	0,52	0,00	0,94	4,25	2	7	7,30	5,93	8,80
FLIA 1	5,08	4,50	5,80	0,68	0,00	1,38	5,25	3	9	8,71	7,50	11,20

min: mínimo; max: máximo.

El análisis de la variancia no paramétrico Kruskal Wallis indicó que no existen diferencias significativas entre las 19 familias en relación con las variables de AT ($p=0,0986$), ABF ($p=0,6294$), N° F ($p=0,3767$) y DAP ($p=0,3767$) (Tabla 6), coincidiendo con los resultados del ANOVA.

Tabla 6. Análisis no paramétrico de la variancia

Variabes	Kruskal-Wallis test. ($p=0,05$)
AT	$p=0,0986$
ABF	$p=0,3767$
N° F	$p=0,6337$
DAP	$p=0,6294$

El gráfico de barras apiladas (Figura 3) muestra la partición de todas las variables analizadas. La AT presentó proporciones similares entre las familias, siendo la variable más estable, mientras que ABF, N° F y DAP presentaron menor estabilidad. A su vez, las variables N° F y DAP evidenciaron valores inversamente proporcionales (mayor número de fustes menor diámetro).

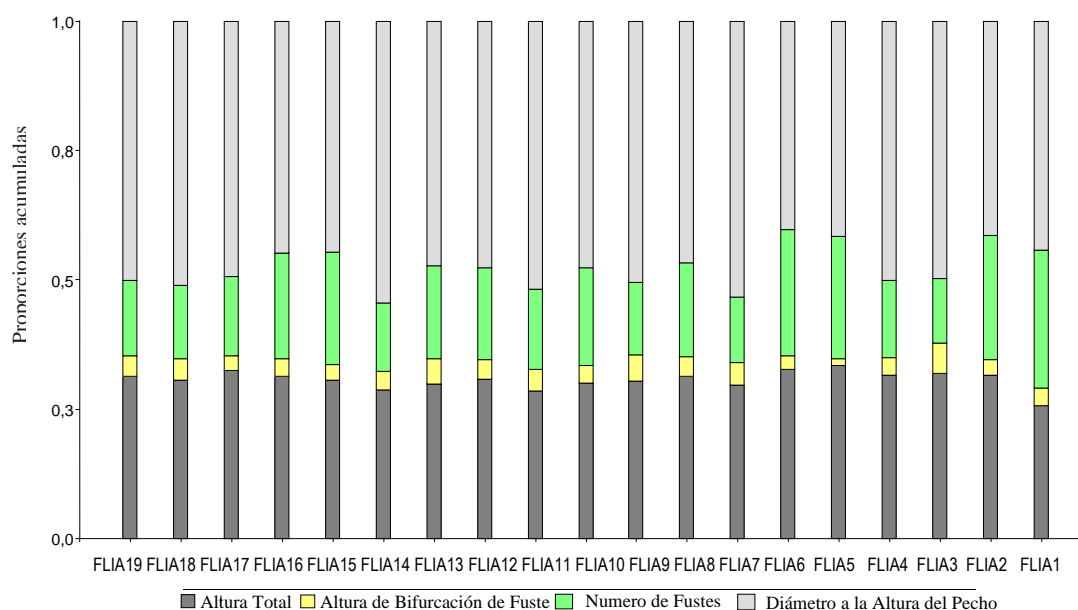


Figura 3. Gráfico de barras apilado para las variables de AT, ABF; N° F, DAP en cada familia.

4. DISCUSIÓN

Los estudios moleculares permitieron establecer una alta similitud entre los individuos de la familia 10 (BGFN0012) indicando que la planta madre fue polinizada por un reducido número de árboles padres, lo que representa menor diversidad genética en la progenie (Bessegá *et al*, 2000).

La similitud genética entre las 19 familias y los 14 SSRs estableció un solo grupo con 45 % de similitud entre progenies. Estos resultados muestran que la formación de los grupos no está en función del criterio familiar sino individual, debido a que las diferencias de variabilidad se encuentran dentro de familias y no entre las mismas. El análisis de la diversidad genética o heterocigosidad esperada para todos los locus resultó más baja ($H_e = 0,348$) que la heterocigosidad observada ($H_o = 0,445$), indicando un grado de endogamia (Loo, 2011) y por lo tanto una reducida diversidad genética entre familias. Esta baja variabilidad estaría relacionada, según Weller *et al*. (1996) y Sosa (2001), al tamaño poblacional, el sistema de cruzamiento y las relaciones filogenéticas de las especies. Además, el número de progenies analizadas es pequeño, y los genotipos proceden de una sola área geográfica (Departamento Güemes), sumado a que la dispersión del polen en especies de la sección Algarobia es limitada (Bessegá *et al*, 2000). Los estadísticos F de Wright (Wright 1951), índice F_{st} (0,146) y F_{is} (-0,121) junto al AMOVA (87 % de variabilidad genética dentro de familia versus 13 % entre familias), mostraron que la mayor variación genética se encuentra dentro de las familias. Carrera *et al* (2012) obtuvieron resultados similares cuando estudiaron 217 familias de progenies de polinización abierta provenientes de diez orígenes, mostrando que la mayor parte de la variación ocurre dentro de las familias (77 %), mientras que la diferenciación entre familias (dentro de cada origen) es de un 18 %. Este comportamiento es muy común en especies forestales principalmente en anemófilas (Hamrick *et al*, 1992).

En cuanto a la expresión del fenotipo, la familia 10 (BGFN0012) presentó la mayor altura promedio ($5,95 \text{ m} \pm 0,25$) mostrando poca dispersión para este carácter, y un DAP con un valor medio de $9,43 \text{ cm} \pm 1,46$. Delvalle *et al* (2011) encontraron valores similares al evaluar el crecimiento de ejemplares provenientes de diez rodales, con dos años de implantación, siendo el origen de Isla Cuba (Formosa) quien presentó una alta homogeneidad en las variables evaluadas

(diámetros a la altura del cuello 2,41 y 0,45 cm y altura total de 2,1 m). Las variables ABF y N° F para esta familia presentaron valores medio de $0,68 \text{ m} \pm 0,27$ y $3,75 \pm 1,5$ respectivamente. La familia 16 (BGFN0006) mostró para el crecimiento primario (AT) un valor medio de $5,75 \text{ m} \pm 0,44$, y un promedio en crecimiento secundario (DAP) de $8,22 \text{ cm} \pm 1,65$. En cuanto a las variables ABF el valor medio fue $0,62 \text{ m} \pm 0,21$ y para el N° F fue de $3,75 \pm 1,5$. Los valores de las variables ABF y N° F indicaron bajo potencial de rendimiento de la madera para aserrío (Ugalde, 1981). Sin embargo, a partir de un manejo silvícola adecuado, estos parámetros podrían ser mejorados para responder las demandas locales de rollos con una longitud mínima 1,30 m y preferentemente que superen los 2,10 m (Kees y Michela, 2016). En el análisis de la variancia no paramétrico (Prueba de Kruskal Wallis) las variables morfométricas (AT, ABF, N° F, DAP) no presentaron diferencias significativas ($p=0,05$) entre familias, coincidiendo con el análisis de variabilidad obtenido mediante la variancia molecular. En cuanto al gráfico apilado (Figura 3) la variable que presentó comportamiento más estable para todas las familias fue AT. Resultados similares fueron encontrados por Carrera *et al* (2012) cuando evaluaron rasgos cuantitativos de crecimiento como la altura (H) y diámetro a la altura del pecho (DAP), y rasgos cualitativos como espinas y 11 caracteres de hojas en diferentes orígenes.

Por lo tanto, una elección errónea del material a reproducir puede traducirse en procesos de mala adaptación deprimiendo el vigor de los árboles implantados y hasta comprometiendo su supervivencia (Mckay *et al.*, 2005); es por ello que la selección por progenie sería una elección acertada para evadir estas consecuencias indeseadas. Un criterio similar fue reportado por Verga (2013) en rodales semilleros de *Prosopis* a partir del bosque nativo.

5. CONCLUSIONES

La selección de genotipos se realizó en función del criterio individual y no familiar, debido a que las diferencias de variabilidad se manifestaron dentro de familias y no entre las mismas.

- Se seleccionaron los árboles 2 y 3 de la Familia 11 (BGFN0011) y, 3 y 4 de la familia 3 (BGFN0045) que si bien mostraron una alta estabilidad a nivel molecular y morfológico conservan un porcentaje de variabilidad.
- La estabilidad genética de los genotipos recolectados no se asoció con la similitud de los parámetros de alta productividad.
- Como perspectiva, los árboles seleccionados se usarán en los programas de mejora de *Prosopis alba*.

Agradecimiento:

Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Formosa (UNAF) - Instituto de Tecnología Agropecuaria (INTA).

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Besega, C. F.; L. I. Ferreyra; J. C. Vilardi y B. O. Saidman. 2000. Unexpected low genetic differentiation among allopatric species of section Algarobia of *Prosopis* (Leguminosae). *Genética* 109:255-266.
- Carrera A. D.; G. E. Tranquilli y M. Helguera. 2004. Aplicaciones de los Marcadores Moleculares. *Biocología y Mejoramiento Vegetal* 2:149-160.
- Carreras, R.; C. F. Besega; C. R. López; B. O. Saidman y J. C. Vilardi. 2012. *Componentes de variación genética cuantitativa y molecular en Prosopis alba (LEGUMINOSAE)*. XV Congr. Latinoamericano de Genética, XLI Congr. Argentino De Genética, XLV Congr. Soc. Genética de Chile, II Reunión Regional SAG-Litoral. Rosario, Santa Fe.
- Cony, M. 1996. Genetic variability in *Prosopis flexuosa* D.C., a Native Tree of the Monte Phytoecographic Province, Argentina. *Forest Ecology and Management* 87:41-49.
- Delvalle, P.; M. A. Atanacio; M. Ayala; I. A. Svriz, y J. Bankoff Petkoff. 2011. Ensayo de Orígenes de *Prosopis alba* Griseb (Algarrobo blanco). [en línea] [Fecha de consulta: diciembre 2015], p 1-8 Disponible en: <https://inta.gob.ar/documentos/ensayo-de-origenes-de-prosopis-alba-griseb-algarrobo-blanco>.
- Di Rienzo J. A.; R. Macchiavelli y F. Casanoves. 2009. Modelos Mixtos en InfoStat. Agro 6998 [en línea] [fecha de consulta: junio 2016] p.1-193 Disponible en: <http://academic.uprm.edu/rmacchia/agro6998/TutorialMMesp.pdf>
- Felker, P.; C. Lopez; C. Soulier; J. Ochoa; R. Abdala and M. Ewens; 2001. Genetic Evaluation of *Prosopis alba* (algarrobo) in Argentina for Cloning Elite Trees. *Agroforestry Systems* 53:65-76.
- Giménez, A. M. y J. G. Moglia. 2003. *Arboles del Chaco Argentino. Guía para el reconocimiento dendrológico*. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Santiago del Estero, Argentina. ISBN: 978-95852-9-1. 308 p.
- Hamrick, J. L.; M. J. Godt; and S. L. Sherman-Broyles. 1992. Factors influencing levels of genetic diversity in woody plant species. *New Forests* 6:95-124.
- Kees, S M. y J. F. Michela. 2016. Aspectos de la producción primaria y el mercadeo del algarrobo en Chaco, Argentina. Artículo de divulgación [en línea] [fecha de consulta: agosto 2016]. Disponible en: <http://inta.gob.ar/documentos/aspectos-de-la-produccion-primaria-y-el-mercadeo-del-algarrobo-en-chaco-argentina>.
- Kruskal, W and W. Allen Walli. 1952. Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis, *Journal of the American Statistical Association* 47(260):583-621
- Ledesma, T.; G. De Bedia y C. R. López. 2008. Productividad de *Prosopis alba* Griseb en Santiago del Estero. *Quebracho* 15: 5-9.
- Loo, J. 2011. *Manual de Genética de la conservación. Principios aplicados de genética para la conservación de la diversidad genética*. Primera edición. Italia, Roma ISBN: 978-607-715-007-7. 200p.
- López, C. R. 1992. *Variación Fenotípica e Genética em Clones de E. urophylla da Ilha Flores*. Tesis de Maestría. ESALQ - Universidad de San Pablo, Piracicaba, S.P. Brasil, 101 p.
- López, C. R.; A. Maldonado Zamora y V. Salim. 2001. Variación genética de progenies de *Prosopis alba*. *Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales* 10(1): 59-68.
- López Lauenstein D.; C. Vega; R. Ritter; P. Venier; C. A. Gómez y A. R. Verga. 2012. *Ensayos de orígenes de Prosopis alba*. En: Reunión Nacional del Algarrobo; 13-14 noviembre; 2012; Córdoba, Argentina. Córdoba: Encuentro Grupo Editor. 65-67p.
- Marasciulu, L. A. 1977. *Nonparametricand distribution. Free Methods fpr the Social Sciences*. Chapter 12. California. p.299-324.
- McKay, J. K.; C. E. Christian; S. Harrison and K. J. Rice. 2005. 'How Local Is Local?'- A Review of Practical and Conceptual Issues in the Genetics of Restoration. *Restoration Ecology* 13 (3):432-440.

- Mottura, M. C. 2006. *Development of Microsatellites in Prosopis spp. and their Application to Study the Reproduction System*. Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Forestry Science at the Faculty of Forest Sciences and Forest Ecology, Georg-August University of Göttingen [en línea] [fecha de consulta: febrero 2015] p.217. Disponible en: <https://ediss.uni-goettingen.de/bitstream/handle/11858/00-1735-0000-0006-B100-F/mottura.pdf?sequence=1>.
- Mottura, M. C.; R. Finkeldey; A. R. Verga y O. Gailing. 2005. Development and characterization of microsatellite markers for *Prosopis chilensis* and *Prosopis flexuosa* and cross-species amplification. *Mol. Ecol. Notes* 5: 487-489.
- Peakall R. and P. E. Smouse. 2006. GenAEx 6: Genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. *Molecular Ecology Notes* 6(1): 288-295.
- Rohlf, F. J. 1993. *NTSYS-pc Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System, Version 2.01e*. Exeter Publishing Ltd., Setauket, New York, USA. 32p.
- Roldán Bernhard, S. 2007. *Teledetección Espacial para el Estudio de la Distribución Geográfica de Algarrobales en el Chaco Argentino*. III Jornadas Forestales de Santiago del Estero. Junio 2007. Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (FCF UNSE) ISSN 1669-5070. [en línea] Disponible en: <http://fcf.unse.edu.ar/index.php/cs-events/iii-jornadas-forestales-de-santiago-del-estero-el-bosque-nativo-propuestas-productivas-sustentables>.
- Salto, C. S. y C. R. López. 2012. *Variación genética en progenies de polinización abierta de Prosopis alba Griseb. de la Región Chaqueña*. Actas Reunión Nacional del algarrobo. Córdoba. p. 100.
- Sosa, P. 2001. Genes, Poblaciones y Especies. En: Martín-Esquivel J. & J.M. Fernández-Palacios (eds.). *Naturaleza de las islas Canarias*. Publicaciones Turquesa. Tenerife, España, p.151-155.
- Torales, S. L. 2013. De novo assembly and characterization of leaf transcriptome for the development of functional molecular markers of the extremophile multipurpose tree species *Prosopis alba*. *BMC Genomics* 14(1): 705.
- Torggler, M. 1987. Variação Genética entre Progenies dentro de Procedências de *E. saligna*. Tesis de Maestría. ESALQ - Universidad de San Pablo, Piracicaba, S.P. Brasil, 198 p.
- Ugalde, L. 1981. Conceptos Básicos de Dasometría - Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza-Catie- programa de recursos naturales renovables. Turrialba Costa Rica. [en línea] Disponible en: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A5909e/A5909e.pdf>.
- Verga, A. R. 2005. Recursos Genéticos, Mejoramiento y Conservación de Especies del Género *Prosopis* en: *Mejores árboles para más forestadores: El Programa de Producción de Material de Propagación Mejorado y el Mejoramiento Genético en el Proyecto Forestal de Desarrollo* Eds: Carlos A. Norberto. SAGPyA-BIRF.
- Verga, A. R. 2013 Rodales semilleros de *Prosopis* a partir del bosque nativo. *Quebracho* 19(1,2): 125-138.
- Verga, A. R.; D. López Lauenstein; C. R. López; M. Naval; J. Joseau; C.A. Gómez, O. M. Royo; W. Degano y M. Marcó. 2009. Caracterización Morfológica de los algarrobos (*Prosopis sp.*) en las Regiones Fitogeográficas Chaqueña y Espinal Norte de Argentina. *Quebracho* 17(1,2): 31-40.
- Weller, S. G.; A. K. Sakai and C. Straub. 1996. Allozyme Diversity and Genetic Identity in *Schiedea* and *Alsinidendron* (Caryophyllaceae: Alsinoideae) in the Hawaiian Islands. *Evolution* 50: 23-34.
- Wright, S., 1951 The genetical structure of populations. *Ann. Eugen.* 15: 323-354.



NOTA TÉCNICA

Propiedades físicas de la madera de *Pinus taeda* en el Distrito de Pedro Juan Caballero, Paraguay

Physical properties of the Pinus taeda wood of the Pedro Juan Caballero District, Paraguay

Vega Britez G. D.¹; L. P. Elias Dacosta²; J. A. Velázquez Duarte¹; N. D. Lesmo Duarte¹ y M. A. Agüero Ferreira¹

Recibido en mayo de 2018; aceptado en marzo de 2019

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar las propiedades físicas de la madera *Pinus taeda* L., en el Distrito de Pedro Juan Caballero, Paraguay. Para tal efecto fueron apeados de forma aleatoria seis árboles de pino de 25 años de edad en un rodal de 3,5 hectáreas. De acuerdo a la norma COPANT (458, 460, 461, 462), de cada árbol fueron retirados discos de 5 cm de espesor a tres alturas (sección inferior, medio y superior). De cada disco de madera se extrajeron cuartones para determinar la densidad básica y probetas para determinar el contenido de humedad y la variabilidad dimensional: contracciones tangencial, radial, longitudinal, y volumétrica. La densidad básica no varió entre las secciones inferior, media y superior, presentando valores promedios de 0,626, 0,625 y 0,630 g/cm³, y el contenido de humedad promedio resultó en 70,3 %. Los valores de contracción tangencial, radial, longitudinal y volumétrica fueron de 6,41 %, 5,99 %, 0,51 % y 12,5 %, respectivamente. De acuerdo a los resultados obtenidos de densidad básica de *Pinus taeda* L. de 25 años, la misma se clasifica como madera pesada, de buena trabajabilidad, ideal para uso estructural.

Palabras clave: densidad básica, humedad, contracción.

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the physical properties of the wood of *Pinus taeda* L. of the Pedro Juan Caballero District, Paraguay. For this purpose, six 25-year-old pine trees were randomly selected in a 3.5 hectare stand. According to the 458, 460, 461 and 462 COPANT standards, 5 cm thick discs were removed at three different heights (lower, middle and upper section) from each tree. From them, scantlings were extracted to determine basic density, moisture content and dimensional variability, i.e. tangential, radial, longitudinal and volumetric contractions. The former did not vary among the lower, middle and upper sections showing mean values of 0.626, 0.625 and 0.630 g/cm³; the mean moisture content was of 70.3 %. The values for their tangential, radial, longitudinal and volumetric contractions were 6.41 %, 5.99 %, 0.51 % and 12.5 % respectively. According to the results obtained for the basic density of the 25-year-old *Pinus taeda* L., it is classified as a heavy, highly workable ideal for structural use.

Key words: basic density, moisture, contractions

¹ Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias, Carrera de Ingeniería Agronómica, Pedro Juan Caballero, Paraguay. E-mail: gda_vega@hotmail.com

² Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias, Carrera de Ingeniería Forestal, San Lorenzo, Paraguay.

1. INTRODUCCIÓN

El *Pinus taeda* Lambert es oriundo de las planicies adyacentes al Golfo de México y de la costa Atlántica al sureste de Estados Unidos; en general crece hasta una altitud de 800 m. Se trata de una de las especies madereras más importante de los Estados Unidos con más de 10 millones de hectáreas plantadas en el sureste (Vázquez-Cuecuecha *et al.*, 2015).

La madera de esta especie es un recurso renovable con infinidad de usos, indicada para construcción civil, muebles, durmientes, cajas y apta para arborización de parques y jardines. Además, de acuerdo a Priadi y Hiziroglu (2013), presenta propiedades que son adecuadas para la fabricación de papel. Con la creciente utilización de la madera en la industria, el estudio de sus propiedades físicas pasó a ser imprescindible para su procesamiento y uso (Palmer *et al.*, 2013). Sus propiedades físicas y mecánicas la hace uno de los materiales estructurales, combustibles y celulósicos más importante. La densidad básica es uno de los índices más útiles que caracterizan a las maderas desde el punto de vista tecnológico, debido a la alta correlación que posee en la producción de pulpas y además con las propiedades mecánicas de las tablas (Weber, 2005), al tiempo que reflejan todos los factores ambientales y genéticos que operan sobre un árbol en el transcurso de su vida (Winck *et al.*, 2015).

La densidad de la madera ha sido ampliamente utilizada como factor de predicción del uso final, indica el valor y la utilidad de la misma, y está altamente correlacionada con otras propiedades como la resistencia mecánica, la rigidez, la conductividad térmica y el calor específico (Gutiérrez-Vázquez *et al.*, 2010).

Se considera a la densidad de la madera una propiedad primaria debido a su fuerte correlación con la rigidez del tallo (Palmer *et al.*, 2013), donde ésta es influenciada por la edad de los árboles, siendo los más viejos los que presentan mayores densidades (Weber, 2005), gran variación entre árboles de la misma especie (Gutiérrez-Vázquez *et al.*, 2010), variación desde la médula hacia la corteza (Goche *et al.*, 2011) diferencias entre los componentes de albura, duramen y altura relativa del fuste (Silva-Arredondo y Návar-Cháidez, 2012), también se ve influenciada por las variables climáticas (Ivković *et al.*, 2013), por la densidad poblacional (Von Wallis *et al.*, 2007), por prácticas silvícolas como el raleo (Winck *et al.*, 2015), alta correlación con la largura de las traqueídas (Sousa *et al.*, 2007), sin embargo no varían entre los sitios donde se originan naturalmente (Vázquez-Cuecuecha *et al.*, 2015). Mientras, Martiarena *et al.* (2014) no constataron efecto de diferentes intensidad de raleo en la densidad básica de la madera de *Pinus taeda* L.

Sousa *et al.*, (2007) indicaron que la edad del árbol influye directamente en las propiedades que son diferenciadas en la posición radial de la madera de *Pinus taeda* L. existiendo una correlación positiva alta entre la densidad básica y la largura de las traqueidas, por ende, el conocimiento de los factores que influyen en la calidad de la madera, es trascendente para mejorar la utilidad de la misma (Cardoso *et al.*, 2013). Plantaciones arbóreas de especies exóticas como el pino viene siendo impulsado en el país, en vista de esta situación, en la presente investigación, se plantea como objetivo determinar las propiedades físicas de la madera en una población de *Pinus taeda* L. en el Distrito de Pedro Juan Caballero, norte de Paraguay.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La plantación de *Pinus taeda* L., se encuentra ubicada en la Colonia Raúl Ocampos Rojas, Distrito de Pedro Juan Caballero, Departamento de Amambay, norte de Paraguay. Según la sub división climática de Koeppen en base al índice hídrico, el clima corresponde al tipo aw (Tropical, con invierno seco) con temperatura media anual de 23 °C con precipitación media anual entre 1.450 y 1.700 mm (DINAC/DMH, 2016). El suelo corresponde a la clasificación Latosol Rojo (Clasificación Brasileña), la textura es franco arcillosa, con derivado basáltico (EMBRAPA, 2000). El análisis de las propiedades físicas de la madera fue realizado en el laboratorio de Suelos y Ordenamiento Territorial de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción, Filial Pedro Juan Caballero.

Material de investigación. El material estudiado fue obtenido de una plantación homogénea de 3,5 ha (15.000 m²), cuya edad al momento del estudio era de 25 años, con una densidad de plantación de 3x3 m (9 m²). Fueron seleccionadas de forma aleatoria dos (2) áreas de 450 m² cada una, apeando tres (3) árboles de cada parcela, totalizando seis (6) árboles. Fueron mensuradas las variables dendrométricas de la especie: DAP (diámetro a la altura del pecho) en cm, altura total (m), volumen (m³) y las propiedades físicas: densidad básica, contracciones tangencial, radial, y longitudinal.

Actividades de campo. El troceo y seccionado por rollo fue realizado a partir del primer corte a 1,30 m del suelo (DAP). Las secciones superiores fueron divididas en tres partes iguales (inferior, media y superior). De los extremos inferiores de cada sección fueron extraídos discos de 5 cm, de espesor, siendo libres de todo tipo de defectos. Todos los discos de 5 cm, fueron sometidos a un proceso de reaserrado en sentido transversal, a fin de obtener discos de 5 cm de espesor (Figura 1). Estos fueron nuevamente codificados y divididos en cuarterones, eliminando piezas que presentaban defectos, esto para determinar la densidad básica. A cada cuarterón se le asignó códigos, luego se procedió a eliminar la corteza y nuevamente fueron colocados en bolsas de plástico herméticamente selladas, para su posterior traslado al laboratorio (COPANT 458, 1972).

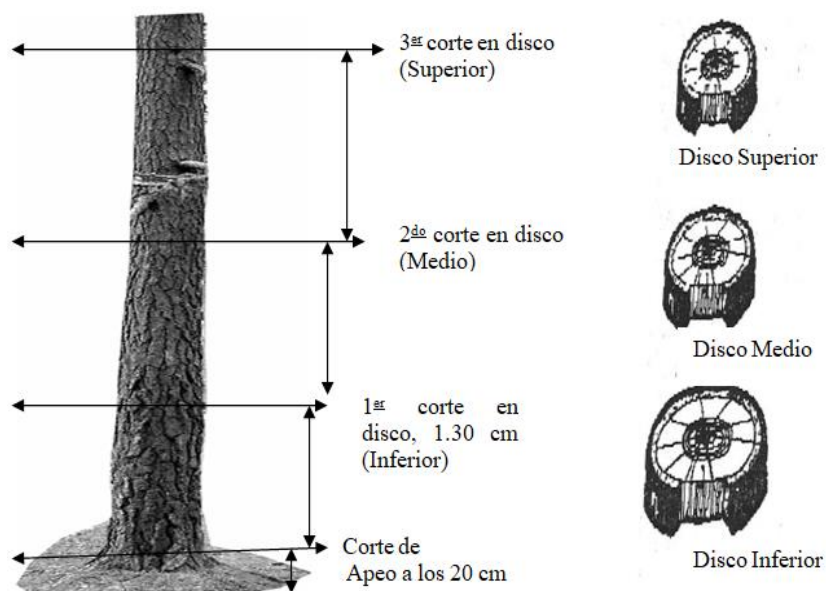


Figura 1. Ubicación de los cortes para la extracción de los discos

La elaboración de las probetas para determinar el contenido de humedad, y la variación dimensional fue en aserradero y carpintería. El sellado de las probetas fue realizado en los extremos de las mismas con pintura en spray y puestas en bolsas plásticas herméticamente selladas previo etiquetado y codificado de las mismas. *Determinación del contenido de humedad (CH)*. El ensayo del contenido de humedad (CH) se realizó de acuerdo a la norma COPANT 460 (1972), la dimensión de la probeta utilizada fue de 3,7x3,7x2,5 cm. Fueron seleccionadas, al azar, 60 probetas. Las mismas fueron pesadas con una balanza de precisión para obtención del peso húmedo y posteriormente colocadas en una estufa a temperatura de 103 ± 2 °C hasta obtener el peso constante. Posteriormente, las probetas fueron pesadas en estado seco y el contenido de humedad de las mismas fue calculado mediante la siguiente fórmula:

$$CH(\%) = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100 \quad [3]$$

Donde:

CH (%) = contenido de humedad

Ph = peso húmedo (g)

Ps = peso seco (g)

Determinación del volumen. La determinación de volumen de probetas en estado verde (V_h) fue realizado de forma directa, empleando el principio de Arquímedes, basado en la cantidad de agua desplazada, fijando por diferencia de peso en forma directa el volumen de cada muestra.

Las probetas (cuarterones) fueron sometidas a un proceso de secado en estufa, iniciando con temperatura suave de 40 °C para terminar con temperatura de 103 ± 2 °C, de acuerdo a lo indicado por la norma COPANT 461 (1972). Esta condición se mantuvo hasta que las probetas llegaran a un peso constante después de varias pesadas consecutivas.

Determinación de la Densidad Básica de las probetas. Para la determinación de la densidad básica las muestras se colocaron en agua hasta su saturación para obtener su volumen húmedo o volumen en estado verde, luego se secaron durante 24 horas a temperatura ambiente, y se colocaron en una estufa de secado con temperaturas de 103 °C hasta obtener su peso anhidro. Entre el momento de extracción de la estufa y del pesado se colocaron en una campana de desecación con gel de sílice para evitar que adquieran humedad del ambiente. Con las variables de volumen saturado, o volumen en estado verde y peso anhidro se calculó la densidad para cada muestra, utilizando la fórmula del máximo contenido de humedad de acuerdo a Smith, (1954).

$$P_e = \frac{P_0}{V_h} \quad [4]$$

Donde:

P_e = Densidad básica (g/cm^3)

P_0 = Peso anhidro de la muestra (g)

V_h = Volumen en estado verde de la muestra (cm^3)

Ensayos de contracción. El ensayo de contracción comprendió: la determinación de la contracción tangencial, contracción radial y contracción longitudinal, desde el estado verde al 0 % de CH. La dimensión de las probetas fue de 5x5x10 cm, totalizando un número de 60 siendo las mismas etiquetadas (COPANT 462, 1972). Las probetas fueron medidas con paquímetro para determinar sus dimensiones atendiendo a los cortes tangencial, radial y longitudinal (Figura 2).

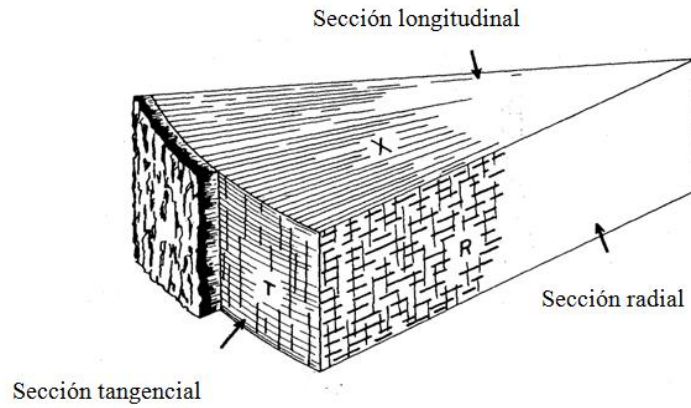


Figura 2. Planos de corte en la madera

Para determinar las contracciones tangenciales, radiales, longitudinal y volumétrica fueron utilizadas las siguientes ecuaciones:

Contracción tangencial total.

$$C_{nt} = \frac{d_{vt} - d_{st}}{d_{vt}} \times 100 \quad [5]$$

Donde:

- C_{nt} = Contracción tangencial del estado verde a 0 % de CH.
- d_{vt} = Dimensión tangencial de la probeta en verde
- d_{st} = Dimensión tangencial de la probeta seca al 0 % de CH

Contracción radial total.

$$C_{nr} = \frac{d_{vr} - d_{sr}}{d_{vr}} \times 100 \quad [6]$$

Donde:

- C_{nr} = Contracción radial del estado verde al 0 % CH
- d_{vr} = Dimensión radial de la probeta en estado verde
- d_{sr} = Dimensión radial de la probeta seca al 0 % de CH

Contracción longitudinal total.

$$C_{nl} = \frac{d_{vl} - d_{sl}}{d_{vl}} \times 100 \quad [7]$$

Donde:

- C_{nl} = Contracción longitudinal, del estado Verde al 0 % CH
- d_{vl} = Dimensión longitudinal de la probeta en estado verde
- d_{sl} = Dimensión longitudinal de la probeta seca al 0 % de CH

Contracción volumétrica total.

$$C_{nv} = C_{nt} + C_{nr} + C_{nl} \text{ [8]}$$

Donde:

C_{vt} = Contracción volumétrica total, del estado verde al 0% de CH.

C_{tt} = Contracción tangencial total

C_{rt} = Contracción radial total

C_{lt} = Contracción longitudinal total

Análisis estadístico. Posterior a la obtención de los datos, los mismos fueron sometidos al análisis de varianza (ANOVA), y los valores promedios fueron comparados por el Test de Tukey al 1 % de probabilidad (SAS, 2002).

3. RESULTADOS

Las variables dendrométricas de la especie *Pinus taeda* L., presenta un DAP medio de 22,0 cm, y una altura media de 15,4 m.

Los valores de contenido de humedad para *Pinus taeda* L., presentan un valor promedio de 70,3 % de CH para el conjunto de los árboles, así mismo, existe diferencia significativa entre los tratamientos (entre árboles) ($P < 0,01$) por el Test de Tukey (Tabla 1).

Tabla 1. Contenido de humedad (%) por árbol de la especie *Pinus taeda* L.

Árbol	CH (%)
1	93,1 a
2	76,8 b
3	69,1 c
4	67,5 c
5	61,3 d
6	54,3 d
Promedio	70,3

Valores promedios seguidas de letras iguales, no difieren entre sí por el Test de Tukey a $P < 0,01$. Diferencia Mínima Significativa (DMS): 7,31

Los valores promedio de la densidad básica para *Pinus taeda* L., están registrados en la Tabla 1. El promedio fue de 0,62 g/cm³, así mismo se observa valores de densidad básica detallada por sección para los seis árboles evaluados. El valor promedio de densidad para la sección inferior fue de 0,63 g/cm³, para la sección media fue de 0,62 g/cm³ y para la sección superior de 0,63 g/cm³. Entre secciones (inferior, media y superior) no presentan diferencias estadísticamente ($P > 0,01$) significativas entre sí. En este caso la densidad básica es igual en la base del árbol (1,30 cm), la parte media y no varía con la altura.

Tabla 2. Densidad básica (g/cm^3) por árbol y sección de la especie *Pinus taeda* L.

Árbol	Sección			Promedio
	Inferior	Media	Superior	
1	0,64	0,78	0,67	0,69a
2	0,67	0,59	0,55	0,60a
3	0,58	0,61	0,69	0,62a
4	0,58	0,57	0,67	0,60a
5	0,63	0,62	0,65	0,63a
6	0,66	0,58	0,55	0,59a
Promedio	0,63a	0,62a	0,63a	0,62

Valores promedios seguidas de letras iguales, no difieren entre sí por el Test de Tukey a $P > 0,01$. DMS: 0,08

Los valores promedio de contracción para la especie *Pinus taeda* L., fueron de 6,41 % ($P < 0,01$) en la cara tangencial 5,59 % ($P < 0,01$), en la cara radial, 0,51 % ($P < 0,01$) en la cara longitudinal y para la contracción volumétrica 12,51 % ($P < 0,01$) como se aprecia en la Tabla 3.

Existe variación entre árboles para las contracciones tangenciales, radiales, longitudinales y volumétricas. La mayor variación se presenta en la cara tangencial, seguidamente de la contracción radial y longitudinal.

Tabla 3. Contracción tangencial total, radial total, longitudinal total y volumétrica total (%) para la especie *Pinus taeda* L.

Árbol	Contracción (%)			
	Ctt	Crt	Clt	Cvt
1	5,15b	4,21b	0,55b	9,91b
2	6,33a	5,13a	0,91a	12,37a
3	7,20a	6,83a	0,38b	14,40a
4	6,60a	6,08a	0,34b	13,01a
5	6,47a	6,03a	0,42b	12,92a
6	6,72a	5,26a	0,48b	12,46a
Promedio	6,41	5,59	0,51	12,51

Ctt= contracción tangencial en porcentaje; Crt= contracción radial en porcentaje; Clt= contracción longitudinal en porcentaje; Cvt= contracción volumétrica en porcentaje. Valores promedios seguidas de letras iguales, no difieren entre sí por el Test de Tukey a $P < 0,01$. DSM= 2,009; 2,07; 0,28; 3,15 respectivamente.

4. DISCUSIÓN

El contenido de humedad difiere entre árboles (Tabla 1). Los valores promedios de densidad básica (Tabla 2) de árboles con edad de 25 años comparados con los de Weber, (2005) son superiores a las plantaciones con 16, 9 y 6 años de edad cuyos valores presentados son 0,42; 0,34 y $0,35 \text{ g/cm}^3$, es decir, a más edad, mayor la densidad, de acuerdo a densidad obtenida, la madera puede considerarse como pesada. Valores inferiores también fueron presentados por Martiarena et al., (2014) al evaluar tres intensidades de raleo de *P. taeda* (0,33 y 66 % del área basal del testigo sin ralear), los valores fueron de 0,40, 0,41 y $0,42 \text{ g/cm}^3$ para los tratamientos, así mismo, afirman que no existe una correlación entre diámetro y densidad, demostrando que la intensidad del raleo puede ser manejada para maximizar la producción, manteniendo idéntica la calidad de la madera para la industria.

Silva-Arredondo y Návar-Cháidez, (2012) registraron valores promedios de densidad básica inferior, con promedio de $0,47 \text{ g/cm}^3$, mínimo de $0,35 \text{ g/cm}^3$ y máximo de $0,59 \text{ g/cm}^3$, madera que se encuadra en medianamente pesada.

Este aumento significativo de la densidad probablemente es debido a la edad ya que la largura de la traqueída aumenta en función de la edad según Sousa *et al.* (2007), esto puede ser explicado por el aumento proporcional de la largura de las traqueídas, es decir, del aumento de la proporción de madera adulta en relación a la madera juvenil. Estos autores encontraron diferencias de densidad básica entre edades de *Pinus taeda* L., de 0,35 (9 años), 0,40 (13 años) y 0,46 (20 años) g/cm^3 . Así mismo, Oliveira *et al.*, (2006) afirman que de acuerdo al aumento de la edad ocurre aumento de la resistencia y de la densidad de la madera.

Von Wallis *et al.*, (2007) analizando la densidad básica de la madera de *Pinus taeda* L., en Misiones, Argentina, en diferentes alturas, observó que ésta es mayor en la base del árbol y disminuye con la altura con densidades arbóreas de 711, 364 y 122 pl/ha^{-1} y con 20 años de edad en el momento del estudio, e indicaron que la densidad de la madera es afectada por la densidad del rodal, cuyos valores resultaron 0,42; 0,43 y 0,44 g/cm^3 respectivamente.

Valores de densidad inferiores también fueron registrados por Goche *et al.*, (2011) en *Pinus patula* antes y después de un aclareo en México, donde obtuvieron valores de 0,45 y 0,47 g/cm^3 , así mismo, Gutiérrez-Vázquez *et al.* (2010) encontraron valores de densidad semejantes a la presente investigación (Tabla 2) al evaluar poblaciones naturales de *Pinus oocarpa* en México provenientes de tres regiones, donde encontraron variaciones con 0,61, 0,47 y 0,53 g/cm^3 evidenciando que en la misma especie existe diferencia de densidad básica cuando provienen de regiones distintas.

Mayor valor de la contracción radial fue registrado (Tabla 3) en relación a los observados por Sousa *et al.* (2007) quienes relatan una variación en la sección radial entre árboles de 9, 13 y 20 años con 2,55, 3,11 y 3,50 % en promedio respectivamente.

Mientras que los valores medios de contracción volumétrica son semejantes a los registrados por Oliveira *et al.* (2006) quienes observaron una contracción de 11,83 % para *Pinus taeda* de 20 años de edad. Estos autores no observaron diferencias estadísticas significativas para la contracción volumétrica entre edades de 9, 13 y 20 años.

Priadi y Hiziroglu, (2013) observaron una contracción de 7,66 %, 4,95 % y 12,61 % para las contracciones tangencial, radial y volumétrica respectivamente en una investigación con tratamiento con calor y su influencia en la estabilidad dimensional de la madera, semejante a los valores observados en la presente investigación.

5. CONCLUSIONES

El contenido de humedad promedio para la especie *Pinus taeda* L., fue de 70,3 %, la densidad básica de la madera: 0,62 g/cm^3 , sin diferencias entre las secciones evaluadas.

La contracción tangencial, radial, longitudinal y volumétrica caracterizan como madera pesada, apto para aserrado en general.

La madera de *Pinus taeda* L. presentó densidad básica alta, recomendada para uso de alta resistencia y de muy buena trabajabilidad.

AGRADECIMIENTOS:

Al Señor Saburo Sasaki por ceder la plantación para la realización de la investigación, al personal de laboratorio de Suelo y Ordenamiento Territorial de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción Filial Pedro Juan Caballero, Paraguay; así mismo al Ing. Agr. Rubén Martínez López y al Lic. Gregorio Armoa, por su invaluable apoyo en el trabajo de campo.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cardoso, D. J.; A. E. B. Lacerda; M. A. D. Rosot, et al. 2013. Influence of spacing regimes on the development of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) in Southern Brazil. *Forest Ecology and Management* 310: 761-769. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2013.09.021>.
- COPANT 458. 1972. *Maderas: Selección y colección de muestras*. Comisión Panamericana de Normas Técnicas, Buenos Aires, Argentina.
- COPANT 460. 1972. *Maderas: Método de determinación de la humedad*. Comisión Panamericana de Normas Técnicas, Buenos Aires, Argentina.
- COPANT 461. 1972. *Maderas: Método de determinación del peso específico aparente*. Comisión Panamericana de Normas Técnicas, Buenos Aires, Argentina.
- COPANT 462. 1972. *Maderas: Método de determinación de la contracción*. Comisión Panamericana de Normas Técnicas, Buenos Aires, Argentina.
- DINAC/DMH (Dirección Nacional de Aeronáutica Civil/Dirección de Meteorología e Hidrología) 2016. Boletín Climático Mensual. [en línea] [fecha de consulta: agosto 2016]. Disponible en: http://www.meteorologia.gov.py/adm/uploads/boletin_climatico_nuevo_logo.pdf.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria). 2000. Levantamento detalhado dos solos do campo experimental de Ponta Porã, da Embrapa Agropecuaria Oeste, Município de Ponta Porã. Dourados. MS: CPAO. Doc. 26. 41p.
- Goche, J. R. T.; A. M. Velázquez; A. Borja de la Rosa, et al. 2011. Variación radial de la densidad básica en *Pinus patula* Schltdl. et Cham. de tres localidades en Hidalgo. *Rev. Mex. Cien. For.* 2(7):71-78.
- Gutiérrez-Vázquez, B. N.; M. Gómez-Cárdenas; S. Valencia-Manzo, et al. 2010. Variación de la densidad de la madera en poblaciones naturales de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schl. TDL. del estado de Chiapas, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33(4):75-78.
- Ivković, M.; W. Gapare; H. Wu; S. Espinoza, et al. 2013. Influence of cambial age and climate on ring width and Wood density in *Pinus radiata* families. *Annals of Forest Science* 70: 525-534. DOI: 10.1007/s13595-013-0290-z.
- Martiarena R.; E. Crechi; M. Pinazo, et al. 2014. Efecto del raleo sobre el crecimiento y la densidad de la madera de *Pinus taeda* implantado en Misiones, Argentina. *Ciência Florestal* 24(3): 655-663.
- Oliveira, F. L.; I. L. Lima; J. N. Garcia, et al. 2006. Propriedades da madeira de *Pinus taeda* L. em função da idade e da posição radial na tora. *Rev. Inst. Flor.* 18(1): 59-70.
- Palmer D. J.; M. O. Kimberley; D. J. Cown, et al. 2013. Assessing prediction accuracy in a regression kriging surface of *Pinus radiata* outerwood density across New Zealand. *Forest Ecology and Management* 308: 9-16. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2013.07.024>.
- Priadi T.; S. Hiziroglu. 2013. Characterization of heat treated wood species. *Materials and Design* 49:575-582. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2012.12.067>
- SAS INSTITUTE, 2002. SAS user's guide for windows environment. 9.1.3 ed. Cary: SAS Institute Inc. SAS, 2002.
- Smith M. D. 1954. Maximum moisture content method for determining specific gravity of small samples. Forest Products Laboratory, Forest Service. U.S. Department of Agriculture. Report No. 2014. Madison WI. E.U.A. 8 p.

- Silva-Arredondo, F. M. y J. J. Návar-Cháidez. 2012. Estimating bole wood specific gravity in trees of temperate forest communities of northern Durango, Mexico. *Madera y Bosques* 18(1): 77-88.
- Sousa, R. C.; É. P. Giovanni; I. L. Lima, *et al.* 2007. Efeito da idade e da posição radial na densidade básica e dimensões dos traqueídeos da madeira de *Pinus taeda* L. *Rev. Inst. Flor.* 19(2): 119-127.
- Vázquez-Cuecuecha, O. G.; E. M. Zamora-Campos; E. García-Gallegos, *et al.* 2015. Specific gravity of wood from two pines and its relation with edaphic properties. *Maderas y Bosques* 21(1): 129-138.
- Von Wallis, A.; R. A. Martiarena; M. A. Pinazo. 2007. *Densidad básica de la madera de Pinus taeda L. Marion en función de la densidad arbórea del rodal, altura y posición transversal en el fuste.* Montecarlo, Ar: INTA. 1 vol.
- Weber, E. M. 2005. Densidad básica de madera de *Pinus taeda* L. Marion de diferentes edades en Misiones, Argentina. *Revista Floresta* 35 (3): 487-494.
- Winck, R. A.; H. E. Fassola; M. C. Área. 2015. Effect of thinning on the anatomical properties of *Pinus taeda* wood. *Maderas. Ciencia y tecnología* 17(2): 391-406. DOI:10.4067/S0718-221X2015005000037.



NOTA TÉCNICA

Eficacia de fungicidas sistémicos en el control de manchas foliares provocadas por *Alternaria* sp. y *Phoma* sp. en plantines de algarrobo blanco

Effectiveness of systemic fungicides for controlling leaf spots caused by Alternaria sp. and Phoma sp. in Prosopis alba seedlings

Parra, M.¹; D. V. Ledesma²; M. J. Ewens³; M. M. Acosta² y C. A. Zurita²

Recibido en abril de 2017; aceptado en octubre de 2019

RESUMEN

Las manchas foliares causadas por *Phoma* y *Alternaria*, son síntomas comunes en cultivos de algarrobo blanco (*Prosopis alba* Griseb.) en vivero, cuando las condiciones meteorológicas (días frescos, nublados y con lloviznas) son propicias para la aparición de estos hongos. En vista de este problema, se dispuso investigar la eficacia de dos fungicidas para controlar dicha enfermedad. Para ello se realizó un diseño experimental completamente aleatorizado con 3 tratamientos y 5 repeticiones. Uno de los tratamientos fue el control; otro, la aplicación de Azoxistrobina + Difenconazole, y el tercero, la aplicación de Carbendazim. Efectuadas las aplicaciones de los fungicidas, se determinó la incidencia de la enfermedad en cada plantín y la eficacia de los fungicidas. Los resultados de la variable "incidencia" se analizaron estadísticamente a través de un modelo lineal generalizado mixto. Del análisis estadístico se obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos, y se concluyó que la aplicación de los fungicidas provocó una disminución notable de la incidencia de la enfermedad, y que Azoxistrobina + Difenconazole fue el fungicida más efectivo. A partir del análisis de eficacia, se determinó que Azoxistrobina + Difenconazole muestra un valor mayor, superando a Carbendazim en un 13 % aproximadamente, lo que demuestra que es más efectivo para controlar la enfermedad.

Palabras clave: fungicidas, viveros forestales, *Prosopis alba*, manchas foliares.

ABSTRACT

Leaf spots caused by *Phoma* and *Alternaria* are common symptoms in algarrobo blanco [whitemezquite] (*Prosopis alba* Griseb.) seedlings in nurseries, when weather conditions (cool, cloudy and drizzling days) are favorable for the emergence of these fungi. In view of this problem, it was hypothesized whether or not two selected fungicides were effective in controlling said disease. With this purpose in mind, a completely randomized experimental design consisting of three treatments and five repetitions was carried out. One of the treatments was the control, another one was the application of Azoxistrobina + Difenconazole, and the third one involved the application of Carbendazim. Upon applying the fungicides, the incidence of the disease on each seedling as well as the effectiveness of the fungicides was determined. The results of the variable "incidence" were subjected to analysis of a mixed generalized linear model. Of statistical analysis showed significant differences among treatments, thus leading to the conclusion that the application of fungicides caused a reduction in the disease while Azoxistrobina + Difenconazole exhibited the greatest effect. It was further determined that Azoxistrobina + Difenconazole is about 13% more effective in controlling the disease.

Keywords: fungicides, forest nurseries, *Prosopis alba*, leaf spots.

¹ Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano (S) 1912, (4200) Santiago del Estero. Argentina. E-mail: mariveparra@gmail.com.

² Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano (S) 1912, (4200) Santiago del Estero. Argentina.

³ Estación Experimental Fernández, Convenio Provincia Santiago del Estero - Universidad Católica Santiago del Estero. Ruta Nac. 34 Km. 683, Fernandez, Santiago del Estero, Argentina.

1. INTRODUCCIÓN

El género *Prosopis* (Fam. Fabaceae, subf. Mimosoideae) se encuentra ampliamente distribuido en América, África y Asia. Actualmente posee una importancia fundamental en planes de reforestación de zonas áridas y semiáridas del mundo gracias a los múltiples usos que reciben sus diversos productos (alimento, combustible, carbón, madera, etc.), a los servicios ecosistémicos que presta y a su capacidad de adaptación a condiciones extremas de sequía, salinidad y altas temperaturas.

Según Acosta (2015), los agentes perjudiciales de origen biótico que afectan a los algarrobales nativos y cultivados presentes en el Chaco Argentino descriptos hasta el momento son 194, de los cuales 20 son de origen fúngico. En el año 2014, Giachino *et al.* reportaron por primera vez a *Phoma* sp. y *Alternaria* sp. como agentes causales de manchas foliares en algarrobo blanco (*Prosopis alba* Griseb.), en el vivero de la Estación Experimental de Fernández, Santiago del Estero. El ataque de estos hongos provoca manchas de tipo necróticas que ocupan entre 50 % y 100 % de la superficie del foliólulo, ocasionando una fuerte defoliación que, en casos extremos, llega a ser total. Estos síntomas comienzan a observarse principalmente en otoño, aunque bajo condiciones predisponentes (días frescos, nublados y con lloviznas) aparecen en primavera.

Novo *et al.*, (1989), citados por Galera (2000), encontraron en semillas de *Prosopis chilensis* a *Alternaria tenuis* y *Phoma* sp, entre otros. Ensayos realizados por Camafoglia *et al.* (2007) determinaron la presencia de *Aternaria alternata* y en menor proporción de *Phoma* sp. en frutos de *Prosopis flexuosa* D.C. var. *Depressa* Roig. También Spoljaric y Ojeda (2009) reportaron, entre varios hongos, la presencia de *Alternaria alternata* en semillas de *Prosopis alba* con una incidencia que fluctuó entre el 3,3 % y el 1,2 %. Entre las enfermedades que se mencionan para el algarrobo blanco, Córdoba *et al.* (2008) destacan el oidio causado por *Uncinula* sp., el marchitamiento por *Fusarium* sp. y los canchros por *Gloeoporium* sp., las que, según los autores se pueden tratar con Carbendazim, además de otro benzimidazol como el Benomil y un triazol como el Tebuconazole. Por otro lado, Conles *et al.* (1998) mencionan el uso de Diniconazole (triazol) y Carboxin (carboxamida) para el control de hongos que afectan la calidad de la semilla de *Prosopis chilensis* Thüm, incluyendo, entre otros, a *Phoma* y *Alternaria*.

Dentro de los fungicidas usados en especies de la familia Fabaceas para el control de *Alternaria* sp. y *Phoma* sp., se encuentran el Carbendazim, benzimidazol de amplio espectro de acción preventiva y curativa, y Azoxistrobina + Difenconazole (Amistar Top), constituido por una mezcla de un metoxicilato y un triazol con actividad preventiva, curativa y antiesporulante.

El objetivo de este trabajo fue determinar la eficacia del Carbendazim y la Azoxistrobina + Difenconazole en el control de las manchas foliares causadas por *Phoma* y *Alternaria* en *Prosopis alba*.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se llevó a cabo en marzo y abril del 2016 en el Vivero de la Estación Experimental Fernández, provincia de Santiago del Estero, Argentina. Se aplicaron tres tratamientos a plantines de *Prosopis alba* de 4 meses de edad: Control (T1) (Figura 1), Azoxistrobina (20 g) + Difenconazole (12,5 g) al 0,075 % (T2) (Figura 2), y Carbendazim (50 g) al 0,1 % (T3) (Figura 3). Los fungicidas fueron seleccionados de la Guía de productos fitosanitarios para la República Argentina (CASAFE, 2011). Las aplicaciones se iniciaron en el momento de la aparición de los primeros síntomas. Los ensayos se realizaron con temperaturas medias de 18,8 °C, humedad relativa media de 85,2 % y precipitación media mensual de 63,8 mm. Se efectuaron tres aplicaciones cada 15 días ejecutándose la primera el 22 de marzo.

La experiencia se realizó bajo un diseño completamente aleatorizado, los tres tratamientos tuvieron 5 parcelas (repeticiones) con 6 plantas. La evaluación sanitaria se realizó en las hojas superiores (9 hojas enumeradas desde el ápice a la base del plantín), y consistió en registrar el número de hojas con manchas foliares.



Figura 1. Testigo



Figura 2. Tratamiento con Azoxistrobina + Difenconazole



Figura 3. Tratamiento con Carbendazim



Figura 4. Manchas foliares

A partir de las hojas con síntomas, se realizó la siembra y el aislamiento de *Phoma sp.* y *Alternaria sp.* La identificación se efectuó mediante la observación microscópica de preparados provenientes de los hongos aislados, en función de sus estructuras vegetativas y reproductivas.

Para el análisis estadístico se trabajó con la proporción de hojas con manchas (de un total de 9 hojas por plantín)

$$P = NHMF / NHT$$

Donde:

P = Proporción

$NHMF$ = Número de hojas con manchas foliares

NHT = Número total de hojas evaluadas

Por otro lado, con el objeto de comparar la eficacia de cada fungicida respecto del control, se determinó también esta variable usando la fórmula de Abbott, citada por Duicela Guambi y Ponce Vaca (2015), adaptada al estudio de fungicidas:

$$\text{Eficacia [\%]} = (HESF - HECF) / HESF * 100$$

Donde:

HESF = Hojas Enfermas (%) en el lote Sin Aplicación de Fungicida (Control)

HECF = Hojas Enfermas (%) en el lote Con Aplicación de Fungicida (Tratada).

Para el análisis de datos se usó el paquete estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2015), calculándose las medidas de resumen y modelos lineales generalizados mixtos (MLGM) con ajuste a la distribución binomial. Los tratamientos y el control fueron considerados efectos fijos y las parcelas fueron consideradas como aleatorias. La significancia del análisis fue determinada a través de pruebas secuenciales y marginales (Wald), y los contrastes de los promedios fueron analizados con el test de DGC al 5 %. Por último, se realizó una estimación de la diferencia entre el testigo y la aplicación de fungicidas mediante una Prueba de Hipótesis para Contraste, a partir de la cual se obtuvo una razón de chance.

4. RESULTADOS

Las medidas de resumen en relación a la proporción se especifican en la Tabla 1.

Tabla 1. Estadísticos calculados para cada uno de los tratamientos.

Estadísticos	T1 (Control)	T2 (Azoxistrobina + Difenconazole)	T3 (Carbendazim)
N	25	30	30
Media	0,88(A)	0,36 (B)	0,49(C)
D.E.	0,16	0,24	0,26
C.V.	17,99	66,81	51,95
Mín	0,56	0,00	0,00
Máx	1,00	1,00	1,00

Los resultados dan cuenta de que existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las proporciones de hojas enfermas, siendo mayor en el Control (0,88) y seguido en orden descendente por Carbendazim (0,49) y luego por Azoxistrobina + Difenconazole (0,36). Según la prueba secuencial y marginal (Wald), existen diferencias entre los tratamientos con un valor $p < 0,0001$ y con un nivel de significancia de la prueba de 5 %. Esto significa que la aplicación de fungicidas disminuyó notablemente la incidencia de la enfermedad, tal como se aprecia en la Figura 1. La prueba de hipótesis de contraste mostró que la chance de tener hojas con la presencia del patógeno va de 6,75 a 16,67 veces más en plantines sin la aplicación de los productos fitosanitarios, con una confianza del 95 %. Con respecto al análisis de eficacia, T2 presentó un valor de 38,58 % y T3, de un 25,54 % en comparación con T1.

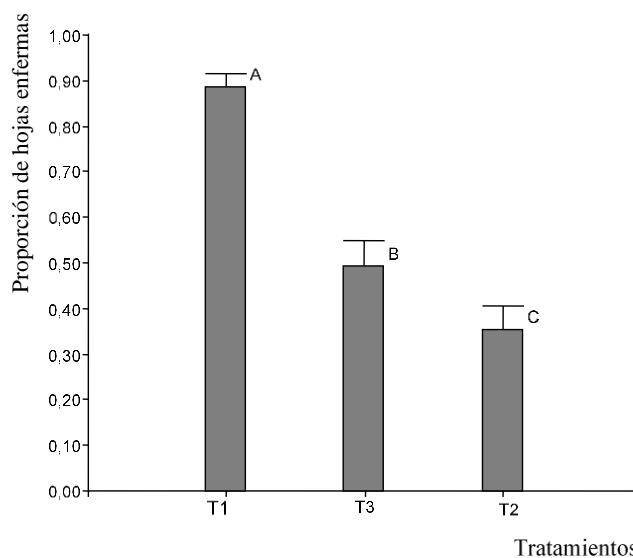


Figura 1. Efecto de los tratamientos. Comparación de medias.

5. DISCUSIÓN

Según Córdoba *et al.*, 2008 el Carbendazim como fungicida para el cultivo de plantines de algarrobo blanco, además de ser efectivo para el control de enfermedades causadas por *Phoma* y *Alternaria* es efectivo para las causadas por *Uncinula*, *Fusarium* y *Gloeosporium*. Datos reportados por Ploper *et al.*, (2015), indican que durante la campaña de soja 2010/2011 el Carbendazim mezclado con un triazol (Tebuconazole) en una concentración de los ingredientes activos de 20 % y 8 % respectivamente presenta una eficacia de 60 % en el control del tizón de la hoja por *Cercospora* y de un 48,6 % a un 66 % en el control de la mancha marrón, estos valores son muy superiores a los obtenidos para el control de las manchas foliares aplicando solo Carbendazim en una concentración de principio activo del 50 %. Los resultados de eficiencia obtenidos con la aplicación de Azoxistrobina + Difenconazole, coinciden con los obtenidos por Carmona *et al.*, (2011) durante las campañas de soja en aplicaciones de mezclas de Azoxistrobina + Difenconazole 300 cc/ha + aceite mineral 500 cc/ha, (34 % al 59 %) y con la eficiencia obtenida con aplicaciones de Azoxistrobina + Cyproconazole 300 cc/ha + aceite mineral 500 cc/ha, (38 % a 63 %) para el control de las enfermedades de fin de ciclo producidas por *Cercospora kikuchii*, *Colletotrichum truncatum*, *Septoria glycines*, *Glomerella glycines* y *Phomopsis sojiae*; estos resultados también coinciden con los reportados por Ploper *et al.* (2015) quienes obtuvieron una eficiencia entre 39,3 % y 40,8 % en el control de enfermedades de fin de ciclo durante la campaña de soja 2009/2010.

Respecto de la dosis empleada en este trabajo, logra probarse la fungitoxicidad con una dosis más baja de aplicación, tanto en la mezcla de estrobirulina y triazol (Azoxistrobina + Difenconazole) como en Carbendazim, efectos que, en trabajos de Formento (2007), Sardo (2015) y Carmona (2011) logran probarse con dosis que se encuentran entre 250 cc/ha y 500 cc/ha para la mezcla y entre 400 cc/ha y 500 cc/ha para Carbendazim. Cabe destacar también, que si bien los trabajos mencionados (Formento, 2007; Sardo, 2015) prueban diferencias significativas entre ambos fungicidas a partir del análisis de los rendimientos del cultivo de soja, coinciden en que la mezcla estrobirulina + triazol (Azoxistrobina + Cyproconazole) es más eficiente que Carbendazim en el control de enfermedades foliares de este cultivo, entre las que se menciona tizón foliar (*Cercospora kikuchii*), manchas foliares causadas por *Colletotrichum* y *Alternaria*; y mancha ojo de rana (*Cercospora sojina*).

6. CONCLUSIONES

En virtud de los resultados obtenidos, se arribaron a las siguientes conclusiones:

1. *Phoma* y *Alternaria* en plantines de *Prosopis alba* pueden ser controlados con fungicidas cuyos grupos químicos pertenezcan a los benzimidazoles y a los metoxicrilatos + triazoles, con Carbendazim y Azoxistrobina + Difenconazole respectivamente como ingredientes activos de referencia.
2. La aplicación de los fungicidas Azoxistrobina + Difenconazole y Carbendazim para el control de manchas foliares causadas por *Phoma* y *Alternaria* en algarrobo blanco disminuye la incidencia de la enfermedad en los plantines.
3. Los valores de eficacia obtenidos sugieren que Azoxistrobina + Difenconazole controlan mejor la enfermedad que Carbendazim.

7. RECOMENDACIONES

En Santiago del Estero, las manchas foliares provocadas por *Phoma sp.* y *Alternaria sp.* han sido observadas en algarrobos de distintas edades, siendo los plantines los más afectados debido a la intensa defoliación que sufren. Por tal motivo es importante definir una estrategia de manejo para minimizar los efectos de esta enfermedad. La aplicación de fungicidas es solo una parte de este manejo. Es recomendable que el viverista realice tareas preventivas que tiendan a disminuir la fuente de inóculo, tales como la eliminación de restos de foliólulos enfermos, la desinfección de semillas y del sustrato, sobre todo si el sustrato se prepara con mantillo proveniente de algarrobo. Estas acciones deben acompañarse con un monitoreo periódico para la detección temprana de la enfermedad, teniendo en cuenta las condiciones ambientales que favorecen a la aparición de la misma. Al respecto, también se recomienda aumentar el distanciamiento entre plantines y favorecer la ventilación para atenuar las condiciones predisponentes. En estos ensayos los dos fungicidas resultaron ser efectivos para disminuir la incidencia de la enfermedad; a pesar de ello, la eficiencia del control podría mejorar. Siendo estos los primeros ensayos para el control químico de *Phoma sp.* y *Alternaria sp.* en algarrobo blanco sería adecuado ampliar este estudio con diversas dosis, frecuencias de aplicación, así como también ensayar con otros fungicidas.

AGRADECIMIENTOS:

Los autores agradecen al Dr Carlos Turc, de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNSE, por sus aportes recibidos en la traducción del resumen al inglés y en la revisión del artículo.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, N. 2015. *Estado del conocimiento de los agentes perjudiciales de origen biótico que afectan al género Prosopis: una recopilación bibliográfica*. Trabajo presentado en V Jornadas Forestales de Santiago del Estero. [en línea]. [fecha de consulta: Noviembre 2016]. Disponible en <https://jornadasforestales.files.wordpress.com/2015/08/sm07-estado-del-conocimiento.pdf>.
- Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes (CASAFE). 2011. *Guía de productos fitosanitarios para la República Argentina*. Decimoquinta edición. Tomo I. p 1-996. Argentina.

- Canafoglia M.; R. Comerio; V. F. Pinto; G. Vaamonde. 2007. Putative mycotoxin-producing fungi isolated from "al-pataco" (*Prosopis flexuosa*) fruits. *Revista Iberoamericana de Micología* v. 24, pp. 56-58.
- Carmona M.; M. Gally; F. Sautua; A. Abello y P. López. 2011. Uso de mezclas de azoxistrobina y triazoles para controlar enfermedades de fin de ciclo de la soja. *Summa Phytopathol., Botucatu* 37(2): 134-139
- Conles, M. Y.; J. Joseau; A. Cavallo; R. J. Novo y M. Díaz. 1998. *Efecto de fungicidas probados en laboratorio y de un tratamiento biológico sobre la calidad de la semilla de Prosopis chilensis Thüm en condiciones de vivero*. Primer Congreso Latinoamericano IUFRO, Valdivia, Chile.
- Córdoba, A.; C. Carranza; J. Joseau; M. Ledesma y A. Verga. 2008. *El Cultivo del Algarrobo*. Ediciones INTA. [en línea], [Fecha de consulta: Noviembre de 2016]. Disponible en: <http://redaf.org.ar/wp-content/uploads/2008/02/El-Cultivo-del-Algarrobo.pdf>
- Di Rienzo, J. A.; F. Casanoves; M. G. Balzarini; L. Gonzalez; M. Tablada y C. W. Robledo. 2015. *InfoStat*, versión 2015. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Duicela Guambi, L. A. y L. Ponce Vaca. 2015. Uso de fungicidas sistémicos en el control de la roya del café (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) en la provincia de Manabí. *La técnica*. N° 15.
- Formento, A. 2007. Enfermedades foliares de la soja: momento de aplicación de fungicidas y rendimiento. INTA – EEA Paraná. INTA – Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. Información Técnica Cultivos de Verano. Campaña 2007. *Publicación Miscelánea* N° 108
- Galera, F. M. 2000. *Los algarrobos. Las especies del género Prosopis (algarrobos) de América Latina con especial énfasis en aquellas de interés económico*. FAO-UNC. [En línea] [Fecha de consulta: julio de 2019]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/AD314S/AD314S00.htm#TOC>,
- Giachino, V.; R. Rojo; M. Ewens; T. Gally; E. Craig y V. Barrera. 2014a. *Etiología de manchas foliares en Prosopis alba Grisebach, en Santiago del Estero, Argentina*. Poster en 3^{er} Congreso Argentino de Fitopatología. Tucumán.
- Giachino, V.; R. Rojo; M. Ewens; T. Gally; E. Craig y V. Barrera. 2014b. *Prosopis alba Expresión de manchas foliares debido a Phoma sp. y Alternaria sp. en plantines bajo distintas condiciones de riego*. Poster en 3^{er} Congreso Argentino de Fitopatología. Tucumán.
- Novo, R. J.; Cavallo, A. y C. Cragnolini. 1989. *Determinación de los hongos patógenos Transportados por semillas de Prosopischilensis*. VII Jornadas Fitosanitarias Argentinas. Salta. Argentina.
- Ploper L. D.; V. González; S. Reznikov; L. Hecker; V. De Lisi; D. Henríquez; C. A. Stegmayer y M. R. Devani. 2015. Evaluación de la eficiencia de fungicidas para el control de las enfermedades foliares de la soja en Tucumán, R. Argentina. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán* Tomo 92 (1): 01-15.
- Sardo, M. F. 2015. *Estrategias de manejo de mancha ojo de rana (Cercospora sojina Hara) en el cultivo de soja en la República Argentina* (Trabajo fin de grado). Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Córdoba, República Argentina.
- Spoljaric, M. V. y A. D. Ojeda 2009. *Evaluación de parámetros de calidad en semillas de Prosopis alba Griseb leguminosa almacenadas en cámara de frío del banco de germoplasma del INTA Sáenz Peña*. INTA Centro Regional Chaco Formosa - Estación Experimental Agropecuaria Sáenz Peña. 14p. [En línea] [Fecha de consulta: julio de 2019] Disponible en: <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-calidadgermoplasma.pdf>.



NOTA TÉCNICA

Estimación del contenido de carbono en sistemas silvopastoriles de *Prosopis* spp en el chaco central paraguayo

Estimating carbon content in sylvopastoral systems of Prosopis spp in the Paraguayan central chaco

Díaz Lezcano, M. I.¹; L. Leguizamón¹; C. C. Gamarra Lezcano¹;
M. Vera de Ortíz¹; M. P. Galeano Samaniego¹

Recibido en abril de 2018; aceptado en octubre de 2019

RESUMEN

Los sistemas silvopastoriles pueden contribuir a la mitigación del calentamiento global mediante el secuestro y almacenamiento de carbono. Esta investigación fue realizada en la Región Occidental del Paraguay, en los Departamentos de Boquerón y Presidente Hayes, en áreas destinadas al silvopastoreo. El objetivo de la investigación fue estimar el contenido de carbono de sistemas silvopastoriles. Se instalaron 8 parcelas de 1 ha cada una. Para la determinación de la biomasa arbórea fueron realizados censos registrándose todos los individuos incluyendo la regeneración. Los parámetros evaluados fueron la composición florística, el diámetro, el área basal, volumen total de las especies forestales; biomasa y carbono arbóreo; biomasa y carbono herbáceo, carbono en el suelo y carbono total contenido en el sistema. La estimación de biomasa y carbono arbóreo fueron determinados a través de ecuaciones alométricas. Fueron registrados un total de 247 individuos, correspondientes al género *Prosopis* y un promedio de 31 individuos por hectárea. El área basal fue de 0,3 m²/ha y el volumen total 1,5 m³/ha. El contenido de carbono en el componente forestal fue de 1,1 tC/ha y 1 tC/ha según el IPCC y la ecuación de Sato, respectivamente. La prueba T Student realizada permitió corroborar que no existen diferencias significativas entre las metodologías utilizadas. El contenido de carbono en la pastura fue 0,9 tC/ha bajo sombra y 0,3 tC/ha bajo sol. El carbono en el suelo fue 39,69 tC/ha. El promedio de carbono en el sistema silvopastoril fue de 41,7 tC/ha.

Palabras clave: carbono, silvopastoril, algarrobo, pastura, suelo, *Prosopis*.

ABSTRACT

Sylvopastoral systems can contribute to mitigate global warming through carbon sequestration and storage. This work was carried out in the Western Region of Paraguay, in areas of the Boquerón and Presidente Hayes Departments for silvopastoral systems. The objective of this work was to estimate the carbon content of silvopastoral systems. For the study, eight 1 ha plots each were set. To determine the tree biomass, censuses were carried out by registering all the individuals including the regeneration. Flower composition, diameter, basal area, total volume of forest species; biomass and tree carbon; biomass and herbaceous carbon, soil carbon and the total carbon of the system were the parameters evaluated. Biomass and tree carbon were determined through allometric equations. A total of 247 individuals belonging to the *Prosopis* genus were registered, i.e. 31 individuals per hectare in average. The basal area was of 0.3 m² ha⁻¹ and the total volume was of 1.5 m³ ha⁻¹. The carbon content in the forest component was of 1.1 tC ha⁻¹ and 1 tC ha⁻¹ according to the IPCC and the Sato's equation, respectively. The Student T test allowed to corroborate that there are no significant differences between the methodologies used. The carbon content in the pasture was 0.9 tC ha⁻¹ under shade and of 0.3 tC ha⁻¹ under the sun. The soil carbon was of 39.69 tC ha⁻¹. The average carbon in the silvopastoral system was of 41.7 tC ha⁻¹.

Key words: carbon, silvopastoril, carob, pasture, soil, *Prosopis*.

¹ Universidad Nacional de Asunción, Campus de San Lorenzo. Km 10,5 Ruta Mariscal Estigarribia, San Lorenzo. Paraguay. E-mail: maura.diaz@agr.una.py

1. INTRODUCCIÓN

El cambio más importante en el uso del suelo en las últimas décadas ha sido la conversión de bosques a pasturas (FAO, 2009), se estima que las áreas dedicadas al pastoreo aumentarán en los próximos años en aproximadamente 20 % ejerciendo mayor presión sobre los bosques (Díaz y Piedrahita, 2007).

Esto ha generado inevitablemente la degradación de las pasturas y problemas ambientales relacionados con la erosión del suelo, pérdida de fuentes de agua, fertilidad de suelos, emisión de gases de efecto invernadero (Kaimowitz, 2001 citado por Harvey *et al.*, 2003).

Es por esto que se han buscado alternativas de producción amigables y sostenibles con el ambiente, para promover la protección y conservación de la biodiversidad, minimizar la degradación de tierras y los cambios de uso. Entre las alternativas para el Chaco Americano, se encuentran los sistemas silvopastoriles.

Los sistemas silvopastoriles son métodos de uso de la tierra donde coexisten en la misma unidad productiva la ganadería y la actividad forestal, aprovechando las interacciones positivas y minimizando las negativas que se establecen entre los componentes animal, vegetal y suelo (Carranza y Ledesma, 2009).

La cantidad de carbono que cualquier ecosistema vegetal puede inmovilizar está relacionada con la productividad primaria neta. En este sentido, los ecosistemas tropicales y entre ellos las pasturas tienen un gran potencial, comparado con los ecosistemas templados.

Las gramíneas utilizadas en la producción animal tropical generalmente son de metabolismo C₄, lo cual les da mayor capacidad de integrar el gas en la materia orgánica (MO) de las plantas. Esta MO puede ser consumida por los animales y gran parte de ella (30 - 70 por ciento) regresa al suelo como heces y orina. Parte de las plantas se hacen senescentes y son incorporadas directamente al suelo (Fisher *et al.* 1994).

En terrenos dedicados a actividades de pastoreo, es común encontrar árboles dispersos, que fueron dejados en el sitio para dar sombra al ganado. En este caso, y cuando se desarrollan proyectos de tipo forestal que desean obtener beneficios por captura o almacenamiento de carbono, es necesario estimar las cantidades de ese elemento en estos árboles (Yepes *et al.* 2011).

La hipótesis del presente estudio sostiene que no existen diferencias significativas con la aplicación de la fórmula regional recomendada por el IPCC (2003) y la ecuación alométrica desarrollada en Paraguay, Sato *et al.* (2015).

Ante ello, el objetivo del trabajo fue estimar el contenido de carbono en sistemas silvopastoriles de *Prosopis spp* en el Chaco Central.

Los objetivos específicos fueron determinar la composición florística, el número de individuos del área en estudio, los parámetros dasométricos del componente arbóreo y su clasificación diamétrica, la biomasa total del componente arbóreo, comparar las estimaciones de los valores de carbono del componente arbóreo aplicando dos ecuaciones alométricas determinar el carbono equivalente del componente arbóreo, el almacenamiento de carbono en la pastura bajo dos condiciones: sol y sombra, y estimar el contenido de carbono en el suelo.

Esta investigación se realizó en el marco del Proyecto Manejo Sustentable de bosques en el ecosistema transfronterizo del Gran Chaco Americano y constituye uno de los primeros estudios en cuanto a captura y almacenamiento de carbono en sistema silvopastoril en el Paraguay.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Localización del área de estudio

El trabajo se realizó en las localidades de Pirizal, Buena Vista, Loma Plata y Filadelfia de los Departamentos de Boquerón y Presidente Hayes de la República del Paraguay, ubicados a más de 430 km de la ciudad de Asunción; situados en las coordenadas 22° 35' 06,5" de Latitud Sur y 59° 44' 33,9" de Longitud Oeste.

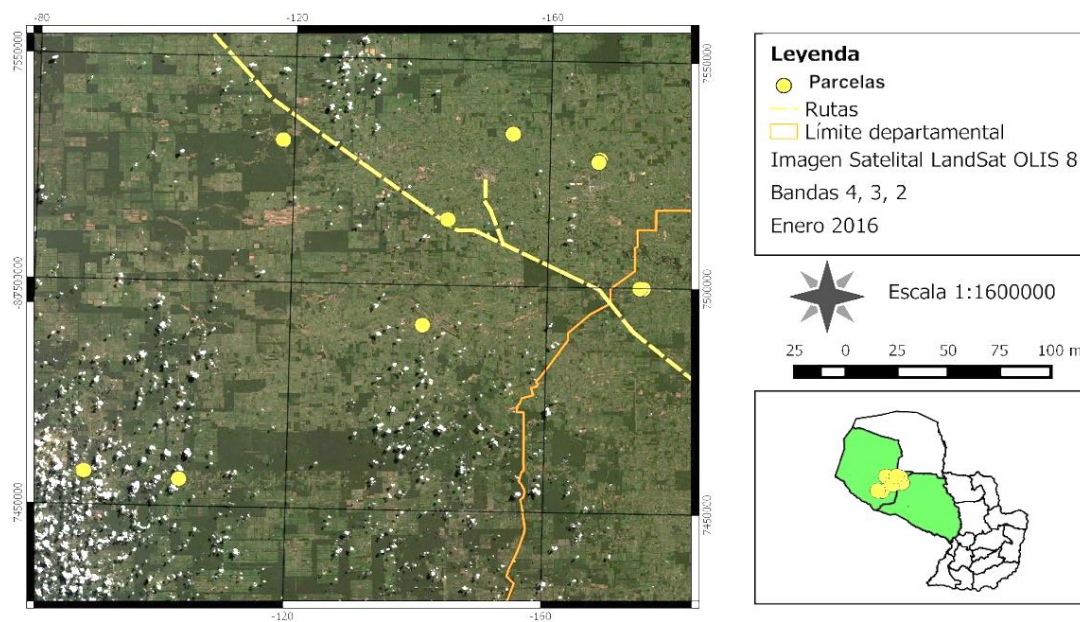


Figura 1. Localización del área de muestreo. Mapa de identificación de parcelas de sistemas silvopastoriles asociados a algarrobos.

Fuente: Ruiz Díaz (2016).

Según la clasificación climática de Köppen el área de estudio presenta un clima estepario o estepa tropical, por otra parte Thornthwaite lo clasifica como semiárido megatérmico. La cantidad anual media de precipitación es 800 mm, la temperatura media diaria anual es de 24 °C, la temperatura mínima diaria media anual es 21 °C, la temperatura máxima diaria media anual es 33 °C.

Los suelos en esta zona son Luvisoles, entre los 30 cm y 70 cm de profundidad. Están enriquecidos con arcillas, debido a la dislocación de arcilla con el agua de infiltración, con pH neutro o ligeramente alcalino y que se hace más alcalino a medida que aumenta la profundidad. Normalmente son ricos en fósforo, potasio y magnesio (Glatzle 1999).

El tipo de suelo es un mezcla de suelos residuales compuesto de arcilla limosa y arena limosa. Cabe mencionar que tiene una alta fertilidad, pedregosidad nula, una topografía ondulada suave y es propicio para la ganadería y en algunos casos la agricultura está siendo implementada.

Las parcelas estudiadas estaban destinadas a un sistema silvopastoril con fines de producción de leche. La utilización de dicho sistema en la zona es muy habitual ya que son zonas aptas para la utilización de pasturas implantadas. Las parcelas eran utilizadas con una carga animal alta y rotaciones diarias, con un sistema de asignación variable. Fueron seleccionados 8 parcelas en función al sistema de manejo y el distanciamiento relativamente próximo unas de otras la cual estaba comprendida en un rango de 85 a 100 km.

Las razas registradas en los potreros de estudio fueron Brangus, Jersey, Holanda y Cebú, con una capacidad de carga promedio de 1,01 unidad ganadera, con sistema de pastoreo rotativo bajo regimen de asignación variable.

Las parcelas estudiadas cuentan con manejo de la regeneración natural de especies forestales asociadas principalmente con la familia Fabaceae.

2.2 Población de unidades y variables de medición

Se establecieron 8 parcelas permanentes de 100 m x 100 m, de manera representativa a los sistemas silvopastoriles asociados con el género *Prosopis* del Chaco Central paraguayo. Estas parcelas fueron seleccionadas conforme al manejo silvopastoril con fines de producción de leche y al tipo de especies forestales asociadas las cuales corresponden al género *Prosopis*. Se realizó un censo forestal en donde se registraron los siguientes datos de las especies, composición florística de la parcela, diámetro a la altura del cuello de la regeneración natural, diámetro a la altura del pecho (DAP) de individuos mayores o igual a 10 cm y altura total. Los datos se registraron en una planilla de campo elaborada a tal efecto.

En subparcelas de 1 m x 1 m ubicadas en sitios representativos de cada una de las parcelas, se identificaron y extrajeron muestras de pasturas para su posterior medición, midiéndose desde la raíz hasta el ápice. Cuatro subparcelas fueron ubicadas bajo sombra y otras cuatro a pleno sol, excavando el suelo para el efecto. Se registraron los datos obtenidos y posteriormente se almacenaron en bolsas con sus respectivas etiquetas. Se determinó el peso fresco de cada una de las muestras utilizando una báscula manual para determinar el contenido de humedad de las pasturas. Posteriormente las muestras fueron secadas en una estufa a 65 °C hasta llegar a peso constante y finalmente fueron pesadas con la misma báscula para determinar la materia seca.

En cuanto al muestreo de suelo, se realizó la extracción de 8 muestras simples en cada una de las parcelas, en sitios representativos. Fueron extraídas 4 muestras bajo sol y 4 bajo sombra y a dos profundidades, de 0 a 10 cm y de 10 a 30 cm, utilizando una pala de punta. Luego se procedió a la mezcla de las mismas obteniendo 4 muestras compuestas por parcela, totalizando 32 muestras compuestas. El mismo procedimiento se realizó en las 8 parcelas. Posteriormente las muestras de suelo fueron llevadas al laboratorio del Área de Suelos y Ordenamiento Territorial de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción para su análisis.

En la Tabla 1 se presentan las fórmulas empleadas en los cálculos dasométricos y en la estimación del carbono.

Tabla 1. Fórmulas empleadas en los cálculos dasométricos y la estimación de carbono.

Variables	Fórmulas	Referencias
Área Basal (m ² /ha)	$G = \frac{\pi \times DAP^2}{4}$	G = área basal (m ²) π= 3,1416 DAP= diámetro a la altura del pecho (1,30 m)
Volumen (m ³ /ha)	V = G * f (*) * h	V= volumen (m ³) F= factor de forma (0,811) Quinteros (2001) H=altura
Ajuste de la densidad de la madera (Reyes et al 1992)	Y= 0,0134 + 0,8 * X	Y= densidad de la madera seca en kg/m ³ X= densidad de la madera a 12 % de contenido de humedad <i>Prosopis alba</i> (Griseb.) densidad ajustada 523 Kg/m ³ <i>Prosopis kuntzei</i> (Harms) densidad ajustada 928 Kg/m ³ <i>Prosopis nigra</i> (Griseb.) Hieron. densidad ajustada 720 Kg/m ³

Tabla 1. (Cont.)

Variables	Fórmulas	Referencias
Biomasa de fuste (t/ha) (Brown 1997)	$BF = (V * Pe)/1000$	BF= biomasa de fuste (t) Pe= densidad aparente de la madera (kg/m ³)
Biomasa aérea (t/ha) (IPCC 2006)	$BA = BF * FEB$	BA= biomasa aérea (t) FEB= factor de expansión de biomasa (2,4) (Wolf 2004)
Biomasa radicular (t/ha)	$BR = BF * 0,24$	BR= biomasa radicular (t) 0,24= relación media entre biomasa bajo/sobre el suelo para bosque semiárido (IPCC 2003)
Biomasa total (IPCC 2006) (t/ha)	$BT = BA + BR$	BT= biomasa total (t)
Biomasa total (Sato <i>et al</i> 2015) (t/ha)	$BT = 0,069 * (DAP^2 * h) * 0,9932$	
Carbono total	$CT = BT * 0,5$	CT= carbono total (tC) 0,5 = Factor de conversión (debido a que la materia seca contiene en promedio 50 % de carbono almacenado, según IPCC 2003)
Carbono equivalente	$CO_2e = CT * 3,667$	CO ₂ e = dióxido de carbono extraído de la atmósfera 3,667 = factor basado en la razón de las masas atómicas de carbono (12) y de oxígeno (16), utilizado por el IPCC
Carbono en el suelo	$CO = \% MO \div 1,72$	CO = Carbono Orgánico MO = Materia Orgánica
Carbono en la pastura	$CT = BT * 0,5$	CT= carbono total BT= biomasa total
Sturges	$NC = 1 + 1,3 * \log(N)$ $AT = Dm - dm$ $RD = AT / NC$	NC= número de clases N= número de individuos AP= amplitud total Dm= diámetro mayor dm= diámetro menor RD= rango diamétrico

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Composición florística, área basal, volumen y biomasa forestal

Se registraron un total de 247 individuos en una superficie de 8 ha. En promedio representan 31 individuos por ha, con una abundancia del 100 % de árboles adultos (con DAP iguales o mayores a 10 cm) pertenecientes al género *Prosopis*. Autores como Uribe *et al.* (2011) y Díaz y Piedrahita (2007) recomiendan una densidad de 30-50 árboles por ha en sistemas silvopastoriles.

En la Tabla 2, se presenta el listado florístico de las especies relevadas, siendo la familia Fabaceae, subfamilia Mimosoideae la más representativa.

Tabla 2. Composición florística del área en estudio

Familia	Clase: Dicotyledonae Especie	Nombre común
APOCYNACEAE	<i>Aspidosperma quebracho-blanco</i> Schltdl.	Quebracho blanco
BIGNONACEAE	<i>Tabebuia nodosa</i> (Griseb.) Griseb	Labón
CAPPARACEAE	<i>Capparis speciosa</i> Griseb	Sacha naranja
FABACEAE	<i>Prosopis alba</i> (Griseb.)	Algarrobo blanco
FABACEAE	<i>Prosopis nigra</i> (Griseb.) Hieron.	Algarrobo negro
FABACEAE	<i>Prosopis kuntzei</i> (Harms)	Karandá
FABACEAE	<i>Cercidium praecox</i> (Ruiz y Pav.)	Verde olivo
RHAMNACEAE	<i>Ziziphus mistol</i> Griseb	Mistol
SAPOTACEAE	<i>Sideroxylon obtusifolium</i> (Roem. & Schult.) T.D. Penn.	Guajaivi rai
ZYGOPHYLLACEAE	<i>Bulnesia sarmientoi</i> Lorentz ex Griseb.	Palo santo

Según Luccerini (2008) en la región chaqueña el género *Prosopis* se encuentra entre las diversas especies nativas de alto valor comercial, utilizadas especialmente en sistemas silvopastoriles.

El algarrobo blanco forma importantes asociaciones con el quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*), coronillo (*Schinopsis lorentzii*) y samu'u (*Ceiba chodatii*) (López et al., 2002.; Missouri Botanical Garden, 2016). En cuanto al algarrobo negro indican que crece junto con vinalillo (*Prosopis vinalillo*)

En las parcelas establecidas el género *Prosopis* fue el más abundante, frecuente y dominante, lo que indica que es la especie de mayor peso ecológico de los sistemas silvopastoriles estudiados. La Tabla 3 muestra la cantidad de individuos, área basal, volumen y biomasa de los individuos arbóreos con un diámetro igual o mayor a 10 cm de DAP.

Los resultados obtenidos en relación al área basal, reflejan un rango comprendido entre 0,02 m²/ha y 0,6 m²/ha, y un promedio de 0,3 m²/ha. El error de muestreo fue de ±0,17 m²/ha con un nivel de confianza de 95 %.

Los valores obtenidos del volumen total, mostraron un valor máximo de 2,7 m³/ha y valor mínimo de 0,03 m³/ha. Esto puede deberse a que los individuos presentan un escaso porte formando parte de la regeneración. El promedio fue de 1,5 m³/ha. El error de muestreo fue de ± 0,81 m³/ha con un nivel de confianza de 95 %.

En la ecorregión Chaco seco paraguayo, Santacruz (2015) reportó un promedio de área basal de individuos forestales adultos de 4,10 m²/ha y un volumen de 6,47 m³/ha en cobertura vegetal de formación forestal no intervenida.

Tabla 3. Cantidad de individuos, área basal, volumen, biomasa total del área de estudio

Parcela	Cantidad de individuos	Área basal (m ²)	Volumen (m ³)	Biomasa total IPCC (t)	Biomasa total Sato (t)
1	31	0,23	0,03	1,70	1,29
2	31	0,50	0,09	3,70	3,40
3	22	0,40	0,08	2,49	2,31
4	32	0,58	0,08	3,32	3,11
5	30	0,64	0,09	3,61	3,36
6	35	0,02	0,00	0,07	0,09
7	36	0,17	0,02	1,57	1,00
8	30	0,28	0,03	1,78	1,40

En censo forestal de las parcelas bajo investigación permitió estudiar la distribución diamétrica de los renovales mediante la fórmula de Sturges, en donde se obtuvieron 7 clases con un rango diamétrico de 1,2 cm. Dicha clasificación se realizó de acuerdo a los individuos encontrados en la superficie total del muestreo (8 ha). Este análisis reviste importancia considerando que los brinzales y latizales constituyen la regeneración natural de los sistemas estudiados los cuales podrían sufrir una amenaza por el pisoteo animal.

La biomasa total por hectárea, según las ecuaciones del IPCC (2006) presentaron un valor promedio de biomasa total de 2,3 t/ha. El error de muestreo fue de ±1,03 tC/ha con un nivel de confianza de 95 %. Mediante la ecuación alométrica de Sato et al., (2015) el promedio de biomasa total fue de 2 t/ha. El error de muestreo fue de ±1,04 tC/ha con un nivel de confianza de 95 %. Aplicando la estadística comparativa, con un nivel de confianza del 99 % los resultados permitieron confirmar que no existen diferencias significativas entre las metodologías utilizadas para el sitio de estudio.

Los valores obtenidos en los sistemas silvopastoriles estudiados son superiores a los reportados por Brítez (2015) quien menciona que la biomasa acumulada en el sistema integrado de producción en el Chaco Paraguayo fue de 0,07 t/ha.

La Figura 2 refleja la cantidad de individuos menores a 10 cm de diámetro en cada clase diamétrica. El promedio de individuos de regeneración fue de 17 renovales por ha.

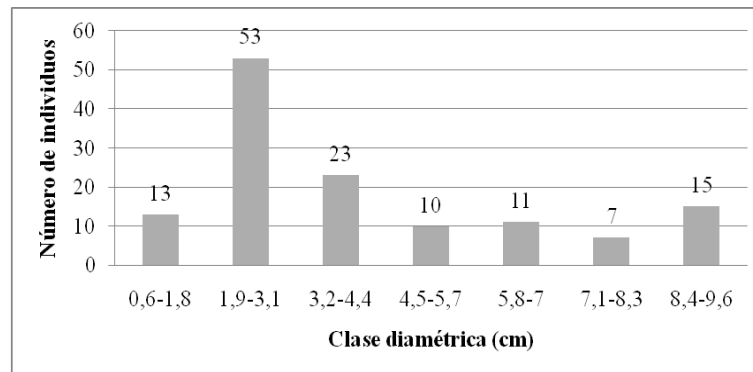


Figura 2. Clasificación diamétrica de individuos menores a 10 cm.

La cantidad de individuos pertenecientes a la categoría de regeneración natural es mucho menor a los reportados por Viana *et al.* (2002) quien, en su estudio sobre manejo de la regeneración natural de especies arbóreas nativas para la formación de sistemas silvopastoriles en bosques secos del sureste de Brasil, encontraron 206 árboles menores a 10 cm por ha.

En la Figura 3 se presenta la distribución por clase diamétrica de los individuos igual o mayores a 10 cm lo que permitió obtener 5 clases diamétricas con un rango de 4,9 cm. Adoptando una distribución de “J invertida”. El promedio de individuos fue de 14 árboles por ha.

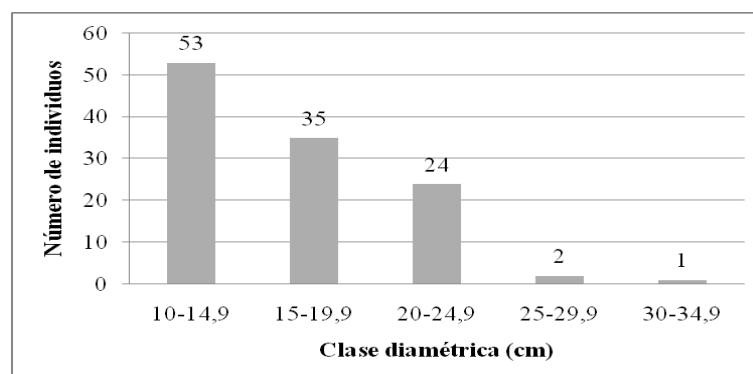


Figura 3. Clasificación diamétrica de individuos igual o mayores a 10 cm.

Ivancich *et al.* (2011) en bosques de *Nothofagus antarctica* para el manejo silvopastoril en Tierra del Fuego, Argentina concluyen que la mayoría de los árboles fueron menores a 17 cm de DAP, siendo el mayor de 29,1 cm. La estructura presentó características similares a las de un bosque secundario.

Según Gamarra *et al.* (2018) el estudio de la distribución diamétrica de los individuos arbóreos es importante porque permite identificar el nivel de influencia de la sombra que brindan las copas sobre los otros componentes del sistema, como el suelo, la pastura y el ganado.

3.2 Carbono total y dióxido de carbono equivalente del componente forestal

Según los cálculos realizados mediante la metodología recomendada por IPCC (2006) el carbono almacenado de 1,1 tC/ha, oscilando entre 0,03 y 1,8 tC/ha. El error de muestreo fue de

$\pm 0,51$ tC/ha con un nivel de confianza de 95 %. Por su parte aplicando la metodología de Sato *et al.*, (2015), se obtuvo un promedio de carbono almacenado de 1 tC/ha, con valores entre 0,05 tC/ha y 1,7 tC/ha. El error de muestreo fue de $\pm 0,52$ tC/ha con un nivel de confianza de 95 %.

Estos valores se asemejan a los obtenidos por Brítez, (2015) quien estimó el carbono total en el componente forestal de un sistema integrado de producción en el Departamento de Presidente Hayes, Chaco Paraguayo obteniendo un valor de 2,26 tC/ha.

El carbono equivalente en el componente arbóreo, mediante el IPCC (2006), arrojó un valor promedio de 4,2 tCO₂e/ha, el error de muestreo fue de $\pm 1,9$ tCO₂e/ha con un nivel de confianza de 95 %, mientras que el carbono equivalente obtenido según las ecuaciones de Sato *et al.*, (2015) arrojó un promedio de 3,6 tCO₂e/ha. El error de muestreo fue de $\pm 1,9$ tCO₂e/ha con un nivel de confianza de 95 %. La Tabla 4 describe los valores de carbono total y dióxido de carbono equivalente calculados mediante la fórmula recomendada por el IPCC y la ecuación de Sato.

Santacruz (2015) estimó valores de carbono equivalente obteniendo un valor de 22,50 tCO₂/ha aplicando la metodología del IPCC (2006), mientras que con la ecuación de Sato *et al.* (2015) el valor fue de 34,35 tCO₂/ha. En tanto que para una formación mesoxerofítica en el Chaco paraguayo, Camperchioli (2015) estimó el carbono equivalente obteniendo 64,15 tCO₂/ha.

Tabla 4. Carbono total y dióxido de carbono almacenado en el estrato arbóreo.

Parcela	CT (IPCC) t	CT (Sato) t	CO ₂ equivalente (IPCC)t	CO ₂ equivalente (Sato)t
1	0,9	0,6	3,1	2,4
2	1,8	1,7	6,7	6,3
3	1,2	1,2	4,6	4,2
4	1,7	1,6	6,1	5,7
5	1,8	1,7	6,6	6,2
6	0,03	0,05	0,12	0,17
7	0,8	0,5	2,9	1,7
8	0,9	0,7	3,3	2,5

3.3 Carbono en la pastura

Las pasturas relevadas en el sitio de estudio fueron: *Gatton panic*, *Buffel grass*, *Brachiaria decumbens*, *Digitaria eriantha*, *Cynodon sp*, *Desmanthus virgatus*. El promedio de longitud total de la pastura fue de 23,92 cm bajo sol y 37,70 cm bajo sombra, esto pudo deberse a que el ganado mayor por lo general pastorea a pleno sol.

El promedio de biomasa en pastura fue de 1,8 t/ha bajo sombra y 0,6 t/ha bajo sol. En la Parcela 1 el suelo se encontró totalmente descubierto, sin presencia de pasturas (Figura 4). También pudo observarse en las demás parcelas que el contenido de carbono bajo sombra fue mayor al contenido de carbono bajo sol. Esto podría deberse a que en la condición bajo sombra, se encuentra una mayor cantidad de biomasa acumulada.

Valores superiores fueron obtenidos por Brítez (2015), quien estimó el contenido de carbono en un sistema integrado de producción en el Chaco paraguayo, obteniendo un valor promedio de 2,76 tC/ha.

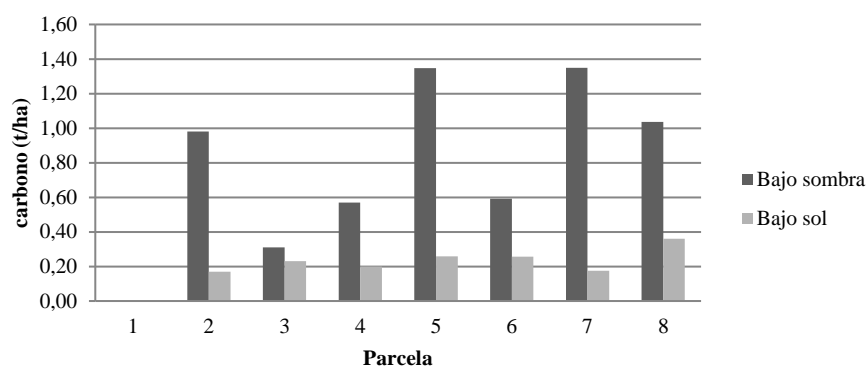


Figura 4. Carbono en pastura, Chaco Central.

La estadística comparativa, mediante la prueba T de Student, con un nivel de confianza del 99 %, indicaron que existen diferencias significativas en el contenido de carbono en la pastura bajo sol y bajo sombra.

Ríos (2014), sostiene que la producción de biomasa de tres gramíneas bajo diferentes niveles de sombra, concluyendo que el nivel de sombra ejerció influencia en la producción de biomasa, siendo mayor la producción de biomasa a mayor nivel de sombra.

3.4 Carbono en el suelo

El contenido de materia orgánica acumulado en el suelo es significativamente mayor en la condición bajo sombra de árboles, presentado un promedio de 3,6 % considerado como alto, frente a un promedio de 2,3 % (contenido medio) en condiciones de pleno sol, en los primeros 10 centímetros del suelo. Al mismo tiempo tal como se observa en la Tabla 5, el contenido de materia orgánica disminuye conforme aumenta la profundidad, de 10 a 30 cm. En la condición de cielo abierto la media fue de 1,1 % (contenido bajo) y bajo los árboles 1,4 % (contenido medio).

Estos resultados se relacionan con el contenido de biomasa en pastura bajo sombra el cual fue mayor que a pleno sol.

Asimismo, el contenido de carbono orgánico disminuye con la profundidad, y es mayor en la condición de sombra.

Tabla 5. Porcentaje de la Materia Orgánica (MO) y Carbono Orgánico (CO)

Condición	MO (%)	MO (%)	CO (%)	CO (%)
	0-10 cm	10-30 cm	0-10 cm	10-30 cm
Sol	1,78	1,08	1,04	0,63
Sol	1,57	0,83	0,91	0,48
Sol	1,38	0,53	0,81	0,31
Sol	4,47	1,94	2,6	1,13
Sombra	3,24	1,77	1,89	1,03
Sombra	4,05	1,63	2,36	0,95
Sombra	3,72	1,52	2,16	0,89
Sombra	3,2	0,79	1,86	0,46

Según Gamarra *et al.* (2018) en su estudio de relación del contenido de carbono/nitrógeno en suelos del Chaco Central paraguayo, el contenido de materia orgánica del suelo no presenta diferencias significativas entre condiciones de sol y sombra, pero las diferencias son significativas cuando se comparan las profundidades de muestreo.

En la condición bajo sombra, se encontraron los mayores contenidos de carbono (Figura 8). Ibrahim y Pezo (1999), mencionan que las concentraciones de C en el suelo disminuyen con la profundidad y con la distancia a los árboles. Esto pudo corroborarse (Tabla 4) puesto que una mayor cantidad de carbono se concentró en los primeros 10 cm, mientras que a partir de los 10 cm a 30 cm el contenido de carbono se redujo prácticamente a la mitad.

Brítez (2015) estimó el contenido de carbono en un sistema integrado de producción en el Departamento de Presidente Hayes en el Chaco paraguayo obteniendo un contenido de carbono en el suelo de 42,14 tC/ha en los primeros 30 cm.

3.5 Contenido de Carbono en el sistema silvopastoril

Aplicando la estadística comparativa T de Student, con un nivel de confianza del 99 % los resultados demostraron que no existen diferencias significativas entre las metodologías utilizadas para el sitio bajo estudio.

Brítez (2015) estimó el aporte de carbono de los componentes de un sistema silvopastoril (carbono aéreo forestal, pastura, suelo) obteniendo como resultado 65,95 tC/ha.

SEAM (2016) para el Chaco seco en un sistema silvopastoril constituido por pastos de las especies *Panicum maximum cv Gatton* (Gatton panic) y árboles de *Prosopis alba* obtuvo valores de 1,86 tC/ha en carbono sobre el suelo y radicular (biomasa arbórea viva, biomasa arbustiva y herbácea) y 81,81 tC/ha en el suelo.

En la se observa que en promedio el suelo es el componente que mayor contenido de carbono aporta al sistema con 95 %, seguido por el componente arbóreo con 4 % y por último la pastura con apenas 1 % (Figura 5).

Resultados similares fueron obtuvienidos por Orrala y Guiracocha (2009) en sistemas silvopastoriles de Ecuador donde el 95,75 % se encontró en el suelo, el 3,99 % en el pasto y solo el 0,26 % en los árboles, mientras que SEAM, (2016) considerando dichos reservorios de carbono, los mayores valores fueron encontrados en el suelo, representando una proporción promedio del 95 %.

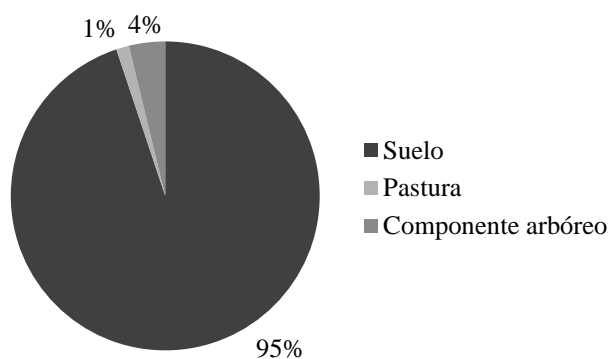


Figura 5. Porcentaje del aporte de carbono de los componentes al sistema silvopastoril, Chaco Central.

4. CONCLUSIONES

De acuerdo a la metodología aplicada se puede concluir que la cantidad de individuos fue de 31 individuos por ha. Las especies encontradas fueron en su mayoría *Prosopis alba* y *Prosopis nigra*, y en menor medida *Prosopis kuntzei*.

El área basal para el sistema estudiado fue de 0,3 m²/ha, con un volumen de 1,5 m³/ha. Con respecto a la biomasa total, se obtuvo aproximadamente 2 t/ha mediante la aplicación de la metodología del IPCC (2006) y la ecuación alométrica de Sato *et al*, (2015) no encontrándose diferencias significativas entre ambas.

La prueba T de Student permitió corroborar que no existen diferencias significativas entre los valores de carbono para el componente arbóreo mediante la utilización de ambas metodologías, obteniéndose un valor de carbono almacenado de aproximadamente 1 tC/ha.

Tanto la biomasa como el carbono almacenado en las pasturas y suelo fue mayor bajo sombra que a pleno sol. El suelo es el componente que mayor aporte realiza al sistema.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brítez, C. 2015. *Estimación de contenido de carbono en un sistema integrado de producción en el Departamento de Presidente Hayes, Chaco paraguayo*. Tesis. San Lorenzo, PY. Facultad de Ciencias Agrarias. UNA. 81 p.
- Brown, S. 1997. *Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer: FAO forestry paper - 134* [en línea]. Roma. [fecha de consulta: marzo 2016]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/W4095E/w4095e00.htm>
- Camperchioli, P. 2015. *Estimación del contenido de carbono en la cobertura vegetal y en el suelo de una formación mesoxerófitica, Chaco paraguayo*. Tesis Ing. For. San Lorenzo, PY, Carrera de Ingeniería Forestal, FCA. UNA. 126 p.
- Carranza, C.A.; M. Ledesma. 2009. *Bases para el manejo de sistemas silvopastoriles* [en línea]. [fecha de consulta: setiembre 2015]. Disponible en: <http://ecaths1.s3.amazonaws.com/forrajicultura/ManejoSistemasSilvopastoriles.pdf>
- Díaz, Z; L. Piedrahita. 2007. Como diseñar estrategias para el manejo de plantas de interés para la conservación en paisajes ganaderos. *Agroforestería en las Américas* (45):117-122.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2009. *The State of Food and Agriculture - Livestock in the Balance*. Food and Agriculture Organization of the United.
- Fisher, M. J.; I. M. Rao; C. E. Ayarza; C. E. Lascano; J. I. Sanz; R. J. Thomas; R. R. Vera. 1994. Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas. *Nature*. 238p.
- Gamarra, C.; M. Díaz Lezcano; M. Vera de Ortíz; M. Galeano y A. Cabrera Cardús 2018. Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(46). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.134>
- Glatzle, A. 1999 *Compendio para el manejo de pasturas en el Chaco*. Asunción PY, El lector. 188p.
- Harvey, C. A; C. Villanueva; J. Villacís; M. Chacón; D. Muñoz; *et al*. 2003. Contribución de las cercas vivas a la productividad e integridad ecológica de los paisajes agrícolas en América Central. *Agroforestería de las Américas* 10 (39-40): 30-39.
- Ibrahim, M.; D. Pezo. 1999. *Sistemas Silvopastoriles*. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. 276 p. (Materiales de enseñanza, N° 44).
- IPCC 2006. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme*. Eggleston H. S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., and Tanabe K. (eds). Publicado por: IGES, Japón.

- Ivancich, H; P. Martínez; P. Peri; E. Soler; M. Lencinas. 2011. *Primeros resultados de raleos en bosques de Nothofagus antarctica para el manejo silvopastoril en tierra del fuego. Argentina* [en línea]. [Fecha de consulta: septiembre 2016]. Disponible en: <http://biblioteca.infor.cl/DataFiles/26807-2.pdf>
- López, J. A.; E. L. Little E Junior; J. G. F. Ritz; J. S. Rombold; W. Hahn. 2002. *Árboles comunes del Paraguay. Nandeyvyramatakuéra*. 2^{da} ed. Paraguay: Cuerpo de Paz / Colección e Intercambio de Información. 458 p.
- Luccerini, S; E. Subovsky; E. Borodowski. 2008. *Sistemas silvopastoriles: una alternativa productiva para nuestro país*. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. [en línea]. [fecha de consulta: septiembre 2016]. Disponible en: http://www.agro.uba.ar/apuntes/no_8/sistemas.htm
- Missouri Botanical Garden. 2016. *Plant Science* [en línea]. [fecha de consulta: noviembre 2016]. Disponible en: <http://www.missouribotanicalgarden.org>
- Orrala, B; G. Guiracocha. 2009. *Almacenamiento de Carbono en dos sistemas silvopastoriles instalados en Quevedo provincia de los ríos* [en línea]. [fecha de consulta: septiembre 2015]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/859?mode=full>
- Reyes, G; S. Brown; J. Chapman; A. Lugo. 1992. *Wood densities of tropical tree species*. Southern Forest Experiment Station. New Orleans, USA: United States of Department of Agriculture. 18p.
- Ríos, J. 2014. *Implementación de una unidad familiar de producción sostenible para el trópico húmedo*. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 189 p.
- Santacruz, C. 2015. *Estimación de carbono en cobertura vegetal en la ecorregión Chaco seco del departamento de Presidente Hayes*. Tesis Ing. For. San Lorenzo, PY, Carrera de Ingeniería Forestal, FCA. UNA. 56 p.
- SEAM (Secretaría del Ambiente). Elizeche, K (coord.); Mandelburger, D; Fariña, D; Estigarribia, E; Monges, C; González, D; De Lemos, R; Bogado, K (colab). 2016. *Desarrollo de capacidades para mejorar la toma de decisiones relacionadas con el medio ambiente*. Paraguay. SEAM. 122 p.
- Sato, T; M. Saito; D. Ramírez; L. Molas; J. Toriyama; et al. 2015. *Development of allometric equation for tree biomass in forest ecosystem in Paraguay*. Paraguay. FFPRI, FCA-UNA, INFONA. 25p.
- Uribe F.; A. F. Zuluaga; L. Valencia; E. Murgueitio; A. Zapata; L. Solarte. 2011. *Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles*. Manual 1, Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible. GEF, Banco Mundial, FEDEGAN, CIPAV, Fondo Acción, TNC. Bogotá, Colombia. 78p. ISBN 978-958-8498-35-5.
- Viana, V; M. Maurício; R. Machado; I. Pimenta. 2002. *Manejo de la regeneración natural de especies arbóreas nativas para la formación de sistemas silvopastoriles en las zonas de bosques secos del sureste del Brasil* [en línea]. [fecha de consulta: octubre 2016]. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/nonfao/lead/x6362s/x6362s00.pdf>
- Wolf, A. 2004. Fifty-year record of change in tree spatial patterns within a mixed deciduous forest. *For Ecol Manage* 215: 212-223
- Yepes, A. P.; D. A. Navarrete; A. J. Duque. 2011. *Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbón en Colombia*. Bogotá, Co. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales- IDEAM. 162p.



TRABAJO CIENTÍFICO

Anatomía del leño y caracterización de los anillos de crecimiento en individuos de *Polylepis tarapacana* en el Altiplano - Tacna - Perú

Wood anatomy and characterization of tree-rings in individuals of Polylepis tarapacana in the Altiplano – Tacna - Peru

Requena-Rojas E. J.¹ y A. Taquire Arroyo²

Recibido en marzo de 2018; aceptado en marzo de 2019

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue describir el leño y caracterizar anatómicamente los anillos de crecimiento de los individuos de *P. tarapacana* que crecen a 4.400 m de altitud en el Altiplano de Tacna. Las muestras fueron recolectadas en Kallapuma, distrito de Tarata, región Tacna. Tres árboles fueron seleccionados al azar, obteniéndose una rodaja del tronco a 0,30 m de altura. En las descripciones de la madera se usó la terminología del comité de nomenclatura de IAWA. Se empleó la estadística inferencial, prueba de "T" de Student al 95 % de intervalo de confianza, para comparar elementos vasculares de leño temprano y tardío. La madera presentó anillos de crecimiento conformados por células (fibras) de paredes muy gruesas y acortadas radialmente, lo que en conjunto constituye la madera tardía y de coloración más oscura. La madera temprana presentó células (fibras) de paredes medianas a gruesas y de coloración clara; de forma ovalada, poligonal y circular. Las fibras fueron de corta longitud y diámetro mediano; los poros excesivamente numerosos; los radios anchos y los elementos de vaso presentaron placa de perforación simple. Se encontró diferencia estadística altamente significativa entre la longitud de fibras de madera tardía y temprana (P-valor = 0,0001) y significativa entre el diámetro de fibra (P-valor = 0,03) y el espesor de pared (P-valor = 0,02). Las características de porosidad, vasos, fibrotraqueidas sugieren que *P. tarapacana* se encuentra adaptada a crecer en lugares áridos. Este trabajo podría abrir camino para estudios eco-fisiológicos y responder las diferencias del crecimiento en respuestas a precipitación y temperatura en diferentes lugares del Altiplano.

Palabras clave: anatomía, madera, dendrocronología, anillos de crecimiento

ABSTRACT

The objectives of this work were to describe the log and characterize anatomically the growth rings of individuals of *P. tarapacana* that grow at 4400 m of altitude in the Tacna Highlands. The samples were collected from Kallapuma, district of Tarata, the Tacna region. Three trees were selected randomly and a slice of the trunk at 0.30 m in height obtained from each. In describing their wood, the methodology of the IAWA Committee was used. The Standard List Inferential statistics, the Student's "T" test at 95 % confidence interval, were used to compare the vascular elements of both the heartwood and the sapwood. The woods showed growth rings made up of very thick walled, and radially shortened cells (fibers) which conforms the latewood, darker in color. In turn, the earlywood appeared as thick to medium thick light-colored cells (fibers) and oval, polygonal or circular in shape. The fibers were short and of medium diameter; the pores were excessively numerous; the radii wide and the vessel elements presented simple perforation plate. A highly significant statistical difference was found between the lengths of the late- and early-wood fibers (P-value = 0.0001) as much as that between fiber diameter (P-value = 0.03) and wall thickness (P-value = 0.02) was observed. The characteristics concerning porosity, vessels and fibrotracheids suggest that *P. tarapacana* adapted to grow in arid places. This study could pave the way for eco-physiological studies and give answer to the differences in growth as response to precipitation and temperature in different sites of the Altiplano.

Keywords: anatomy, wood, dendrochronology, growth-ring.

¹ Laboratorio de Dendrocronología. Universidad Continental. Av. San Carlos 1980, Huancayo, Perú.
E-mail: erequena@continental.edu.pe

² Departamento de Tecnología de la Madera, Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente, Universidad Nacional del Centro del Perú. Av. Mariscal Castilla 3909, El Tambo, Huancayo, Perú.

1. INTRODUCCIÓN

La queñua (*Polylepis tarapacana* Phil., Rosaceae) es un árbol pequeño de 1 a 3 m de altura, que crece entre 4.000 a 5.200 m s. n. m. en Perú, Bolivia, Chile y Argentina (Kessler, 1995). Sus hojas son coriáceas con una cobertura resinosa densa en la cara superior y una capa muy densa de pelos cerosos amarillos en la inferior; flores y frutos ocultos entre las hojas (Fjeldsá y Kessler, 1996), ramas muy retorcidas, corteza fibrosa, rojiza, desprendible en placas laminares (GRT, 2009). *P. tarapacana* crece en ambientes áridos con precipitaciones anuales que fluctúan entre 150 y 500 mm (Fjeldsá y Kessler, 1996), con fluctuaciones diurnas de temperatura de 20-30 °C entre las temperaturas máximas del día y las heladas nocturnas (GRT, 2009). Los bosques de *Polylepis* proporcionan servicios ecosistémicos que son valiosos a escala local, regional y global, como regulación hídrica, nutrientes del suelo, diversidad genética y almacenamiento de carbono, entre otros (Zutta *et al.*, 2012), en el caso de *P. tarapacana* categorizada como vulnerable constituye el único recurso maderable para el Altiplano peruano.

La madera de *P. tarapacana* presenta anillos de crecimiento claramente distinguibles en superficies correctamente pulidas cuando son observadas bajo lupa (Argollo *et al.*, 2004). Razones por las cuales en las últimas décadas esta especie se utilizó para determinar las variables climáticas que controlan el crecimiento de los árboles (Argollo *et al.*, 2004; Moya y Lara, 2011), la influencia de la precipitación en el crecimiento de los árboles (Morales *et al.*, 2004), relaciones entre ENSO (El Niño-Oscilación del Sur) y clima local del Altiplano (Christie *et al.*, 2009) y reconstruir la precipitación del Altiplano Sudamericano para los últimos 700 años (Morales *et al.*, 2012).

El límite de crecimiento de los anillos en *P. tarapacana* está caracterizado por la presencia de vasos más abundantes y de mayor diámetro al inicio del leño temprano que contrastan con una banda de fibras leñosas con paredes celulares más engrosadas al final del anillo (Argollo *et al.*, 2004). En general los vasos son de diámetro pequeño distribuidos en un patrón semicircular (Argollo *et al.*, 2004). En otras especies como *Polylepis australis* los anillos de crecimiento están marcados por las diferencias en el diámetro del lumen entre madera tardía y temprana y el diámetro de fibras (Chartier *et al.*, 2016). *Polylepis besseri* presenta porosidad semicircular, siendo las diferencias en el diámetro de las células de madera temprana y tardía lo que delimita los anillos de crecimiento, la madera tardía presenta fibras con paredes gruesas y planas radialmente (Gareca *et al.*, 2010). El límite del anillo de crecimiento en *Polylepis pepeii* está definido por la presencia de vasos de conducción al inicio del leño temprano, cuyo diámetro es algo mayor al resto de los vasos en el anillo y por fibrotraqueidas del leño tardío con paredes radialmente aplastadas (Roig *et al.*, 2001).

A pesar de que existen descripciones macroscópicas de los anillos, aún restan ampliar las descripciones de las características anatómicas de los anillos de crecimiento de *P. tarapacana* y su relación con cambios en la precipitación y/o temperatura.

El objetivo fue describir el leño y caracterizar anatómicamente los anillos de crecimiento de los individuos de *P. tarapacana* que crecen a 4.400 m de altitud en el Altiplano de Tacna.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los bosques de *P. tarapacana* en Kallapuma se encuentran localizados entre 3.745 y 5.044 m s. n. m., fragmentados o en manchones, como resultado del proceso de degradación por actividad antropogénica; ya sea por la extracción de leña o sobrepastoreo; se encuentran levemente impactados (GRT, 2009). Los árboles presentan altura promedio de 1,3 m (GRT, 2009).

El estudio anatómico se realizó en rodajas de tres individuos, de porte arbustivo (no arbóreo por las condiciones ambientales del lugar) de la especie *P. tarapacana* obtenidos en el centro poblado de Kallapuma, provincia de Tarata, departamento de Tacna, Perú. Las muestras se obtuvieron en laderas inclinadas con suelos de mediana profundidad de origen volcánico. La vegetación arbustiva y herbácea está compuesta por las especies *Parastrephia quadrangularis*, *Festuca orthophylla*, *Adesmia spinosissima* y *Baccharis tricuneata* principalmente (GRT, 2008). Kallapuma se encuentra ubicado a 17° 19' de latitud sur y 69° 42' de longitud oeste a 4.654 m de altitud, presenta dos estaciones climáticas bien diferenciadas: una de estío, entre abril y octubre, caracterizada por días soleados noches muy frías (son frecuentes las heladas) y ausencia de lluvias; y una lluviosa entre noviembre y marzo (Figura 1). La temperatura media presenta una gran regularidad durante todo el año, con una disminución durante los meses de invierno (junio, julio y agosto); la temperatura máxima varía entre 12 a 16 °C, mientras que la temperatura mínima varía entre -12 y -8 °C (Figura 1).

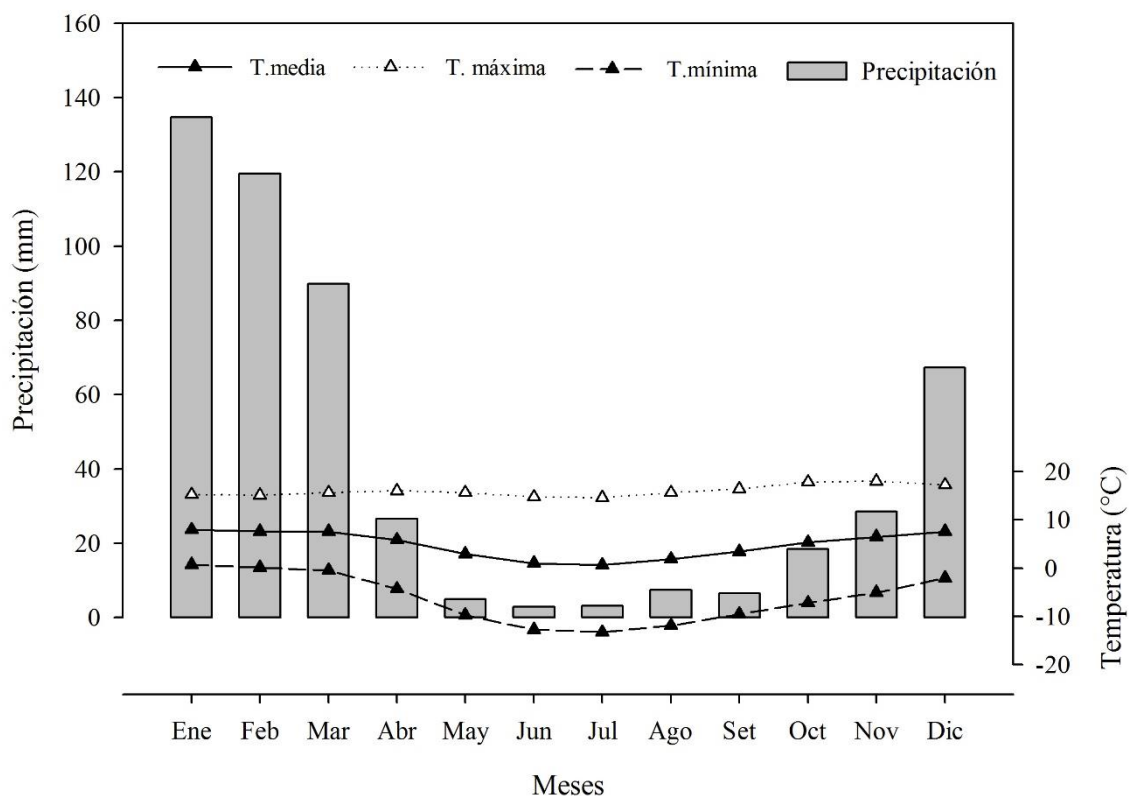


Figura 1. Diagrama ombrotérmico para la estación meteorológica de Mazo Cruz ubicado a 16° 43' S, 69° 42' O a 3.981 m s. n. m. (T = temperatura). Elaborado a partir de datos obtenidos de Andrade (2018).

Los individuos de *P. tarapacana* se seleccionaron al azar según las indicaciones de la norma COPANT (1973) para descripciones anatómicas (Figura 2). Se obtuvieron rodajas de 5 cm de espesor a 0,3 m sobre el nivel del suelo de arbustos de 1,5 metros de altura. Las características macroscópicas se observaron con una lente de mano de 10X, según la norma COPANT N° 30:1 - 019. De cada disco (8 cm de diámetro promedio) se obtuvo una muestra de 2x2x2 cm de lado para realizar los preparados microscópicos de madera. Estas muestras se obtuvieron de una sola orientación por presencia de medula excéntrica. Se hirvieron en agua por un lapso de 15 h. Posteriormente, se procedió a ablandar las muestras con alcohol al 30 % y glicerina al 70 %. Con un micrótopo de deslizamiento horizontal se obtuvieron cortes transversales de 20-30 µm de espesor. Las láminas se deshidrataron en concentraciones de alcohol de 30 % hasta 95 % por un lapso de 20 min, se aclararon con el reactivo verde brillante y se colorearon con safranina al

1 %, luego se colocaron en un portaobjeto con una a dos gotas de bálsamo de Canadá, y finalmente se cubrieron con una lámina cubreobjetos (Beltrán y Valencia, 2013). Las edades de los arbustos muestreados se calcularon contando el número de anillos desde la médula a la corteza. En las descripciones de la madera se usó la terminología del comité de nomenclatura de IAWA (IAWA Committee, 1989).

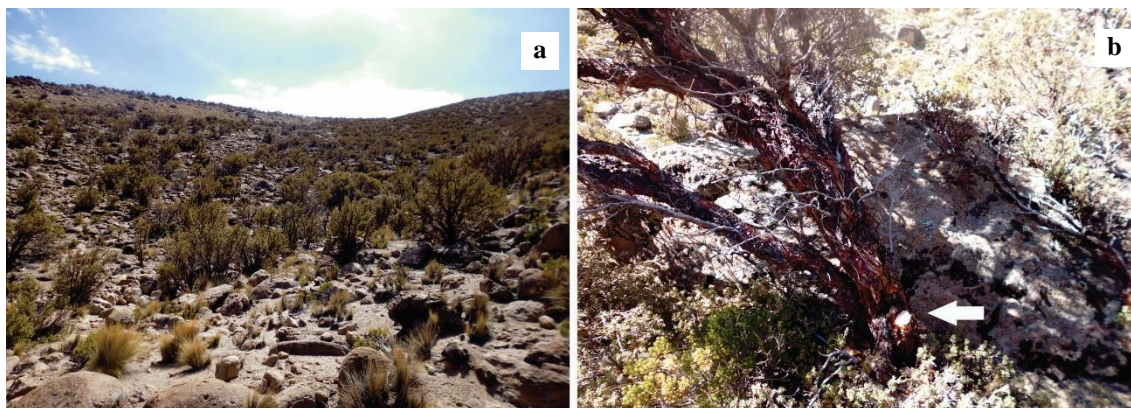


Figura 2. Bosque de *P. tarapacana* en Kallapuma (a) vista panorámica del sitio de colecta de muestras, (b) árbol muestreado de 1,5 m de altura (flecha blanca indica rama muestreada).

Se astilló la madera temprana y madera tardía de aproximadamente 1,5 mm de espesor con la ayuda de una cuchilla, que se obtuvieron a partir de los cubos de 2x2x2 cm. Para la maceración se siguió la metodología descrita por Beltrán y Valencia (2013) donde las astillas se colocaron en un frasco con tapa hermética con una solución de ácido acético y peróxido de hidrógeno en proporciones de uno a dos, respectivamente; se secaron a 65 °C por 48-72 h. Además, se realizaron 44 mediciones del diámetro de vasos y fibras (22 en madera temprana y 22 en madera tardía). Con el fin de determinar si existe diferencia estadística significativa entre los elementos vasculares del leño temprano y tardío, se empleó la estadística inferencial, prueba de “T” de Student al 95 % de intervalo de confianza, para muestras independientes. Estos análisis estadísticos se realizaron con el software Minitab 17 (Minitab 17 Statistical Software, 2010).

3. RESULTADOS

Descripción macroscópica

La madera presenta duramen de color marrón muy pálido (HUE 10YR-8/3), con transición entre albura y duramen (Figura 3a). Olor y sabor ausente. Lustre medio. Textura fina. Grano recto a inclinado. Veteado tenue en arcos superpuestos y líneas paralelas. Madera dura. Anillos de crecimiento visibles a simple vista y con lupa de 10X (Figura 3b). El conteo de anillos de crecimiento determinó que los arbustos presentaron entre 80 a 103 años, siendo jóvenes (Figura 3a).

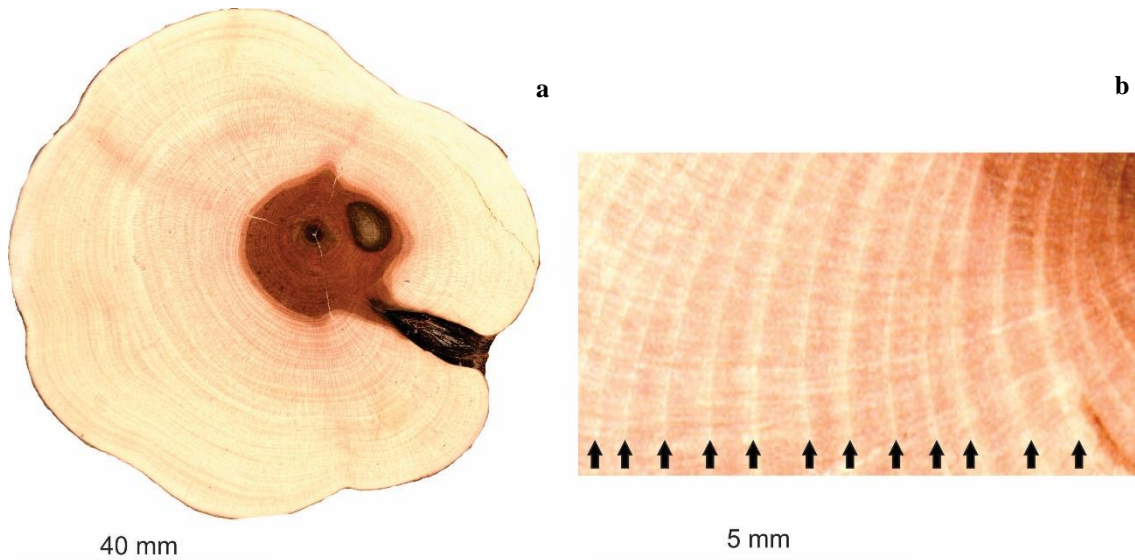


Figura 3. Características macroscópicas de *P. tarapacana*. (a) diferencia entre duramen y albura en la sección transversal del fuste, (b) anillos de crecimiento (flechas negras) con un aumento de 10x.

Descripción microscópica

La madera presenta anillos de crecimiento definidos, conformados por células (fibras) de paredes muy gruesas y acortadas radialmente, lo que en conjunto constituye la madera tardía y de coloración más oscura (Figura 4a). La madera temprana está conformada por células (fibras) de paredes medianas a gruesas y de coloración clara; de forma ovalada, poligonal y circular (Figura 4b). Presenta porosidad semicircular (Figura 4a). Los poros son predominantemente solitarios existiendo también agrupados de dos (Figura 4a).

Los radios son homogéneos tipo I (Kribs, 1935), uni y multiseriados, bajos y escasos, conformados por una hilera de células cuadradas de 1-4 células de ancho (Figura 4d, f). El parénquima es apotraqueal difuso (Figura 4c). Platinas de perforación simples (Figura 4h). Punteaduras intervasculares alternas y de forma ovalada. Punteaduras radiovasculares similares a las intervasculares. Fibrotraqueidas presentes con numerosas puntuaciones bordeadas (Figura 4g). Cristales ausentes.

Los poros son muy pequeños y excesivamente numerosos (Tabla 1). Los radios son cortos y finos (Tabla 1). La longitud de fibras de la madera temprana fue de 596,88 μm y de la madera tardía fue de 466,25 μm (Tabla 2). El espesor de pared de fibras de madera temprana fue de 3,25 μm y de la madera tardía fue de 5,22 μm (Tabla 2).

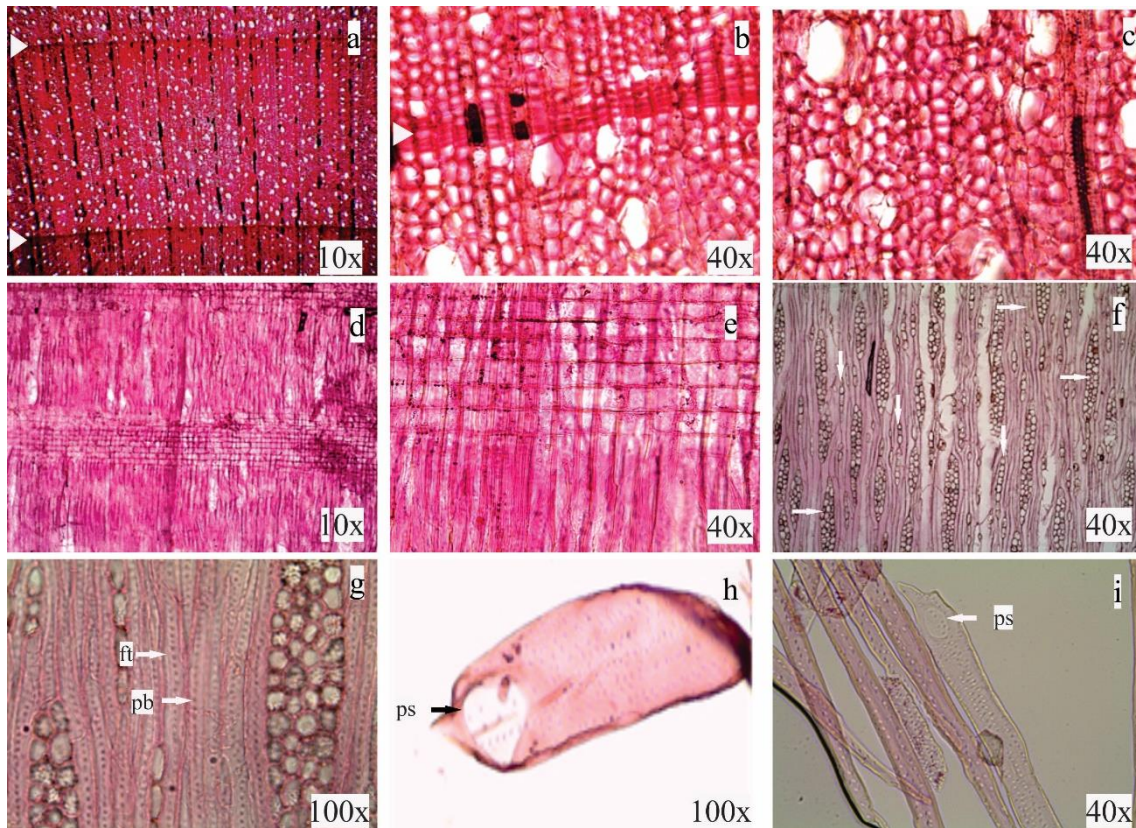


Figura 4. Vista microscópica de diferentes planos de corte de la madera y elementos del leño. (a) anillos de crecimiento (triángulos blancos indican el límite del anillo), (b) madera temprana y tardía (indicado por triángulo blanco), (c) parénquima apotraqueal difuso, (d) radios homogéneos de tipo I, (e) células procumbentes, (f) radios uniseriados (flechas blancas verticales), multiseriados (flechas blancas horizontales). (g) fibrotraqueidas. (ft) y puntuaciones bordeadas (pb), (h) platina de perforación simple (ps), (i) fibrotraqueidas vasculares y elemento de vaso con placa de perforación simple.

La prueba de “T” de Student determinó que existe diferencia estadística altamente significativa entre la longitud de fibras de madera tardía y temprana. En cuanto al diámetro de fibra la diferencia resultó significativa, al igual que para el espesor de pared (P-valor = 0,02) y para el diámetro tangencial de vasos (P-valor = 0,001) (Tabla 2).

Tabla 1. Estadísticas descriptivas de poros y radios del leño

Variable anatómica	Promedio (µm)	Desviación estándar	Valor máximo	Valor mínimo	(CV%) ^a
Poros					
Diámetro tangencial	31,25	4,94	39,21	22,21	15,81
Diámetro radial	45,67	3,68	54,5	40,21	8,06
Número de poros /mm ²	57,68	3,2	62	51	5,54
Radios					
Longitud	299,1	87,87	550,29	151,34	29,38
Ancho	41,97	7,48	53,45	21,21	17,82

^a(CV%) coeficiente de variación

Tabla 2. Estadísticas descriptivas y comparativas de fibras y elementos vasculares de madera temprana y madera tardía

	Variable	\bar{x} (μm)	S	V. máximo	V. mínimo	(CV%)	P-valor
Madera temprana							
Fibras	Longitud	596,88	102,26	756,23	394,05	17,13	<0,001**
	Diámetro	25,91	3,57	32,63	20,04	13,77	0,036*
	Diámetro de lumen	19,41	4,34	25,54	12,1	22,38	0,793
	Espesor de pared	3,25	1,16	4,87	1,34	35,74	0,027*
Vasos	Longitud	289,91	61,74	432,8	114,11	21,3	0,053
	Diámetro tangencial	45,58	9,84	62,2	28,27	21,59	0,001*
Madera tardía							
Fibras	Longitud	466,25	95,22	682,09	354,62	20,42	<0,001**
	Diámetro	22,62	3,13	30,09	17,67	13,86	0,036*
	Diámetro de lumen	12,17	2,54	19,63	8,57	20,9	0,793
	Espesor de pared	5,22	0,86	7,24	4,11	16,39	0,027*
Vasos	Longitud	328,69	59,35	389,65	207,55	18,06	0,053
	Diámetro tangencial	36,74	2,36	39,54	31,73	6,41	0,001*

CV: coeficiente de variación, S: desviación estándar, (*) Significativo al 95 % (P-Valor < 0,05), (**) altamente significación al 99 % (P-Valor < 0,01).

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

De manera general, las características anatómicas a nivel macroscópico y microscópico observadas son similares a las reportadas para otras especies del género *Polylepis* (Zhang, 1992; Roig *et al.*, 2001; Argollo *et al.*, 2004 y Chartier *et al.*, 2016).

La estructura anatómica de anillos de crecimiento es similar a la descripción realizada por Argollo *et al.* (2004) para la misma especie. Además, otras especies de *Polylepis* presentan similitud en la estructura anatómica de los anillos de crecimiento, como en el caso de *P. australis* que presenta diferencia en el diámetro de fibra y diámetro lumen de fibra entre madera temprana y tardía. Para el caso de *P. besseri* los anillos de crecimiento se hacen distintivos por la diferencia en el diámetro de fibra (Gareca *et al.*, 2010). En cambio, en *P. pepeii* la distribución de vasos y fibrotraqueidas es la responsable de la diferenciación entre madera temprana y tardía (Roig *et al.*, 2001). El conteo de los anillos de crecimiento reveló que los arbustos estudiados son jóvenes en comparación con árboles de más de 500 años encontrados en Chile (Moya y Lara, 2011). Los anillos de crecimiento de *P. tarapacana* son usados tradicionalmente en estudios climáticos de los Andes (16-22 °S) para evaluar la respuesta del crecimiento radial a las variaciones de precipitación y temperatura (Boninsegna *et al.*, 2009). *P. tarapacana* en el Altiplano boliviano esta favorecido por las precipitaciones de verano, donde se produce la activación del cambium para el crecimiento de los árboles (Argollo *et al.*, 2004). En cambio, en el norte de Chile (Arica y Parinacota) el crecimiento radial de los árboles pareciera estar más influenciado por la temperatura de verano que por la precipitación (Moya y Lara, 2011). En cuanto al crecimiento en altura del árbol pareciera estar favorecida por la radiación solar que se refleja en las temperaturas máximas del aire en la estación de crecimiento (Kessler *et al.*, 2014). Las condiciones ambientales de la zona de estudio, escasa precipitación concentrada en verano, alta radiación solar y temperaturas mínimas por debajo de 0 °C, pueden influir en las respuestas adaptativas de los caracteres anatómicos del leño de *P. tarapacana* a las bajas temperaturas y a las condiciones de sequía (Kessler *et al.*, 2014).

El leño de *P. tarapacana* presenta porosidad difusa, la cual ha sido asociada con la disponibilidad de agua (Moglia y Giménez, 1998; Montaña-Arias *et al.*, 2017). De acuerdo con Gutiérrez (2009), el hecho de que haya una estacionalidad marcada como en Kallapuma donde la precipitación se

concentra de diciembre a marzo, favorece el desarrollo de una porosidad difusa. Este tipo de porosidad, se considera como una ventaja para transportar la escasa cantidad de agua existente en el hábitat (Moglia y Giménez, 1998). La porosidad difusa es característica en la mayoría de géneros de la familia Rosaceae, como describe Zhang (1992) y las numerosas puntuaciones bordeadas (Metcalf y Chalk, 1957).

Los vasos excesivamente numerosos de *P. tarapacana* son una característica común de las especies que habitan en sitios secos (Silva *et al.*, 1988; Moglia y Giménez, 1998). Aunque los vasos numerosos son considerados como característicos de las especies xerófitas (Carlquist y Hoekman, 1985), también se han reportado en especies de climas fríos (Miller, 1975). *Kallapuma* presenta temperaturas mínimas por debajo de 0 °C de abril a setiembre y estrés hídrico entre abril y octubre. El incremento de meses secos o disminución de la temperatura del sitio donde se desarrolla la planta se relaciona con un mayor número de vasos (León, 2001).

Los vasos de diámetro muy pequeño son característicos de las especies del género *Polylepis* como por ejemplo *Polylepis incana* descrito por Zhang (1992). Los vasos pequeños indican una mayor resistencia a la cavitación y, por consiguiente, éstos contribuyen a reducir los embolismos (Giménez *et al.*, 2012) y muestran resistencia al estrés hídrico (Montaño-Arias *et al.*, 2013). Asimismo, la diferencia estadística en el diámetro tangencial de los vasos entre madera temprana y tardía, estaría indicando que los vasos de mayor tamaño en la madera temprana favorecen el transporte de grandes cantidades de agua por unidad de tiempo por vaso (Carlquist, 2001) en la época húmeda (diciembre - marzo), en comparación con los vasos de diámetro más pequeño de la madera tardía época seca (mayo - octubre).

La longitud de los elementos de vaso medida es similar a la reportada para diversas especies del género *Polylepis* (Zhang, 1992). Los vasos de longitud corta sugieren que proveen seguridad en el proceso conductivo. A medida que son más cortos y anchos habrá mayor seguridad en la conducción del agua (Zimmermann, 1978), los vasos cortos encontrados son propios de especies que crecen en lugares áridos, como indica Carlquist y Hoekman (1985). Estos tipos de vasos son considerados los más fuertes, a causa del estrechamiento formado por la pared del elemento de vaso, permitiendo resistir grandes presiones y deformaciones relacionadas con las tensiones de la columna de agua (Carlquist, 2001). Todo ello aunado a la presencia de placas de perforación simple implican una óptima conducción de agua (Moglia y López, 2001). Las punteaduras intervasculares alternas proporcionan mayor tensión superficial y disminuyen la propagación del émbolo (Jansen *et al.*, 2004). Los radios de baja altura están relacionados con sitios que presentan poca disponibilidad de agua (Novaes *et al.*, 2010). Estas características anatómicas descritas sugieren que *P. tarapacana* podría estar adaptado para desarrollarse en condiciones de estrés hídrico por varios meses y aprovechar el agua disponible en verano.

La diferencia estadística significativa entre longitud de fibra, diámetro de fibra, espesor de pared y diámetro tangencial de vasos entre madera temprana y madera tardía, se debe probablemente a la estacionalidad de la precipitación concentrada en los meses de verano. Aunque, la temperatura máxima también influye en la variabilidad del diámetro de fibra y espesor de pared (Bernal-Salazar y Terrazas, 2000). La variación de la precipitación y/o temperatura parece ser los principales factores que controlan la variabilidad de elementos del leño de *P. tarapacana*, como indican Torelli *et al.* (1986) y Larson (2012).

Se reconoce que la existencia de porosidad difusa, vasos excesivamente numerosos, poros de tamaño muy pequeño y cortos con placas de perforación simple contribuyen a la seguridad en la conducción de agua y son caracteres distintivos de especies del género *Polylepis*.

AGRADECIMIENTOS

El estudio fue financiado por el Programa de Fomento de Investigación Docente de la Universidad Continental (Proyecto N° 027-2016/DI-UC). Los autores desean agradecer a M. Sc. Manuel Chavesta por las sugerencias en la descripción anatómica. A la Ing. Eva Layme y Kenia Lázaro por la preparación de cortes histológicos, y a los revisores anónimos que mejoraron el manuscrito con sus valiosos comentarios.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Argollo, J.; C. Soliz y R. Villalba. 2004. Potencialidad dendrocronológica de *Polylepis tarapacana* en los Andes Centrales de Bolivia. *Ecología en Bolivia* 39: 5-24.
- Andrade, M. F. 2018. Atlas - Clima y eventos extremos del Altiplano Central Perú-boliviano 1981-2010. *Geographica Bernensia*, 188 pp.
- Beltrán, L. y G. Valencia. 2013. Anatomía de anillos de crecimiento de 80 especies arbóreas potenciales para estudios dendrocronológicos en la Selva Central, Perú. *Revista de Biología Tropical* 61(3): 1025-1037.
- Bernal-Salazar, S. y T. Salgado. 2000. Influencia climática sobre la variación radial de caracteres anatómicos de madera en *Abies religiosa*. *Madera y Bosques* 6(1): 73-86.
- Boninsegna, J. A.; J. Argollo; J. Aravena; J. Barichivich; D. Christie; E. Ferrero; A. Lara; C. Le Quesne; B. Luckman; M. Masiokas; M. Morales; J. Oliveira; F. Roig; A. Srur and R. Villalba. 2009. Dendroclimatological reconstructions in South America: a review. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol* 281: 210-228
- COPANT 1973. *Comisión Panamericana de Normas técnicas*. 30: 1-19.
- Christie, D.; A. Lara, J. Barichivich; R. Villalba; M. Morales and E. Cuq. 2009. El Niño-Southern Oscillation signal in the world's high-elevation tree-ring chronologies from the Altiplano, Central Andes. *Paleogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology* 281: 309-319.
- Chartier, M. P.; M. Giantomasi; D. Renison and F. Roig. 2016. Exposed roots as indicators of geomorphic processes: A case-study from *Polylepis* mountain woodlands of Central Argentina. *Dendrochronologia* 37: 57-63.
- Carlquist, S. and D. Hoekman. 1985. Ecological wood anatomy of the woody southern Californian flora. *IWA Journal* 6(4): 319-347.
- Carlquist, S. 2001. *Comparative wood anatomy. Systematic, ecological and evolutionary aspects of dicotyledon wood*. Springer Verlag, Berlín, Germany. 457 pp.
- Fjeldså, J. and M. Kessler. 1996. *Conserving the biological diversity of Polylepis woodlands of the highland of Peru and Bolivia*. NORDECO. Copenhagen. 250 p.
- GRT (Gobierno Regional de Tacna), 2008. *Análisis y estudio climatológico región Tacna*. 20 pp.
- GRT (Gobierno Regional de Tacna), 2009. *Evaluación de los queñuales (Polylepis besseri y Polylepis tomentella) en la zona Altoandina de la región de Tacna*. 48 pp.
- Gareca, E.; M. Fernández and S. Stanton. 2010. Dendrochronological investigation of the high Andean tree species *Polylepis besseri* and implications for management and conservation. *Biodivers. Conserv.* 19: 1839-1851.
- Gutiérrez, E. 2009. La dendrocronología: métodos y aplicaciones. In: Nieto, X. y M. A. Cau (eds.). *Arqueologia nàutica mediterrània* CASC, Museo de Arqueología de Catalunya. Catalunya, España. Pp. 309-322.
- Giménez, A.; F. Calatayu; M. Figueroa y J. Díaz. 2012. Anatomía de leño de *Maytenus vitis-idaea* y *M. viscifolia* (Celastraceae). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*. 47(3-4): 351-362.
- IAWA Committee, 1989. List of microscopic features for hardwood identification. *IWA Bull.* n.s. 10: 219-332.
- Jansen, S.; P. Baas; P. Gasson; F. Lens and E. Smets. 2004. Variation in xylem structure from tropics to tundra: evidence from vested pits. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 101(23): 8833-8837.
- Kessler, M. 1995. El género *Polylepis* (Rosaceae) en Bolivia. *Candollea* 50: 131-171. Systematisch-Geobotanisches, Untere Karpule Gottingen, Germany.
- Kessler, M.; J. Toivonen; S. Sylvester; J. Kluge and D. Hertel. 2014. Elevational patterns of *Polylepis* tree height (Rosaceae) in the high Andes of Peru: role of human impact and climatic conditions. *Frontiers in plant science*, 5, 194.

- Kribs, D. 1935. Salient lines of structural specialization in the wood rays of dicotyledons. *Botanical Gazette*. 96(3): 547-557.
- Larson, P. R. 2012. *The vascular cambium: development and structure*. Springer Science and Business Media. 737.
- León, H. W. 2001. Anatomía del leño, aspectos ecológicos y filogenia en mangles de Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*. 45(2): 191-203.
- Metcalf, C. and L. Chalk. 1957. *Anatomy of the Dicotyledons. Leaves, stem, and wood in relation to taxonomy*. Vol II: 1188-1194.
- Miller, H. J. 1975. Anatomical characteristics of some woody plants of the Angmagssalik district of southeast Greenland. *Mededelingen van het Botanisch Museum en Herbarium van de Rijksuniversiteit te Utrecht*. 422(1): 1-30.
- Minitab 17 Statistical Software. 2010. [Computer software]. State College, PA: Minitab, Inc. (www.minitab.com) PA: Minitab, Inc. (www.minitab.com)
- Moya, J. y A. Lara. 2011. Cronologías de ancho de anillos de queñoa (*Polylepis tarapacana*) para los últimos 500 años en el Altiplano de la región de Arica y Parinacota, Chile. *Bosque (Valdivia)*, 32(2): 165-173.
- Morales, M.; R. Villalba; H. Grau and L. Paolini. 2004. Rainfall controlled tree growth in high elevation subtropical treelines. *Ecology* 85(11): 3080-3089.
- Morales, M.; D. Christie; R. Villalba; J. Argollo; J. Pacajes; J. Silva and C. Gamboa. 2012. Precipitation changes in the south american altiplano since 1300 AD reconstructed by tree-rings. *Climate of the Past*, 8(2): 653-666.
- Moglia, G. y Giménez, A. 1998. Rasgos anatómicos característicos del hidrosistema de las principales especies arbóreas de la región chaqueña argentina. *Forest Systems*, 7(1): 53-71.
- Montaño-Arias, S.; S. Camargo-Ricalde y C. Pérez-Olvera. 2013. Ecoanatomía de los elementos de vaso de la madera de cinco especies del género *Mimosa* (Leguminosae-Mimosoideae)". *Botanical Sciences*. 91(1): 1-10.
- Montaño-Arias, S; S. Camargo-Ricalde; R. Grether y D. Díaz-Pontones. 2017. Ecoanatomía de la madera de dos taxa mexicanos del género *Mimosa* (Leguminosae-Mimosoideae). *Acta botánica mexicana*. 118: 105-120.
- Moglia, J. y C. López. 2001. Tendencias de variación radial del leño de *Aspidosperma quebracho blanco*. Investigación Agraria. *Sistemas y Recursos Forestales*. 10 (1): 69-79.
- Novaes, F.; C. Callado; M. Pereira-Moura and H. Lima. 2010. Wood anatomy of *Mollinedia glabra* (Spreng.) Perkins (Monimiaceae) in two restinga vegetation formations at Rio das Ostras, RJ, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 82(4): 915-924.
- Roig, F.; M. Fernandez; E. Gareca; S. Altamirano y S. Monge. 2001. Estudios dendrocronológicos en los ambientes húmedos de la puna boliviana. *Rev. Bol. Ecol.* 9: 3-13.
- Silva, A.; C. Blanco y H. Lindorf. 1988. Anatomía de la madera de nueve leguminosas de Venezuela. *Acta Botanica Brasilica*. 2(1): 115-133.
- Torelli, N.; K. Čufar. and D. Robič. 1986. Some wood anatomical, physiological, and silvicultural aspects of silver fir dieback in Slovenia (NW Yugoslavia). *IAWA Journal* 7(4): 343-350.
- Zimmermann, M. 1978. Vessel ends and the disruption of water flow in plants. *Phytopathology*. 68: 253-255.
- Zutta, B.; P. Rundel; S. Saatchi, J. Casana; P. Gauthier; A. Soto; Y. Velasco y W. Buermann. 2012. Prediciendo la distribución de *Polylepis*: bosques Andinos vulnerables y cada vez más importantes. *Revista Peruana de Biología*, 19(2): 205-212.
- Zhang, S. Y. 1992. *Systematic wood anatomy of the R*



TRABAJO CIENTÍFICO

Developing NIR spectroscopy models for a breeding programme of *Eucalyptus grandis* for timber production

Desarrollo de modelos de espectroscopia del infrarrojo cercano para un programa de mejoramiento genético de Eucalyptus grandis orientado a la producción de madera

Hernández, M. A.¹

Recibido en octubre de 2018; aceptado en marzo de 2019

ABSTRACT

In order to screen genotypes of *Eucalyptus grandis*, near infrared spectroscopy models were developed to estimate physical and mechanical wood properties for a breeding programme aimed at producing solid wood products. For this purpose, 60 twelve-year-old trees from three progeny trials were felled to obtain wood samples. One hundred samples, which represented the species wood variability, were used to make the physical and mechanical measurements. The physical variables measured were basic and air-dried density, while mechanical variables included the flexural properties modulus of elasticity and modulus of rupture as well as wood hardness. Modulus of elasticity and modulus of rupture were measured through a universal testing machine in static bending, whereas wood hardness was determined on tangential and radial faces by means of Janka hardness test. Partial least squares regression was the technique used to predict wood properties. The NIR spectroscopy models yielded similar errors for calibration and validation sets. These models had coefficient of determination (R^2) ranging from 0.74 to 0.93, while their ratio of performance to deviation (RPD) fluctuated from 2.0 to 3.7. The most reliable models were those developed for basic and air-dried wood density, because their RPD values were the highest; in contrast, the models for modulus of elasticity, modulus of rupture and hardness had lower RPD than the models for wood density, making them suitable for rough screening. Near infrared spectroscopy estimated physical and mechanical wood properties accurately, enabling the breeding programme of *Eucalyptus grandis* to ease and speed up measurements.

Keywords: hardness, near infrared spectroscopy, static bending test, tree selection, wood quality.

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue ajustar modelos de espectroscopia del infrarrojo cercano para estimar propiedades físicas y mecánicas de la madera en un programa de mejoramiento genético de *Eucalyptus grandis* orientado a la obtención de productos sólidos. Con este propósito se apearon 60 árboles de 12 años de edad en tres ensayos de progenies a partir de los cuales se obtuvo las muestras de madera. Se utilizaron cien probetas para hacer mediciones de propiedades físicas y mecánicas. Las propiedades evaluadas fueron densidad básica, densidad seca al aire, módulo de elasticidad, módulo de rotura y dureza. Se utilizó una máquina universal para medir módulo de elasticidad, módulo de rotura y dureza Janka sobre caras tangenciales y radiales. Se usó la regresión por mínimos cuadrados parciales para ajustar los modelos predictivos. Los errores estadísticos de los modelos fueron similares para los conjuntos de datos de calibración y de validación. Valores del coeficiente de determinación (R^2) variaron de 0,74 a 0,93; mientras la relación de la desviación de la predicción (RPD) varió de 2,0 a 3,7. Los modelos de densidad básica y densidad seca al aire fueron los más precisos, con valores más altos de RPD; mientras que los modelos para módulo de elasticidad, módulo de rotura y dureza presentaron valores más bajos de RPD. La espectroscopia del infrarrojo cercano fue exitosa para estimar propiedades físicas y mecánicas de la madera. Estos modelos facilitarán y acelerarán las mediciones en el programa de mejoramiento genético de la especie.

Palabras clave: dureza, espectroscopia NIR, ensayo de flexión estática, selección genética, calidad de madera.

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Route 27 - Km 38.3, Bella Vista, Corrientes, Argentina. E-mail: hernandez.mariano@inta.gov.ar

1. INTRODUCTION

Eucalyptus grandis (Hill) Maiden is the main *Eucalyptus* species established in Argentina. The Northeast of the country has around 250,000 ha planted with this species (SAGyP, 2018), mainly used for a wide range of solid wood products, such as poles, pallets, structural timber, floors, boards and furniture (Sánchez Acosta, 1995). Forest plantations have traditionally been managed to clear-cut at about age 12 for producing sawn boards, but the emergence of new genetic materials with higher growth and the production of other final products are significantly reducing the time for felling. To satisfy the local demand of genetic material for planting, the Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) carries out a breeding programme of *E. grandis*, aimed to improve not only growth, but also wood quality (Harrand *et al.*, 2009).

Because it is widely used as a measure of wood quality, wood density is the most common wood property included in tree breeding programmes (Zhang and Morgenstern, 1995; Zobel and Jett, 2012). Wood density is currently assessed by INTA in standing trees, through devices such as pilodyn, resistograph or increment borer (López, 2005). However, these instruments do not allow researchers to evaluate other features of wood, such as mechanical properties. As frequent applications of eucalypt wood in Argentina involve using the material as joists and floors, the ability to resist loads and indentation has become an important consideration. Characterization of hardness and flexural properties of INTA's breeding population of *E. grandis* might add new information about the suitability of some genotypes for timber production. In addition, characterization of wood properties has become imperative as eucalyptus clonal plantation increases, because large areas of clonal plantations imply the same good or bad features of wood quality for supplying the industry.

Near infrared (NIR) spectroscopy has been broadly applied to the rapid and non-destructive analysis of physical and mechanical wood properties over the last years, showing great potential in the analysis of solid wood in lab tests (Fujimoto *et al.*, 2008). Several successful NIR spectroscopy models have been developed around the world to predict wood density under laboratory conditions in *Eucalyptus spp.* (Schimleck *et al.*, 1999; Hein *et al.*, 2009a; Inagaki *et al.*, 2012), whereas others have been developed for predicting the flexural properties modulus of elasticity and modulus of rupture (Esteves and Pereira, 2008; Kothiyal and Raturi, 2011). However, no information is available about the feasibility of developing NIR spectroscopy models to predict wood hardness. Although it is well known that wood hardness is highly correlated with wood density (Holmberg, 2000), this does not necessarily apply to NIR spectroscopy models, which may not have a similar performance for these variables.

Setting up NIR spectroscopy models for predicting physical and mechanical wood properties would enable INTA's breeding programme of *E. grandis* to evaluate a large number of genotypes and measure different features simultaneously and quickly. In the light of these considerations, the aim of this study was to develop NIR spectroscopy models to predict wood density, modulus of elasticity, modulus of rupture and hardness of *E. grandis* wood for tree selection.

2. MATERIALS AND METHODS

Sample preparation and measurement of physical and mechanical properties

The samples for the study were obtained from 12 year old *Eucalyptus grandis* trees belonging to three progeny trials located in the provinces of Corrientes and Misiones, Northeastern Argentina. For each trial, 20 trees were sampled, totaling 60 trees. Diameter at breast height (1.3 m) was measured with a caliper on trees selected by growth and form, having an average value of 34.3 (\pm 4.13) cm. Trees were then felled with a chainsaw and 1 m long billets were cut from each downed tree at breast height. A 100 mm thick board was sawn from each billet centred on the pith in a north-south direction. Boards were transported to facilities where they naturally dried to the equilibrium moisture content. A total of 356 defect-free samples measuring 20x20x360 mm (radial [R], tangential [T] and longitudinal [L] directions, respectively) were sawn from pith to bark for each dried board. To work with only the most representative samples of the species wood variability, all samples were ordered from the lowest to the highest value of air-dried wood density, which had been previously measured by determining mass and volume with a scale and small caliper, respectively. One hundred samples ($n = 100$) were then systematically selected from the total, following all the range of variation of the property. These samples were hereafter used to make the experiment.

First, values of the variables modulus of elasticity (MOE) and modulus of rupture (MOR) were obtained through static bending tests. Second, three small clear specimens were generated from each single sample after the static bending test was conducted. These wood samples were used as follows: a 20 (R) x 20 (T) x 150 (L) sample for Janka hardness determination, a 20 (R) x 20 (T) x 20 (L) mm sample to calculate moisture content and wood density, and a 20 (R) x 20 (T) x 50 (L) mm sample for NIR measurements (Figure 1).

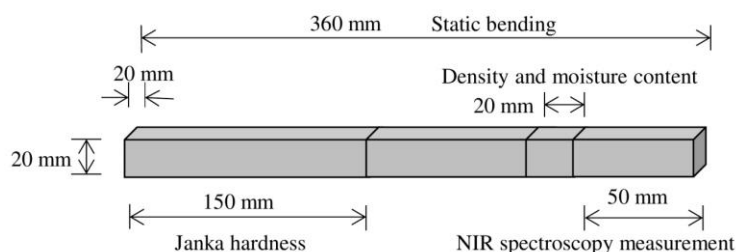


Figure 1. Sample used for physical and mechanical tests.

A universal testing machine (50 kN load) was used to determine mechanical properties. A three-point static bending test according to the DIN 52186 standard (1992) was performed to determine MOE and MOR values for each clear sample. The Janka hardness determination was done to obtain two measurements per sample on tangential ($HARD_T$) and radial ($HARD_R$) sections, using the machine with a constant and equal speed of 5 mm/min. To measure wood density on 20x20x20 mm samples, the procedures of the IRAM 9544 standard (1985) were followed, but replacing the health-hazardous mercury of the pycnometer with distilled water, as described by Coronel (1994). Two different measurements of wood density were made on the same single sample: Air-dried wood density (WD_{AD}) and basic wood density (WD_B). The former was measured at atmospheric conditions, while the latter was measured after assessing WD_{AD} , rehydrating the sample in water during 164 h to obtain green volume and drying in oven at 103 ± 2 °C to obtain dried mass. According to the difference in weights between air-dried samples

and oven-dried samples, the average moisture content was 14.2 %. Statistical descriptors for physical and mechanical properties of the study are shown in Table 1.

Table 1. Summary of wood properties of the experimental material

Wood properties	Max.	Mean	Min.	SD
WD _B (kg m ⁻³)	699.0	516.8	357.0	78.77
WD _{AD} (kg m ⁻³)	918.0	653.8	451.0	107.36
MOE (GPa)	17.9	13.6	8.8	2.41
MOR (MPa)	162.9	108.1	62.2	22.65
HARD _T (MPa)	87.2	43.1	18.8	15.16
HARD _R (MPa)	79.9	41.1	19.9	15.43

Abbreviations of wood properties: basic wood density (WD_B), air-dried wood density (WD_{AD}), modulus of elasticity (MOE), modulus of rupture (MOR), Janka hardness on tangential section (HARD_T), Janka hardness on radial section (HARD_R).

NIR measurements and data analysis

Radial sections of wood samples were sanded with a P100 sand paper grade. Thereafter, samples were conditioned in a chamber at 22 °C and 50 % relative humidity for 48 h before NIR measurement. The NIR spectra were acquired with a Bruker spectrophotometer, model MPA, with the integer sphere in direct contact with one radial section of the sample. A mask with a 20x20 mm window was used to ensure analysing an area of constant size. NIR measurements were made with 64 scans per position, over the wavelength range 11500-3825 cm⁻¹ and with a resolution of 8 cm⁻¹. The spectral patterns of wood samples are shown in Figure 2.

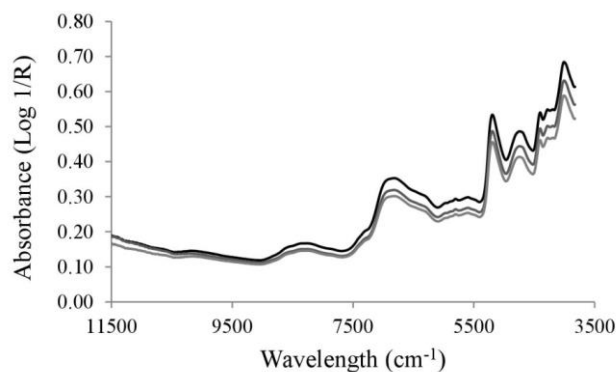


Figure 2. The NIR diffuse reflectance of wood samples from three radial positions.

In order to show the effect of radial position on the spectra of samples and make a preliminary exploration of the data, a principal component analysis (PCA) was carried out. Next, the partial least squares regression (PLS-R) technique was used for estimating wood properties of *Eucalyptus grandis*. To adjust PLS-R models, the data were randomly split into two independent, equally sized sets. One half was used to develop a calibration model, while the other was used for validation. The calibration set was the basis to select the best band combination and the best pre-processing method by automatic optimization. The pre-processing methods used on the raw spectrum were offset elimination, straight line subtraction, vector normalization, multiple scattering correction, 1st derivative and 2nd derivative. The leave-one-out cross-validation procedure was used to adjust the calibration set. Estimations were made with a maximum of 10 latent variables (rank) and detected outliers were removed from the models. The lowest statistical error and the lowest number of latent variables were the criteria used to select the models. Calibration and validation were compared for each wood property by the coefficient of

determination (R^2), the ratio performance to deviation (RPD), the root mean square of cross-validation (RMSCV) and the root mean square of prediction (RMSEP). The Opus Quant software package vs 6.5 (Bruker Optics, Germany) was used for the multivariate analyses used in the study.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The principal component analysis (Figure 3) showed that 91 % of the data variation was explained by principal component 1 (PC1), while 8.1 % was explained by principal component 2 (PC2). Samples from three radial positions were gathered in three groups; Group 1 represents the samples collected near the bark, while Group 3 represents the samples collected near the pith. The samples from Group 2 occupied a position in between the other two groups. Each of the three ellipses at a 95 % confidence interval included most samples taken from the same radial position. The PCA was able to sort samples quite well according to their position within the radius using spectral data.

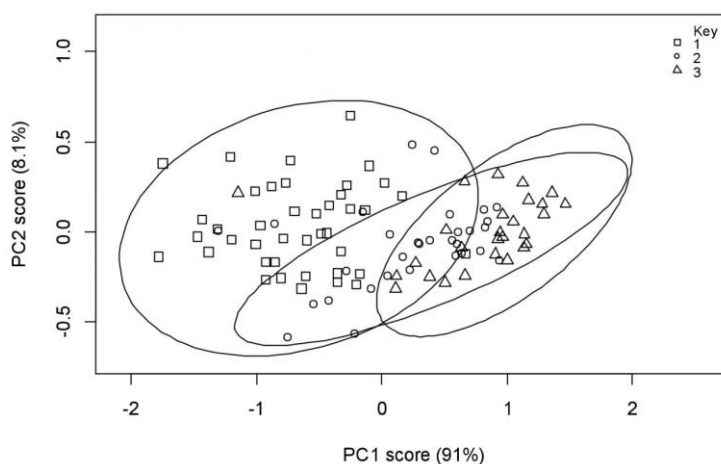


Figure 3. The Principal component analysis of the spectral information from wood samples of three radial positions. Squares, circles and triangles indicate radial positions 1, 2 and 3 respectively.

Different spectrum ranges were reached for wood properties by automatic optimization. Derivate plus straight line subtraction, second derivative and no pre-process of the signal were the pre-processing methods chosen. PLS-R models yielded quite strong relationships between measured and predicted values with coefficient of determination ranging from 0.74 to 0.93. In addition, RMSECV and RMSEP values did not show large differences for each wood property. The number of latent variables (rank) was always the same for calibration and validation sets. They were equal to 1 for all variables but modulus of elasticity, whose rank was 3. The RPD ranged from 2.0 to 3.7, while the number of outliers varied from 1 to 5. Table 2 shows the pre-processing method, the wavelength and statistics of PLS-R models for calibration and validation for each wood property.

Table 2. NIR models for each wood property for calibration (Cal) and validation (Val) sets.

Wood property	Pre-rocess	Wavelength (cm ⁻¹)	Data set	R ²	RMSECV	RMSEP	RPD	Rank	Outliers
WD _B (kg m ⁻³)	2 nd Der	11500-5440	Cal	0.93	22.3	-	3.7	1	1
			Val	0.91	-	22.9	3.3	1	2
WD _{AD} (kg m ⁻³)	NoPrePro	11500-3825	Cal	0.90	33.8	-	3.1	1	1
			Val	0.90	-	35.2	3.2	1	1
MOE (GPa)	1 st Der+SLS	6804-6094	Cal	0.82	0.98	-	2.3	3	5
			Val	0.76	-	1.14	2.1	3	3
MOR (MPa)	NoPrePro	7500-5400 4600-3800	Cal	0.74	10.3	-	2.0	1	3
			Val	0.85	-	9.1	2.6	1	2
HARD _T (MPa)	2 nd Der	8800-6090	Cal	0.78	6.2	-	2.1	1	2
			Val	0.74	-	8.5	2.0	1	1
HARD _R (MPa)	2 nd Der	11500-6080	Cal	0.87	5.4	-	2.7	1	2
			Val	0.87	-	5.7	2.8	1	1

Abbreviations of wood properties: basic wood density (WD_B), air-dried wood density (WD_{AD}), modulus of elasticity (MOE), modulus of rupture (MOR), Janka hardness on tangential section (HARD_T), Janka hardness on radial section (HARD_R). Abbreviations of pre-processing methods: derivative (Der), straight line subtraction (SLS), no pre-processing method (NoPrePro).

The best NIR models were achieved for wood density. The highest values of R² (0.90 and 0.93) and RPD (3.1 and 3.7) were obtained for basic and air-dried wood density. Since values of RPD higher than 3 can be considered satisfactory for screening (Baillères *et al.*, 2002), these models can be definitely used for plant breeding. Table 2 shows that values of R² and RPD were slightly better for basic wood density than for air-dried wood density. The reason for this behaviour may be that basic wood density is not affected by environmental humidity, resulting in more accurate models with lesser variation than models of air-dried wood density. Figure 4 shows the relationship between measured data and predicted values by NIR spectroscopy for basic and air-dried wood density. For both variables, calibration and validation sets seemed to have a relatively small dispersion around the tendency line adjusted.

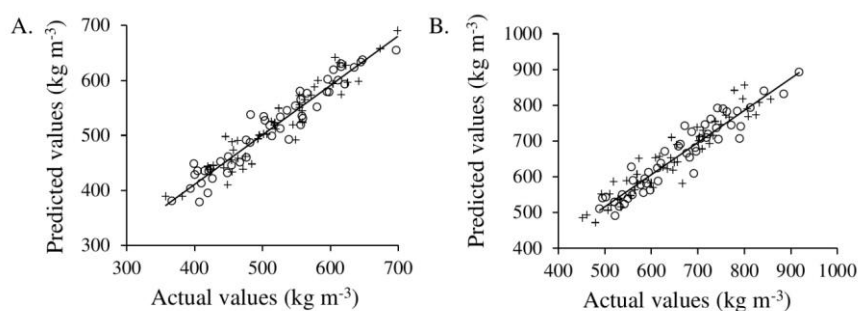


Figure 4. Plots of measured versus predicted values for the variables (A) basic wood density (WD_B); (B) air-dried wood density (WD_{AD}). Circles indicate the calibration set and plus signs indicate the validation set. The tendency line was adjusted on the calibration set.

The present study shows that statistical errors RMSECV and RMSEP of the variable basic wood density were lower than the outcomes obtained by Hein *et al.* (2009b), who estimated that statistical errors of NIR spectroscopy models ranged from 25 to 32 kg m⁻¹ in a mix of samples of *E. grandis* and *E. urophylla*. These authors also found that maximum values of R² and RPD were 0.87 and 2.6, respectively (lower than those of the present study). As regards air-dried wood density, Schimleck *et al.* (2001) adjusted a NIR spectroscopy model in *E. delegatensis*, giving R² and statistical error of 0.91 and 19 kg m⁻¹, respectively. Another study showed a NIR spectroscopy model for *E. camaldulensis*, whose R² and statistical error were 0.93 and 26 kg m⁻¹, respectively

(Inagaki *et al.* 2012). These previous studies showed higher R^2 and lower errors than the present study, but they also used a higher number of latent variables (7 for the former and 8 for the latter).

Flexural properties modulus of elasticity and modulus of rupture yielded relatively good models, most likely suitable for rough screening, since values of RPD varied from a minimum of 2.0 to a maximum of 2.6 (Table 2). Values of R^2 ranged from 0.76 to 0.82 for modulus of elasticity, while the corresponding values for modulus of rupture varied from 0.74 to 0.85. Besides, modulus of rupture provided better statistical values (statistical error, R^2 and RPD) for validation than calibration. Figure 5 shows the relationship between measured data and predicted values by NIR spectroscopy for modulus of elasticity and modulus of rupture. For both variables, the dispersion shown in the graphs was higher than that presented above for wood density.

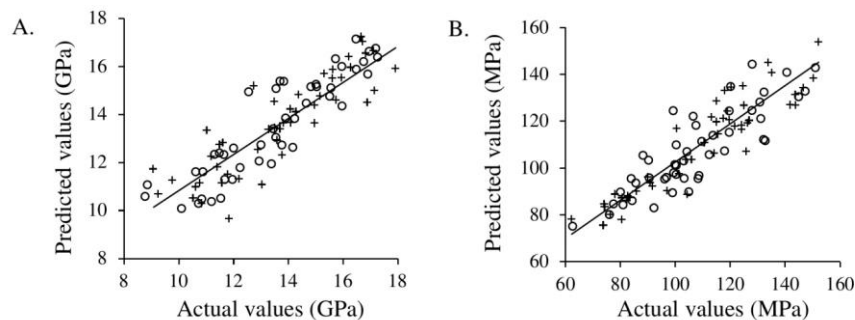


Figure 5. Plots of measured versus predicted values for the variables (A) modulus of elasticity (MOE); (B) modulus of rupture (MOR). Circles indicate the calibration set and plus signs indicate the validation set. The tendency line was adjusted on the calibration set.

The results of the present study were similar to those of Kothiyal and Raturi (2011), who made calibrations for *E. tereticornis* wood in static bending tests. They adjusted models for modulus of elasticity, whose R^2 and RPD were 0.82 and 2.29 respectively, whereas their models for modulus of rupture had R^2 and RPD equal to 0.83 and 2.13, correspondingly. On the other hand, Esteves and Pereira (2008) found good models for modulus of rupture ($R^2 = 0.75$), but poor quality in models for modulus of elasticity ($R^2 = 0.47$), when wood of *E. globulus* was tested in static bending. The literature also reports on the use of SilviScan and resonance methods to calibrate NIR models for both flexural properties in several eucalypt species, giving R^2 from 0.74 to 0.90 (Schimleck *et al.*, 2001; Hein *et al.*, 2010; Wentzel-Vietheer *et al.*, 2013).

As regards the Janka hardness measurement, both radial and tangential sections yielded good NIR models. Their R^2 ranged from 0.74 to 0.87, whereas their RPD varied from 2 to 2.8, making the models useful for predicting and screening. NIR spectroscopy models of Janka hardness showed different performance between both surfaces: models for tangential sections showed higher errors (up to 49 %) than models for radial sections, while models for radial sections showed higher R^2 and RPD (up to 18 and 40 %, respectively) than those for tangential sections. This behaviour can be easily explained by the fact that NIR measurements were taken only on radial sections. Because wood is a heterogeneous and anisotropic material, wood properties have been better explained in terms of the side where measurements were taken. As no previous studies on near infrared spectroscopy in wood hardness are available, comparisons are not feasible. Figure 6 shows the relationship between measured data and predicted values by NIR spectroscopy for Janka hardness measured on tangential and radial sections. Once again, the dispersion of data shown in the graphs was higher than that found for wood density.

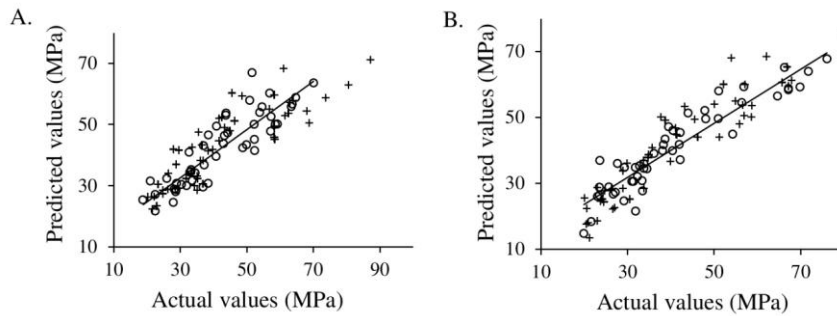


Figure 6. Plots of measured versus predicted values for the variables (A) Janka hardness on tangential section ($HARD_T$); (B) Janka hardness on radial section ($HARD_R$). Circles indicate the calibration set and plus signs indicate the validation set. The tendency line was adjusted on the calibration set.

The results show that the developed PLS-R models can be used to measure wood properties of *Eucalyptus grandis* with satisfactory accuracy. Because of their higher values of RPD, NIR spectroscopy models for wood density will allow more reliable predictions than NIR spectroscopy models for flexural properties and hardness. INTA's breeding programme can use these models to estimate physical and mechanical wood properties by two different approaches. Both approaches will require the extraction of increment cores from selected trees with an increment borer. One approach consists in making measurements using a fiber optic probe. This methodology allows researchers to take measurements on specific areas of the increment core after obtaining a radial flat surface from it. The other method involves using the integer sphere for measuring flat radial surfaces of the increment core. In order to take the measurements, this method will require a mask to assure a constant area for the wooden sample. INTA's breeding programme of *E. grandis* may benefit from both methodologies. These satisfactory PLS-R models should be used to shorten the time and ease procedures of traditional measurements of wood properties.

4. CONCLUSION

NIR spectroscopy models successfully predicted physical and mechanical properties of *E. grandis* wood, explaining variability from 0.74 to 0.93. The most reliable models were those developed for wood density, whose values of RPD were the highest, whereas the models for modulus of elasticity, modulus of rupture and hardness had lower RPD, making them suitable for rough screening. The use of NIR spectroscopy models represents an improvement for the breeding programme of the species, allowing selection of genotypes from their physical and mechanical wood properties. These models should be used to ease and speed up measurements for tree selection.

ACKNOWLEDGMENTS

The author deeply appreciates the training in near infrared spectroscopy given by Jose Carlos Rodrigues, Ana Alves and Rita Simões. He also wishes to thank Juan Lopez for providing the experimental material of the study, Gonçalo Pontes for helping in laboratory activities and Alejandro Martinez Meier for his useful suggestions.

5. REFERENCES

- Baillères, H.; F. Davrieux; F. Ham-Pichavant. 2002. Near infrared analysis as a tool for rapid screening of some major wood characteristics in a eucalyptus breeding program. *Annals of Forest Science* 59(5-6): 479-490.
- Coronel, E. O. 1994. *Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de la madera. Aspectos teóricos y prácticos para la determinación de las propiedades y sus aplicaciones. 1ª Parte: Fundamentos de las propiedades físicas de la madera*. Publicación ITM, UNSE, Argentina. 187 p.
- DIN 52186. 1992. Deutsches Institut für Normung. Prüfung von Holz; Biegeversuch.
- Esteves, B.; H. Pereira. 2008. Quality assessment of heat-treated wood by NIR spectroscopy. *Holz als Roh- und Werkstoff* 66(5): 323-332.
- Fujimoto, T.; Y. Kurata; K. Matsumoto; S. Tsuchikawa. 2008. Application of near infrared spectroscopy for estimating wood mechanical properties of small clear and full length lumber specimens. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 16(6): 529-537.
- Harrand, L.; J. J. Vargas-Hernández; J. López Upton; G. Ramirez Valverde. 2009. Genetic parameters of growth traits and wood density in *Eucalyptus grandis* progenies planted in Argentina. *Silvae genetica* 58(1-2): 11-19.
- Hein, P.R.G.; L. Brancheriau; P. F. Trugilho; J. T. Lima; G. Chaix. 2010. Resonance and near infrared spectroscopy for evaluating dynamic wood properties. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 18(6): 443-454.
- Hein, P. R. G.; J. T. Lima; G. Chaix. 2009a. Robustness of models based on near infrared spectra to predict the basic density in *Eucalyptus urophylla* wood. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 17(3): 141-150.
- Hein, P. R. G.; A. C. M. Campos; E. F. Trugilho; J. T. Lima; G. Chaix. 2009b. Near infrared spectroscopy for estimating wood basic density in *Eucalyptus urophylla* and *Eucalyptus grandis*. *Cerne* 15(2): 133-141.
- Holmberg, H. 2000. Influence of grain angle on Brinell hardness of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Holz als Roh- und Werkstoff* 58(1-2): 91-95.
- Inagaki, T.; M. Schwanninger; R. Kato; Y. Kurata; W. Thanapase; P. Puthson; S. Tsuchikawa. 2012. *Eucalyptus camaldulensis* density and fiber length estimated by near-infrared spectroscopy. *Wood Science and Technology* 46(1-3): 143-155.
- IRAM 9544. 1985. Método para la determinación de la densidad aparente. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales.
- Kothiyal, V.; A. Raturi. 2011. Estimating mechanical properties and specific gravity for five-year-old *Eucalyptus tereticornis* having broad moisture content range by NIR spectroscopy. *Holzforschung* 65(5): 757-762.
- López, J. A. 2005. *Mejoramiento genético de la calidad de la madera*. Primera jornada sobre potencial foresto-industrial del eucalipto en Santiago del Estero. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina. [en línea] [fecha de consulta: 24 de septiembre 2018]. p1-6. Disponible en: <http://fcf.unse.edu.ar/eventos/1-jornadas-forestales/pdfs/Calidad%20de%20la%20madera%20para%20Santiago.pdf>
- Schimleck, L. R.; R. Evans; J. Ilic. 2001. Estimation of *Eucalyptus delegatensis* wood properties by near infrared spectroscopy. *Canadian Journal of Forest Research* 31(10): 1671-1675.
- Schimleck, L. R.; A. J. Michell; C. A. Raymond; A. Muneri. 1999. Estimation of basic density of *Eucalyptus globulus* using near-infrared spectroscopy. *Canadian Journal of Forest Research* 29(2): 194-201.
- SAGyP, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. 2018. Inventario nacional de plantaciones forestales por superficie.[en línea] [fecha de consulta: 24 de septiembre de 2018]. Disponible en: <http://datos.gob.ar/dataset/agroindustria-inventario-nacional-plantaciones-forestales-por-superficie>

- Sánchez Acosta, M. 1995. Experiencia argentina en el uso de la madera de eucalipto. Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto para Serraria. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, São Paulo, Brasil. [en línea] [fecha de consulta: septiembre 2018]. p 74-91. Disponible en: http://www.ipef.br/publicacoes/seminario_serraria/cap09.pdf
- Wentzel-Vietheer M.; R. Washusen; G. M. Downes; C. Harwood; N. Ebdon; B. Ozarska; T. Baker. 2013. Prediction of non-recoverable collapse in *Eucalyptus globulus* from near infrared scanning of radial wood samples. *European Journal of Wood and Wood Products* 71(6): 755-768.
- Zhang, S. Y.; E. K. Morgenstern. 1995. Genetic variation and inheritance of wood density in black spruce (*Picea mariana*) and its relationship with growth: implications for tree breeding. *Wood Science and Technology* 30(1): 63-75.
- Zobel, B. J.; J. B. Jett. 2012. *Genetics of wood production*. Berlin, Germany. Springer- Verlag. 337 p.



TRABAJO CIENTÍFICO

Conocimiento e interés de conservación de la riqueza del estrato arbóreo en el manglar de Rancho Playa, Veracruz, México

Knowledge on and interest in conserving the tree stratum richness in the mangrove of Rancho Playa, Veracruz, Mexico

Santillán-Fernández A.¹; J. A. Cruz-Sampayo¹; S. Luis-Mejía¹;
N. Vásquez-Bautista² y J. Bautista-Ortega³

Recibido en octubre de 2018; aceptado en septiembre de 2019

RESUMEN

En este trabajo se analiza la riqueza de especies del estrato arbóreo, usos, importancia económica y social, y la dinámica de uso de suelo en la comunidad de manglar en Rancho Playa, Papantla de Olarte, Veracruz, México. Se usaron herramientas de Sistemas de Información Geográfica y se dividió el área en píxeles de 100x100 m con un total de 22 sitios, mediante un muestreo por conglomerados en dos etapas, y aplicando la metodología del Inventario Nacional Forestal y de Suelos, se estimó la riqueza y abundancia del manglar en la región. Adicionalmente se aplicaron 48 encuestas a personas (10 % de la población), para valorar la importancia y usos que le dan a este recurso. Los resultados muestran que el empleo como combustible y material de vivienda han contribuido a la disminución del recurso en la región. Pobladores entre 24 y 50 años tienden a valorar más el paisaje en comunidades de manglar y optan por su conservación, proponen un aprovechamiento a través de esquemas ecoturistas. Los índices de diversidad en estrato arbóreo, uno de riqueza observada dado por Margalef (1) y otro de abundancia proporcional de Shannon-Wiener (0.72) sugieren pocas especies en la región y mayor frecuencia de una, en específico *Rhizophora mangle* L. Sin embargo, esta especie ha disminuido su proporción en los últimos 10 años como resultado de la actividad humana; al respecto el ecoturismo podría ayudar a mitigar esta pérdida.

Palabras clave: mangle rojo, abundancia de especies, análisis de componentes principales, índice de diversidad, muestreo.

ABSTRACT

This study analyzed the arboreal stratum richness, uses, economic and social importance, and the changes in the dynamics of land uses of the mangrove community of Rancho Playa, Papantla de Olarte, Veracruz, Mexico. GIS tools were used to divide the area into a total of 22 sites of 100x100 m pixels each using a two-staged cluster sampling. The National Forest and Soil Inventory's methodology was applied to estimate the richness and abundance of the mangrove community in the region. Additionally, 48 surveys were distributed among the people living in the town (10 %) to assess the importance and uses they give to this resource. The results show that the use of the resource as fuel and housing material have contributed to its decline in the region. Residents ranging between 24 and 50 years old tend to value more the scenery aspect and prefer conserving mangrove for its exploitation through ecotouristic schemes. The diversity indices of the tree stratum, that of richness observed given by Margalef (1) and another of proportional abundance by Shannon-Wiener (0.72) suggest little diversity of species in the region, being the *Rhizophora mangle* L the most frequent one. However, this species has decreased its share over the last 10 years as a result of human activity; it is thought that ecotourism might help mitigate this loss.

Keywords: red mangrove; species abundance; main components analysis; diversity index; sampling.

¹ División de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico Superior de Venustiano Carranza. Venustiano Carranza 73049- Puebla. México. E-mail: asantillan@ciestaam.edu.mx

² Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. Cancún, 77500- Quintana Roo. México.

³ Departamento de Ciencias Agrícolas. Colegio de Postgraduados, campus. Campeche. Champotón, 24450 Campeche, México.

1. INTRODUCCIÓN

Los manglares son plantas leñosas que se desarrollan entre la tierra y el mar, donde existen condiciones de alta salinidad, mareas extremas, vientos fuertes, altas temperaturas y suelos fangosos y anaeróbicos (Hogarth, 2013). Por su morfología y fisiología no existe otro grupo de plantas que se adapte mejor a condiciones tan extremas (Kathiresan y Bingham, 2001). En el mundo se conocen 54 especies de mangle, distribuidas en 20 géneros y pertenecientes a 16 familias (Tomlinson, 2016).

La importancia de los manglares ha sido abordada de diferentes enfoques: como un medio que mitiga la contaminación de las actividades antropogénicas (Wickramasinghe *et al.*, 2009), como un motor de desarrollo económico en las comunidades donde se localiza (Aburto-Oropeza *et al.*, 2008; Sathirathai y Barbier, 2001; Hussain y Badola, 2010; Ha *et al.*, 2012), y como un agente de servicios ambientales que regula los procesos biogeoquímicos y efectos del cambio climático (Kathiresan y Bingham, 2001; Yee, 2010; Marín-Muñiz *et al.*, 2011; Donato *et al.*, 2012). Los antecedentes coinciden en la necesidad de desarrollar estrategias de conservación para los manglares, como la creación de reservas de la biosfera (Gopal y Chauhan, 2006), áreas naturales protegidas (Cavalcanti *et al.*, 2009) y reforestación (Macintosh *et al.*, 2012).

A nivel internacional México es el quinto país con mayor área de manglar (5 %), solo por detrás de Indonesia (19 %), Australia (10 %), Nigeria (7 %) y Brasil (7 %) (Yee, 2010). En México, los manglares, ocupan un lugar privilegiado por la riqueza natural que encierran y los servicios ambientales que prestan. Las especies de manglar más características que se distribuyen en el Golfo de México son *Rhizophora mangle* L. (mangle rojo), *Avicennia germinans* L. (mangle negro), *Laguncularia racemosa* L. (mangle blanco) y *Conocarpus erectus* L. (mangle botoncillo) (Calderón *et al.*, 2009).

A pesar de todas las bondades que presenta el manglar, en México, la superficie con este ecosistema está desapareciendo a un ritmo de 2,5 % anual, mientras que a nivel internacional, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) reporta un índice de pérdida de 0,66 % (INE, 2005). En México de 2005 a 2015 las actividades humanas redujeron en un 8 % la cobertura de mangle, que fue reconvertido a usos de suelo agrícola, ganadero y acuícola (Rodríguez y Troche, 2015). Para medir estos impactos, es común el empleo de índices de diversidad, entre ellos, los de riqueza específica suelen ser los más usados, por la sencillez de sus cálculos e interpretación (Foroughbakhch-Pournavab *et al.*, 2004).

La diversidad puede considerarse como una medida de la incertidumbre para predecir a qué especie pertenecerá un individuo elegido al azar de una muestra de S especies y N individuos (Foroughbakhch-Pournavab *et al.*, 2004). Para estimarla, el índice más característico, es el dado por Shannon-Wiener (abundancia proporcional), que toma el valor 0 cuando la muestra contiene solo una especie, y, un valor máximo cuando todas las especies S están representadas por el mismo número de individuos (Moreno, 2001).

De las 524.000 ha de manglar en México, Veracruz tiene alrededor de 63.000 ha, los municipios de Alvarado, Ignacio de la Llave, Tlacotalpan, Lerdo de Tejada, Tuxpan y Papantla de Olarte albergan 25.200 ha. Esta extensión es inferior a la que se encontraba en 1970, con más de 100.000 ha; y una gran parte de este territorio fue transformado para el uso en actividades agrícolas, ganaderas, industriales y turísticas, siendo la región Tuxpan y Papantla de Olarte una de las que más área perdió (Rodríguez y Troche, 2015).

Bajo este contexto el objetivo del presente trabajo fue analizar la riqueza de especies del estrato arbóreo, usos, importancia económica y social, y la dinámica de uso de suelo en la comunidad de manglar en Rancho Playa, Papantla de Olarte, Veracruz, México. Mediante la aplicación de índices de diversidad y estadística multivariada. Para conocer el interés de conservación de este recurso por parte de los habitantes en la región.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio incluyó 25 ha, ubicadas en la Localidad de Rancho Playa (20° 39' 10'' N; 97° 10' 30'' W), municipio de Papantla de Olarte, en el Estado de Veracruz, México (Figura 1). El ecosistema que domina en la región es la selva mediana subperennifolia, con un clima cálido, temperatura promedio anual de 20.8 °C y a una altitud de 10 msnm, con abundantes lluvias en verano y principios de otoño (CONABIO, 2016). La región se encuentra dentro de los “Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica” (CONABIO, 2009) y con mayor pérdida de manglar de 2005 a 2010 (Rodríguez y Troche, 2015). En la localidad de Rancho Playa, en 2016 la población alcanzaba 471 habitantes. El 52 % son mujeres, el 51 % son mayores a 18 años y el 15 % no sabe leer ni escribir; las actividades económicas principales son la agricultura (principalmente de maíz), ganadería (extensiva), pesca (camarón) y turismo (INEGI, 2016).



Figura 1. Ubicación espacial en el contexto nacional de las superficies con manglar de la localidad de Rancho Playa, municipio de Papantla de Olarte, en el Estado de Veracruz, México.

Toma de datos de vegetación

De la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2016) se extrajo en formato *shape* el área georeferenciada de las 24,99 ha con manglar de la localidad Rancho Playa, municipio Papantla de Olarte, en el Estado de Veracruz, correspondiente al año 2015. Se utilizó el software libre DivaGis v7.5 (DivaGis, 2017) de Sistemas de Información Geográfica y se dividió el área de estudio en píxeles de 100x100 m (1 ha). Por la irregularidad del área de estudio, se obtuvieron 22 píxeles (conglomerados), en cada uno de ellos se calcularon las coordenadas geográficas del centroide (Sitio 1, -S1-), siguiendo la metodología del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (CONAFOR, 2012). Se aplicó un muestreo por conglomerados en dos etapas (Figura 2) entre septiembre y noviembre de 2017 (CONAFOR, 2012). Para estimar la riqueza de especies del estrato arbóreo, se contabilizó el número de especies y frecuencia de individuos de cada especie, por conglomerado; esta información sirvió de base para el cálculo de

dos índices, uno de riqueza observada dado por Margalef y otro de abundancia proporcional de Shannon-Wiener (Moreno, 2001).

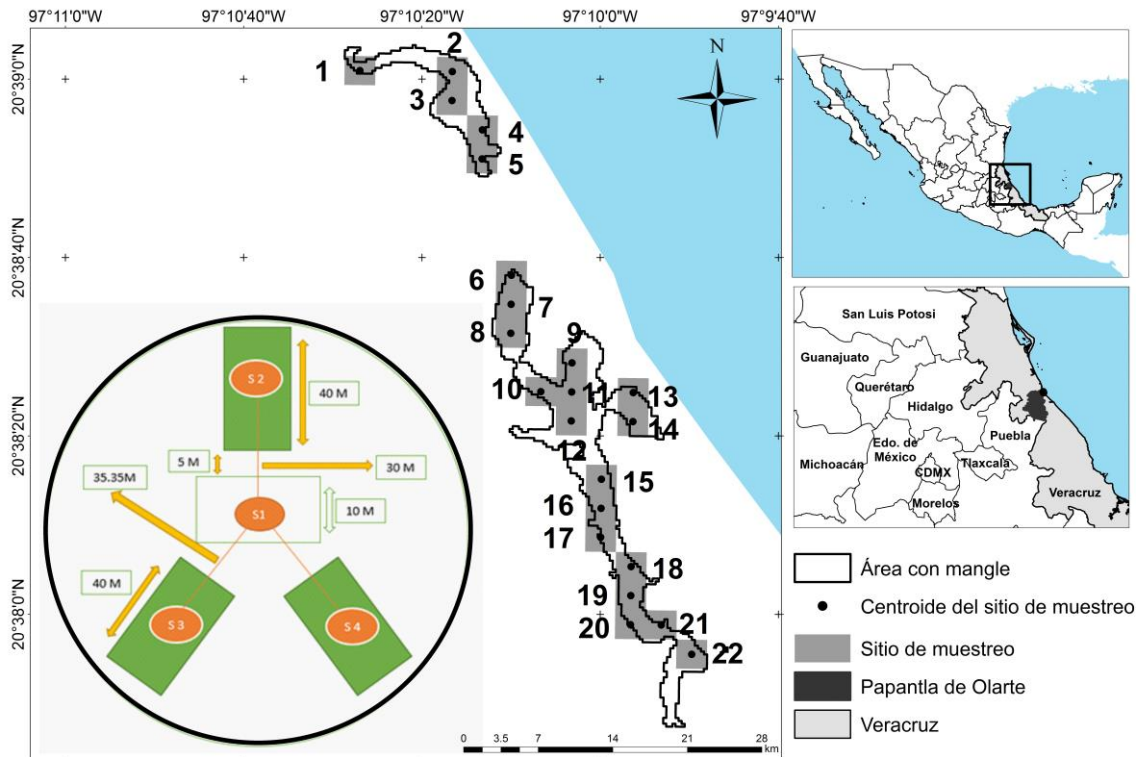


Figura 2. Ubicación espacial de las 24,99 ha de mangle de la localidad Rancho Playa, y diseño de muestreo adaptado del Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2012. S1: Sitio 1, S2: Sitio 2, S3: Sitio 3 y S4: Sitio 4 por conglomerado.

Adicionalmente del portal de CONABIO (2013a, 2013b, 2013c y 2016) se obtuvieron en formato *shape* los datos georeferenciados de las áreas de mangle en la comunidad Rancho Playa para los periodos disponibles: 1981, 2005, 2010 y 2015. Lo que permitió crear cartografía específica de la región que compara las coberturas de los usos de suelo y vegetación para los periodos indicados.

Importancia del mangle en la región

El grado de conocimiento, valorización e interés de conservación del manglar, por parte de los habitantes en la región; se estimó a partir de la aplicación de 48 encuestas (10 % de la población) entre septiembre y noviembre de 2017. Siguiendo la metodología de CIMMYT (1993) se incluyeron en la encuesta preguntas sobre edad, años de vivir en la localidad, identificación de los diferentes usos y tipos de mangle existentes en la región, y actividades que propondría para su conservación. Para facilitar la toma de datos, las preguntas que sirvieron para determinar el grado de valorización e interés de conservación del manglar, se formularon considerando una escala de Likert (muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo) (Bozal, 2006).

Adicionalmente, para corroborar la información recabada por las encuestas, sobre el interés de conservación del manglar, se entrevistó a autoridades municipales y personal de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en la región. Las guías de entrevista se enfocaron en preguntar la problemática de la pérdida de áreas con manglar en la zona y las medidas adoptadas para su conservación.

Análisis de la información

Para el análisis de diversidad, las variables medidas fueron: número de especies y frecuencia de individuos de cada especie por sitio de muestreo. Se creó una base de datos y siguiendo la metodología para el cálculo de índices de Margalef y Shannon-Wiener, dada por Moreno (2001), se obtuvieron los valores correspondientes.

Los usos y grado de conocimiento se estimaron mediante estadística descriptiva al contabilizar la frecuencia con la que los habitantes encuestados identificaron los diferentes usos y tipos de mangle existentes en la región. Para el análisis de valorización e interés de conservación del manglar, se empleó estadística multivariada (Análisis de Componentes Principales). Se relacionaron tres variables (edad, valor e interés de conservación), para ello se recategorizó cuantitativamente la escala de Likert de la siguiente manera: muy alto (tomó el valor de 5), alto (4), medio (3), bajo (2) y muy bajo (1) (Bozal, 2006).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Riqueza del estrato arbóreo del manglar en la región

Los resultados sugieren poca riqueza de especies en el estrato arbóreo (7) y abundancia de una (*Rhizophora mangle* L.) con el 93 % de frecuencia (Tabla 1). El índice de Margalef fue de 1 y el de Shannon-Wiener de 0.72, de acuerdo con Moreno (2001) valores ≤ 1 indican poca riqueza de especies. Este resultado coincide con lo reportado por Cuervo (2010) quien describe a *Rhizophora mangle* L como la especie dominante en la región. *Bursera simaruba* destacó como la especie acompañante más frecuente en los conglomerados.

Tabla 1. Número de individuos registrados de cada especie y número de especies acumuladas, presentes en la región de Rancho Playa, durante 22 sitios de muestreo (conglomerados).

Especies	Sitios de muestreo																						Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
<i>Psidium guajava</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Acacia cornigera</i>	1	0	0	0	3	0	1	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
<i>Bursera simaruba</i>	0	0	4	2	0	1	3	1	2	5	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	24
<i>Ficus carica</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Laguncularia racemosa*</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	4	1	0	1	1	0	0	12
<i>Leucaena leucocephala</i>	0	0	2	1	1	1	1	1	1	0	2	2	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	18
<i>Rhizophora mangle**</i>	0	36	12	59	14	69	36	38	26	36	202	23	26	35	45	42	12	18	9	26	48	56	868
Número acumulado de especies	2	3	5	5	5	5	5	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7

*Mangle blanco. **Mangle rojo

Dinámica de usos de suelo en la comunidad Rancho Playa de 1981 a 2015

A pesar de la abundancia que presenta *Rhizophora mangle* L. en la región, su proporción ha disminuido como resultado del cambio de uso de suelo para zonas de agricultura y ganadería (CONABIO, 2013b, 2013c y 2016). Una comparación entre las coberturas de uso de suelo y vegetación de 1981 a 2015 (Tabla 2 y Figura 3) muestra que de 1981 a 2005 la agricultura y ganadería reconvirtió zonas importantes de humedales, otros tipos de vegetación (bosque subtropical principalmente) y mangle. Sin embargo, los cambios más significativos de pérdida de manglar se dieron de 2005 a 2010 con un aproximado del 7,68 %. De 2010 a 2015 con la implementación del programa “Restauración de ecosistemas forestales” impulsado por la

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2009) se logró mantener la cobertura de comunidades de manglar en 24,99 ha.

Tabla 2. Comparación de la dinámica de uso de suelo y vegetación en la comunidad Rancho Playa para los periodos 1981, 2005, 2010 y 2015.

Uso de Suelo y Vegetación	Cobertura en ha				Tasa de cambio (%)			
	1981	2005	2010	2015	1981-2005	2005-2010	2010-2015	1981-2015
Agrícola - Pecuaria	306,68	332,71	333,39	334,34	8,49	0,20	0,28	9,02
Cuerpos de agua	1,19	1,19	1,19	1,19	0,00	0,00	0,00	0,00
Desarrollo antrópico	9,88	9,08	9,08	9,08	-8,10	0,00	0,00	-8,10
Manglar	28,62	27,07	24,99	24,99	-5,42	-7,68	0,00	-12,68
Otra vegetación	36,54	16,16	17,56	16,61	-55,77	8,66	-5,41	-54,54
Otros humedales	3,04	0	0	0	-100,00	0,00	0,00	0,00
Sin vegetación	7,8	7,54	7,54	7,54	-3,33	0,00	0,00	-3,33
Total	393,75	393,75	393,75	393,75	0,00	0,00	0,00	0,00

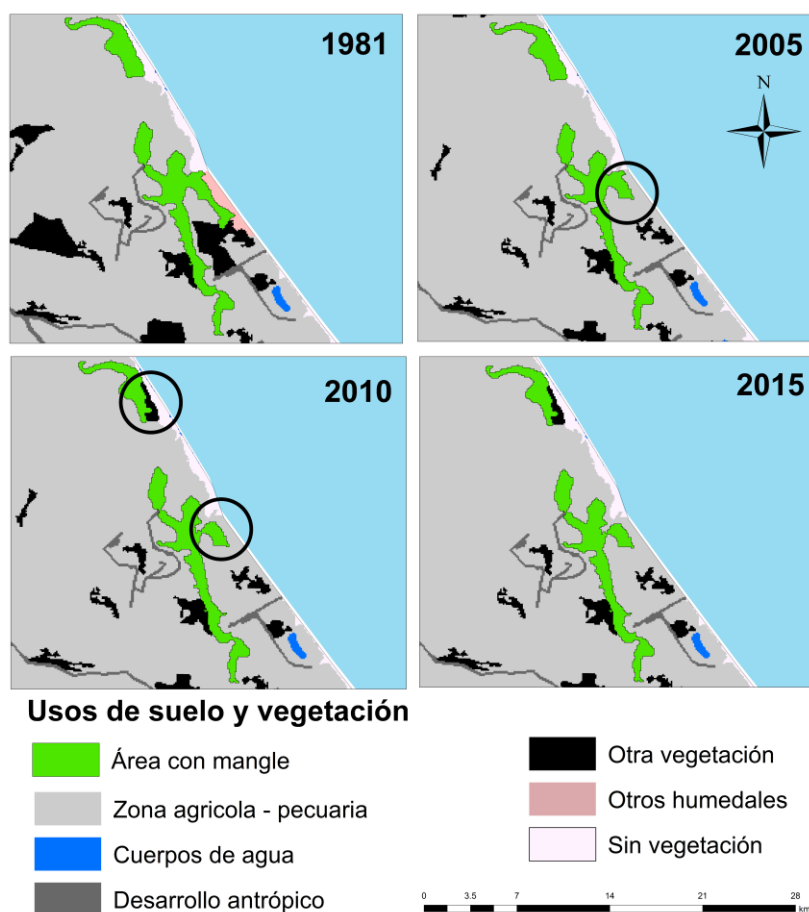


Figura 3. Comparación de la dinámica de uso de suelo en la comunidad Rancho Playa para los periodos 1981, 2005, 2010 y 2015. En círculo se marcan los cambios más significativos de pérdida de mangle.

La pérdida de manglar en la región ha sido documentada por Basáñez-Muñoz *et al.* (2006), Cuervo (2010) y Rodríguez y Troche (2015). Indican que el ritmo de disminución es de 2,5 % anual y que traerá consecuencias irreversibles, como inundaciones y disminución de fauna, en el mediano y largo plazo a la región. Al respecto Macintosh *et al.* (2012) encontró que en regiones de Tailandia donde existen manglares y conservan su estructura y función, los daños por inundaciones son significativamente menores.

A nivel nacional Marín-Muñiz *et al.* (2011) e internacional Yee (2010) y Donato *et al.* (2012) encontraron que los manglares ayudan a mitigar los efectos del cambio climático al constituir importantes sumideros de dióxido de carbono. Wickramasinghe *et al.* (2009) establecen que las zonas con manglar son capaces de filtrar los contaminantes que arrojan los ríos hasta ocho veces más que una zona con otro tipo de ecosistema, reduciendo sustancialmente la contaminación del mar.

Usos del manglar en la región

El 81 % (39 de 48) de los pobladores encuestados, conocen las especies de manglar en la región: rojo (*Rhizophora mangle* L.) y blanco (*Laguncularia racemosa*). Lo emplean en su mayoría para la producción de carbón (48 %), material de construcción (44 %), elaboración de muebles (8 %) y en menor grado para el desarrollo de actividades relacionadas con el turismo (2 %). El 61% de los encuestados opina que la explotación (extracción) del recurso mangle se da por habitantes de la misma comunidad, y un 39 % por individuos ajenos a esta. Estos resultados coinciden con lo reportado por Cavalcanti *et al.* (2009) en regiones de Brasil, y Hussain y Badola (2010) en regiones de la India. Encontraron que el principal uso del manglar es la extracción de madera, lo que contribuye a la deforestación del ecosistema, realizada por habitantes locales.

Además de estas actividades, el manglar en la región también sirve como medio para la caza (pato, garrobo y tortuga) y pesca (camarón, mojarra, lisa y jaiba). Al respecto Aburto-Oropeza *et al.* (2008) encontraron que, en las áreas con mangle, las actividades relacionadas con la pesca presentan buenos rendimientos, lo que de acuerdo con Ha *et al.* (2012) motiva a la deforestación de este ecosistema para incrementar las regiones de pesca.

Importancia del manglar en la región

En el Análisis de Componentes Principales (ACP) se encontró que la primer componente (Prin1) relaciona la variable edad y explica el 52 % de la varianza total, en la segunda componente (Prin2, que explica el 37 %) se agruparon el valor e interés por conservar, que los habitantes dan al mangle en la región (Figura 4). Los pobladores entre 24 y 50 años tienen mayor interés por conservar el mangle. Este resultado coincide con lo reportado por De la Fuente-De Val *et al.* (2004) quienes encontraron que a medida que la edad se incrementa, los pobladores tienden a valorar más el paisaje y por ende a conservar los recursos naturales; por lo que las medidas de protección, conservación y restauración del manglar deberían orientarse a los más jóvenes.

Cuervo (2010) en manglares de Tuxpan, Veracruz; encontró que pobladores de entre 18 y 50 años, tuvieron mayor disposición en las campañas de restauración del mangle, ya fuese mediante jornadas de trabajo o vigilancia. Por su parte Amjad y Jusoff (2007) en regiones de Pakistán, encontraron que la protección y conservación del manglar es más eficiente cuando se da por la comunidad local que cuando interviene el Gobierno u organismos no gubernamentales. Hsiang (2000) complementa esta idea al encontrar que las políticas públicas para la restauración del mangle en Singapur son ineficientes cuando la población afectada no muestra interés por conservar los recursos naturales de su comunidad.

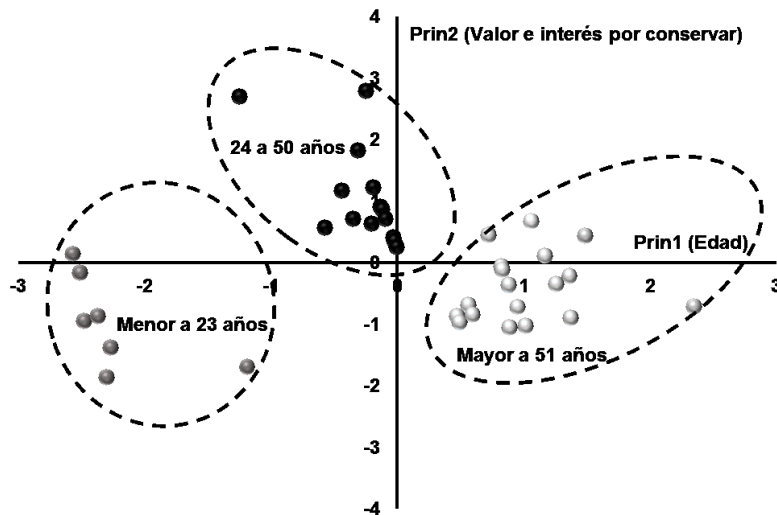


Figura 4. Análisis de componentes principales que relaciona la variable edad en años con el valor e interés por conservar (medidos en una escala de Likert) que los habitantes de Rancho Playa dan al mangle en la región.

Finalmente el 68 % de los pobladores encuestados considera a la reforestación como una medida prioritaria para la conservación del manglar, 17 % propone esquemas de protección penalizando legalmente su mal uso, y un 12 % consideró que el desarrollo de actividades que promuevan el turismo, ayudaría a conservar este recurso al ser una fuente económica para la población de la región, solo un 3 % no mostró interés por conservar el manglar. Al respecto Flores-Mejía *et al.* (2010) encontraron que la población que vive en comunidades de manglar, reconoce que la conservación de este recurso genera mayores beneficios económicos, que su propia explotación entendida como extracción. Por su parte Ayob *et al.* (2009) y García-López (2018) establecen que el turismo ecológico asociado a los manglares es una alternativa económica más viable (aprovechamiento sustentable), por el desarrollo de actividades cinegéticas como el avistamiento de aves migratorias, estructura del paisaje y variedad de flora y fauna que albergan, que le confieren a este tipo de ecosistemas, características singulares que le hacen atractivo a las nuevas demandas del turismo.

4. CONCLUSIONES

La riqueza del estrato arbóreo del manglar de Rancho Playa, Veracruz, México está dominada por la especie *Rhizophora mangle* L., que presenta una tasa de pérdida en cobertura del 12.8 % para el periodo 1981 a 2015, como resultado de las actividades antropogénicas, por lo que su conservación se hace prioritaria. Ante ello el 97 % de la población encuestada reconoció la importancia del manglar en la región y la necesidad de su conservación mediante campañas de reforestación (68 %), esquemas de protección penalizando legalmente su mal uso (17 %), y desarrollo de actividades que promuevan el turismo (12 %). Estas medidas de protección tendrán mayor éxito si se difunden entre los pobladores de 24 a 50 años, al ser el sector que mayor interés mostro por conservar su manglar. El turismo se presenta como una alternativa viable que por un lado permitiría conservar el manglar y por otro generaría un desarrollo económico regional.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aburto-Oropeza, O.; E. Ezcurra; G. Danemann; V. Valdez; J. Murray and E. Sala. 2008. Mangroves in the Gulf of California increase fishery yields. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105(30):10456-10459
- Amjad, A. S. and K. Jusoff. 2007. Mangrove conservation through community participation in Pakistan: the case of Sonmiani Bay. In *The 5th WSEAS International Conference on Environment, Ecosystems and Development (EED'07). Puerto De La Cruz, Tenerife, Canary Islands, Spain*. [en línea]. [fecha de consulta: mayo de 2018], p.433-439. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Kamaruzaman_Jusoff/publication/268431382_Mangrove_Conservation_through_Community_Participation_in_Pakistan_The_Case_of_Sonmiani_Bay/links/54d8be8c0cf24647581b7396.pdf
- Ayob, M. Z.; F. M. Saman; Z. H. Hussin and K. Jusoff. 2009. Tourists' satisfaction on Kilim river mangrove forest ecotourism services. *International Journal of Business and Management* 4(7):76-84
- Basáñez-Muñoz, A. J.; G. Olmedo-Pérez y P. Rojas-Mencio. 2006. Características estructurales y usos del manglar en el ejido Cerro de Tumilco, Tuxpan, Veracruz. México. *Revista Científica UDO Agrícola* 6(1):114-120
- Bozal, M. G. 2006. Escala mixta Likert-Thurstone. *ANDULI Revista Andaluza de Ciencias Sociales* 5:81-95.
- Calderón, C.; O. Aburto y E. Ezcurra. 2009. El valor de los manglares. *Biodiversitas* 82:1-6
- Cavalcanti, V. F.; M. L. G. Soares; G. C. D. Estrada and F. O. Chaves. 2009. Evaluating mangrove conservation through the analysis of forest structure data. *Journal of Coastal Research* 56:390-394
- CIMMYT. 1993. La adopción de tecnologías agrícolas: Guía para el diseño de encuestas. [en línea]. [fecha de consulta: 28 de agosto de 2017], p.1-95. Disponible en: <http://libcatalog.cimmyt.org/Download/cim/42408.pdf>
- CONABIO. 2009. Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. [en línea]. [fecha de consulta: 23 de mayo de 2018]. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/manglares/doctos/sitios.html>
- CONABIO. 2013a. Mapa de uso del suelo y vegetación de la zona costera asociada a los manglares de México en 1981. [en línea]. [fecha de consulta: 17 de enero de 2018]. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/mexoc1981gw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no
- CONABIO. 2013b. Mapa de uso del suelo y vegetación de la zona costera asociada a los manglares, Región Golfo de México 2005. [en línea]. [fecha de consulta: 17 de enero de 2018]. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/gmoc2005gw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no
- CONABIO. 2013c. Mapa de uso del suelo y vegetación de la zona costera asociada a los manglares, Región Golfo de México 2010. [en línea]. [fecha de consulta: 17 de enero de 2018]. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/gmoc2010gw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no
- CONABIO. 2016. Mapa de uso del suelo y vegetación de la zona costera asociada a los manglares, Región Golfo de México 2015. [en línea]. [fecha de consulta: 21 de agosto de 2017]. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/gm_oc2015gw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no
- CONAFOR. 2009. Restauración de ecosistemas forestales: guía básica para comunicadores. [en línea]. [fecha de consulta: 11 de abril de 2018], p.1-69. Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/7/579Restauraci%C3%B3n%20de%20ecosistemas%20forestales.pdf>

- CONAFOR. 2012. Inventario Nacional Forestal y de Suelos: Manual y procedimientos para el muestreo de campo Re-muestreo 2011. [en línea]. [fecha de consulta: 13 de agosto de 2017], p.1-143. Disponible en: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUKEwj28fGMr6TcAhVEja0KHUzCAGYQFggzMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.cnf.gob.mx%3A8090%2Fsnif%2Fportal%2Fcomponent%2Fphocadownload%2Fcategory%2F153-2012%3Fdownload%3D781%3Amanual-del-remuestreo-infys-2012&usg=AOvVaw2TNFn7obc3ue11PjQF4vD1>
- Cuervo, L. L. 2010. Percepción y conocimiento ambiental del sitio Ramsar 1602: Manglares y Humedales de Tuxpan. [en línea]. [fecha de consulta: 13 de junio de 2018], p.1-200. Disponible en: <https://www.uv.mx/pozarica/mmenc/files/2012/10/Liliana-Cuervo.pdf>
- De la Fuente-De Val, G. J.; J. A. Atauri-Mezquida y J. V. De Lucio-Fernández. 2004. El aprecio por el paisaje y su utilidad en la conservación de los paisajes de Chile Central. *Ecosistemas* 13(2):82-89
- DivaGis. 2017. DIVA-GIS. Version 7.5. A geographic information system for the analysis of species distribution data. [en línea] [fecha de consulta: 10 Agosto 2017]. Disponible en: <http://www.diva-gis.org/download>
- Donato, D. C.; J. B. Kauffman; R. A. Mackenzie; A. Ainsworth and A. Z. Pflieger. 2012. Whole-island carbon stocks in the tropical Pacific: Implications for mangrove conservation and upland restoration. *Journal of environmental management* 97:89-96
- Flores-Mejía, M. A.; A. Aguirre-Vallejo; M. Flores-Hernández and X. Guardado-Govea. 2010. El impacto que produce el sector turismo en los manglares de las costas mexicanas. *Contactos* 77:33-38
- Foroughbakhch-Pournavab, R.; A. E. Céspedes-Cabriales; M. A. Alvarado-Vázquez; M. A. Núñez-González y M. Badii. 2004. Aspectos ecológicos de los manglares y su potencial como fitorremediadores en el Golfo de México. *Ciencia UANL* 7(2):203-208
- García López, T. 2018. Hacia una metodología para el diseño de programas de pago por servicios ambientales en manglares en México. *Cuadernos de Biodiversidad* 54:41-62
- Gopal, B. and M. Chauhan. 2006. Biodiversity and its conservation in the Sundarban Mangrove Ecosystem. *Aquatic Sciences* 68(3):338-354
- Ha, T. T. T.; H. van Dijk and S. R. Bush. 2012. Mangrove conservation or shrimp farmer's livelihood? The devolution of forest management and benefit sharing in the Mekong Delta, Vietnam. *Ocean & Coastal Management* 69:185-193
- Hogarth, P. J. 2013. Mangrove Ecosystems. *Encyclopedia of Biodiversity* [en línea]. [fecha de consulta: 11 de abril de 2018], p.10-22. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.02209-3>
- Hsiang, L. L. 2000. Mangrove conservation in Singapore: A physical or a psychological impossibility? *Biodiversity & Conservation* 9(3):309-332
- Hussain, S. A. and R. Badola. 2010. Valuing mangrove benefits: contribution of mangrove forests to local livelihoods in Bhitarkanika Conservation Area, East Coast of India. *Wetlands Ecology and Management* 18(3):321-331
- INE. 2005. Evaluación preliminar de las tasas de pérdida de superficie de manglar en México. México: SEMARNAT-INE. [en línea]. [fecha de consulta: 18 de junio de 2018], p.1-21. Disponible en: https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2010/11/233_informe_manglar.pdf
- INEGI. 2016. Censos económicos 2014: Veracruz de Ignacio de la Llave. México: INEGI. [en línea]. [fecha de consulta: 17 de junio de 2018], p.1-92. Disponible en: http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/CE_2014/702825083243.pdf
- Kathiresan, K. and B. L. Bingham. 2001. Biology of mangroves and mangrove ecosystems. *Advances in Marine Biology* 40:81-251
- Macintosh, D. J.; R. Mahindapala and M. Markopoulos. 2012. Sharing lessons on mangrove restoration. *Bangkok, Thailand: Mangroves for the Future and Gland, Switzerland: IUCN*. [en línea]. [fecha de consulta: 14 de junio de 2018]. Disponible en: <http://www.mangrovesforthefuture.org/assets/Repository/Documents/Call-for-Action-and-Proceedings-from-2012-Colloquium-Mamallapuram-India.pdf>

- Marín-Muñiz, J. L.; M. E. Hernández-Alarcón and B. P. Moreno-Casasola. 2011. Secuestro de carbono en suelos humedales costeros de agua dulce en Veracruz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 13(3):365-372
- Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA. [en línea]. [fecha de consulta: 18 de agosto de 2017], p.1-84. Disponible en: <http://entomologia.rediris.es/sea/manytes/metodos.pdf>
- Rodríguez, M. T. and C. Troche. 2015. Manglares de México: diez años de retos en su monitoreo. *Biodiversitas* 120:14-19
- Sathirathai, S. and E. B. Barbier. 2001. Valuing mangrove conservation in southern Thailand. *Contemporary Economic Policy* 19(2):109-122
- Tomlinson, P. 2016. The Botany of Mangroves. Second Edition. In: *The Botany of Mangroves*. Cambridge: Cambridge University Press. [en línea]. [fecha de consulta: 18 de agosto de 2017]. Disponible en: <https://doi.org/10.1017/CBO9781139946575>
- Wickramasinghe, S.; M. Borin; S. W. Kotagama; R. Cochard; A. J. Anceno and O. V. Shipin. 2009. Multi-functional pollution mitigation in a rehabilitated mangrove conservation area. *Ecological engineering* 35(5):898-907
- Yee, S. 2010. REDD and BLUE carbon: carbon payments for mangrove conservation. *Marine Biodiversity and Conservation* 1-57



NOTA TÉCNICA

Modelado y optimización en el manejo forestal sustentable de la Mesopotamia argentina. Una revisión y análisis

Modeling and optimizing the sustainable forest management of the Argentine Mesopotamia. A review and an analysis

Friedl R. A.¹; D. R. Broz² y J. E. Arce³

Recibido en junio de 2018; aceptado en noviembre de 2019

RESUMEN

Se caracteriza el sector foresto industrial de la región mesopotámica argentina y analizan las aplicaciones de herramientas de investigación operativa en la misma. La evaluación se realiza contemplando publicaciones recientes y las categorías consideradas en las aplicaciones en cadena de suministro a plantas de bioenergía y problemas abiertos propuestos en aplicaciones forestales de dichas técnicas. La mayoría de las optimizaciones realizadas, se vinculan a determinaciones de las ofertas de materia prima estratégicas a escala empresa o regional, utilizando técnicas de programación lineal (PL). En cuanto a las modelizaciones de los itinerarios optimizados de camiones, resultan pendientes las incorporaciones de algoritmos que permitan manejar las demoras en el bosque y por colas de descarga en las industrias. El estudio de la localización y abastecimiento de plantas de bioenergía, empleando combustibles de origen foresto-industrial, aparece como una aplicación interesante de considerar en breve. Se considera que las aplicaciones de modelos de SIG-PL, tienen gran potencial vinculado al ordenamiento territorial, a la planificación urbana y al manejo de cuencas. En lo referente a los planes de determinación de oferta futura de materia prima, resulta pendiente la consideración de la sustentabilidad y la prueba o decisión de los mejores indicadores de los aspectos sociales y ambientales.

Palabras Claves: aplicaciones forestales, investigación operativa, programación lineal,

ABSTRACT

In this paper, the forest-industrial sector of the Argentine Mesopotamian Region is characterized and the applications of operational research tools in it are analyzed. The evaluation is carried out considering recent publications while the categories considered in the applications in the supply chain to bioenergy plants and open problems proposed in forest applications of these techniques. Most of the optimizations implemented are linked to determinations of either regional- or company-level offers of strategic raw material using PL linear programming (LP) techniques. As for the modeling of optimized truck routes, the incorporation of algorithms allowing for managing delays in the forest and for discharge lines in the industries are pending. The study on the location and supply to bioenergy plants using forest-industrial fuels, appears as an interesting application to consider shortly. It is believed that applying the SIG-PL models have great potential when linked to territorial planning, urban planning and watershed management. With regard to the plans for determining future raw materials supply, considering sustainability and the proof or decision of the best indicators of social and environmental aspects are pending.

Key Words: forest applications, operational research, linear programming

¹ Profesor Titular de Dasometría, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Misiones. E-mail: afriedl@facfor.unam.edu.ar.

² Profesor Adjunto de Tesis de Grado, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Misiones / CONICET.

³ Profesor Asociado de Manejo Forestal e Investigación Operativa, Departamento de Ciencias Forestales, Universidade Federal do Paraná. Brasil.

1. INTRODUCCIÓN

Caracterización del Sector Foresto Industrial Regional

Los recursos forestales tienen un papel muy importante para el desarrollo de una región ya que le brinda innumerables bienes y servicios. La actividad foresto industrial, vinculada a los bosques implantados, tiene una importancia destacada en la Mesopotamia Argentina, concentrando además una proporción importante de la actividad en el país. En la Tabla 1 se exponen las superficies con bosques cultivados con fines industriales de las provincias ubicadas en la Mesopotamia. En este sentido, considerando un total nacional de 1.313.758 ha, entre las tres provincias suman casi el 82 % de la superficie de los bosques implantados del país.

Tabla 1. Superficies de bosques cultivados por provincia

Provincia	Superficie (ha)	Prop. País (%)	Fuente de Información
Misiones	419.008	31,89	Subsecretaría de Desarrollo Forestal (2016).
Corrientes	500.000	38,06	Consejo Federal de Inversiones (2015).
Entre Ríos	154.000	11,72	Unidad Para El Cambio Rural, UCAR (2015).
Total Región	1.073.008	81,67	

Con respecto a las industrias forestales, la región concentra una gran cantidad de industrias, principalmente relacionadas al aserrío de madera sólida (Tabla 2).

Respecto a la importancia de las industrias relacionadas al consumo de materia prima proveniente de las plantaciones forestales, en Misiones representan el 94 %, especialmente de los géneros *Pinus*, *Eucalyptus* y *Araucaria* y solamente el 6 % proviene del bosque nativo (Fahler, 2011).

Tabla 2. Cantidad de foresto-industrias por provincia

Provincia	Número de Industrias	Fuente de Información
Misiones	731	Subsecretaría de Desarrollo Forestal de Misiones y Facultad de Ciencias Forestales, SDESFOR y FCF (2010).
Corrientes	150	Ministerio de Agroindustria (2018).
Entre Ríos	193	Mastrandrea y Vergara (2010).
Total Región	1.156	

Alonso Schwarz *et al.* (2015) estudiaron con datos de 2013, el impacto de los bosques cultivados y la industrialización de sus productos, sobre el desarrollo local, a través de la contribución directa e indirecta al PBG y la creación de puestos de trabajo en la región. Los resultados obtenidos se presentan en las Tablas 3 y 4.

Tabla 3. La contribución del sector foresto-industrial al PBG de cada provincia de la Mesopotamia

Provincia	Contribución directa al PBG (millones \$)	Contribución indirecta al PBG (millones \$)	Contribución total al PBG (millones \$)	(%)
Misiones	13.185	13.898	27.083	26
Corrientes	3.117	3.356	6.473	21
Entre Ríos	1.294	1.371	2.665	4
Total Región	17.596	18.625	36.221	18

Tabla 4. Puestos de trabajo generados por el sector foresto industrial en la Mesopotamia

Provincia	Empleo Directo	Empleos Indirectos	Empleos Totales
Misiones	22.302	17.707	40.009
Corrientes	7.685	4.745	12.430
Entre Ríos	9.136	7.294	16.430
Total	39.123	29.746	68.869

Fuente: Alonso Schwarz *et al.* (2015).

Gestión o Manejo Forestal

Se considera a la gestión o manejo forestal al conjunto de ideas, decisiones y acciones para administrar un emprendimiento forestal.

De acuerdo a la dimensión espacial o a la extensión del área gestionada se consideran las siguientes opciones/niveles: rodal, predio, empresa, provincia, región o país. De acuerdo a la dimensión temporal de la gestión, planificación o decisión, según varios autores entre los que se cuenta a Atashbar *et al.* (2016) las opciones son: estratégica (largo plazo, más de 5-30 años), táctica (mediano plazo más de 1 - 5 años) y operativa (diaria - hasta 1 año).

Según Rönqvist *et al.* (2015), las decisiones estratégicas de manejo forestal crean y definen los recursos disponibles para la empresa forestal en base a la tierra disponible, a la capacidad industrial y a las reglas que rigen el uso y la asignación del recurso forestal. Diferentes tomadores de decisiones estratégicas tomarán legítimamente diferentes decisiones estratégicas.

Sustentabilidad y Certificación Forestal

El desarrollo sostenible o duradero propone asegurar que se satisfagan las necesidades del presente, sin comprometer la capacidad de futuras generaciones para satisfacer las actuales, (Brundtland, 1987).

Se entiende por certificación forestal al “Procedimiento voluntario por el que una tercera parte independiente proporciona una garantía escrita tanto que la gestión forestal es conforme a criterios de sostenibilidad como que se realiza un seguimiento fiable desde el origen de los productos forestales”. La certificación forestal voluntaria puede ser definida entonces como un instrumento que permite reunir en el mercado a productores y consumidores que desean ofrecer y comprar productos forestales que provienen de bosques manejados de manera sostenible y que cumplen con estándares de desempeño reconocidos y aceptados internacionalmente. Estos estándares combinan Principios y Criterios internacionales que tienen sus bases en los distintos procesos internacionales que se llevaron a cabo en el mundo a partir de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo UNCED, United Nations (1992).

Situación del uso de la Optimización en el Mundo

Atashbar *et al.* (2016) realizando una revisión del modelado y la optimización en la cadena de suministro de biomasa a plantas de generación de energía, realizan cuatro clasificaciones que se adoptan en este trabajo, para evaluar la situación de las mismas herramientas en el sector foresto industrial regional. En la clasificación de las funciones objetivo, las cuatro opciones empleadas son Minimización de los costos totales, Maximización de las rentas o beneficios, Maximización del valor actual neto (VAN) y la Maximización de objetivos múltiples. Se destacan las citas de Santibañez-Aguilar *et al.* (2014) que consideran objetivos económicos y ambientales y de You y Wang (2012) que diseñan cadenas de suministro sustentables de biocombustibles celulósicos bajo objetivos económicos, ambientales y sociales. La primera función objetivo es minimizar el costo anual total, la segunda función objetivo es medir las emisiones de gases de efecto invernadero y el objetivo social es medir el número de empleos locales agregados. Se propone un modelo de

programación lineal mixto de múltiples períodos considerando las características principales de las cadenas de suministro de etanol celulósico, como el suministro de existencias estacionales, la diversidad geográfica, la disponibilidad de recursos de biomasa, etc.

Al clasificar los niveles de toma de decisión, consideran como alternativas las decisiones estratégicas, tácticas y operacionales. Mientras que en la clasificación de los métodos de solución, consideran los métodos heurísticos, los análisis de decisión multi-criterio, los sistemas de información geográfica y la simulación. También deben ser considerados la programación lineal (PL) y los métodos para optimizaciones multi-objetivos.

Rönnqvist *et al.* (2015) describen detalladamente las aplicaciones forestales de las herramientas de la investigación operativa, proponiendo un total de 33 problemas abiertos, que se adoptan en este trabajo para destacar los de aplicación actual en la región y a futuro. La diversidad de problemas de decisión y el tamaño de las tareas de planificación se han incrementado significativamente en los últimos años. Más información ha llevado a modelos más grandes, y más restricciones han llevado a restricciones más complejas.

Existe un largo historial de modelos de PL para evaluar la estrategia forestal y estos son los modelos a los que nos dirigimos. La planificación estratégica se considera a nivel gubernamental o de industrias forestales. Muchas jurisdicciones usan modelos de simulación que abordan problemas similares y producen resultados similares.

Hoy en día es ampliamente aceptado que la gestión forestal significa manejo forestal sostenible (MFS) relacionado con la conservación de la biodiversidad, el suelo, el agua, los ecosistemas y la productividad, así como también los aspectos sociales. La mayoría de las jurisdicciones han desarrollado criterios e indicadores formales de MFS, según procesos internacionales y otros han desarrollado sus propios criterios e indicadores.

El segundo gran motor de la estrategia de gestión forestal es el reconocimiento de la compleja y cada vez más integrada cadena de suministro de productos forestales. En el nivel estratégico, las empresas deben considerar toda la cadena de suministro, desde los bosques, las plantas de procesamiento y hasta la distribución de los productos a los clientes finales, con decisiones que involucran plantas, mercados y sistemas de distribución.

Situación del Uso de la Optimización en la Mesopotamia

Las aplicaciones de optimizadores a nivel empresas forestales de la región datan de los años 80'; involucrando a empresas forestales consideradas grandes y medianas, que además en la mayoría de los casos se caracterizaban por tratarse de empresas verticalizadas, o sea aquellas que poseían un patrimonio forestal (plantaciones), y también industrias e incluso dependencias de compra y ventas de productos primarios e industrializados. En la Tabla 5 se presenta una síntesis de los trabajos de planificación y optimización realizados en la región, presentados en orden cronológico de la aplicación realizada, indicando en la misma, planificador/es, sistema, año y destinatarios, temporalidad, espacialidad, método de solución, función objetivo, problema a resolver y problema abierto según Rönnqvist *et al.* (2015).

En torno de 1980 al organizar la sección forestal del proyecto de la planta celulósica de Alto Paraná S.A., la empresa y la Consultora Jakko Poyry, desarrollaron un plan estratégico de abastecimiento a dicha planta, entre otras acciones de asistencia a la organización y capacitación de técnicos y trabajadores del sector forestal de la empresa, instalaron también dos sistemas computacionales, uno de planificación estratégica (Long Range Plannig System - LRP) Jakko Poyry, Consulting. (1980¹) y otro de planeamiento operativo (Operational Planning System-OPS). Jakko Poyry, Consulting (1980²), ítem 1 de la Tabla 5.

En el Item 2 de la Tabla 5, se indica la aplicación del sistema de optimización Sabvia, desarrollado y descrito en Braier y asociados (2010), que se sugiere como una herramienta útil en la planificación táctica y estratégica de plantaciones forestales y abastecimiento de madera a plantas industriales. Según indican sus autores, contempla las relaciones entre valores físicos y

económicos de las plantaciones, y la interrelación entre corto, mediano y largo plazo, así como evaluar el efecto de medidas gubernamentales, ordenamiento ambiental, parques nacionales, etc. Permite manejar datos (cantidad de hectáreas y plantaciones existentes, rendimiento bajo distintos tratamientos silviculturales, costos de plantación y de aprovechamiento, demandas industriales regionalizadas, costos de transporte, tratamientos impositivos y subsidios, etc.). Sabvia sugiere decisiones según las necesidades de venta de raleo, poda, tala, rebrote, compraventa de madera y abastecimiento presente y futuro. Está orientado por la optimización a largo plazo del valor de las plantaciones o por la minimización de los costos industriales y puede interrelacionarse con GIS, permitiendo observar los datos y resultados georeferenciados. Y además proporciona información ordenada y clasificada para una condición competitiva superior. Es la herramienta indispensable para comprender el desarrollo de su contexto foresto-industrial al momento de plantear estrategias o realizar negociaciones. Empresas como Alto Paraná S.A., Pecom - Forestal (Pérez Companc S.A.); Papel Misionero S.A., Pomera S.A., Masisa S.A., FFF1 (Fideicomiso Financiero Forestal I) y Forestal San Lorenzo S.A. figuran entre las empresas que adquirieron el sistema o se realizaron servicios de formulación de planes estratégicos para el manejo de sus plantaciones, aunque el sistema sirve también para formular planes tácticos.

Más adelante, según el ítem 3 de la Tabla 5, la consultora brasileña STCP (2002) (<https://es.stcp.com.br/>), realizó un estudio a escala regional para la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGPyA), evaluando la importancia del sector y estimando la producción de rollizos, la demanda de la industria forestal actual y a futuro y los mercados, realizan un análisis FODA y proponen un plan estratégico para Misiones y NE de Corrientes.

En el ítem 4 de la Tabla 5, se presenta al sistema de planificación táctica CORTA, que se utiliza a nivel de una empresa desde 2003-2004, para la definición de los planes de corta a mediano plazo (tácticos), o sea de 3 años a 5 años. El mismo fue desarrollado en Chile y se emplea para definir de manera optimizada los planes de corta, usando técnicas de programación lineal, considerando las proyecciones de producción de los rodales a cosechar, la distancia de los mismos a los centros de consumo de las maderas pulpables, aserrables y laminables, los precios de dichos productos y los costos de cosecha y transporte. Las soluciones se pueden volcar a una cartografía digital y realizar ajustes reuniendo rodales aislados que puedan estar previstos cosechar más tarde, con otros que puedan ser cosechados antes, a fin de disminuir costos operativos.

El sistema Asicam (Asignador de camiones) indicado en el ítem 5 de la Tabla 5, en el que se emplean técnicas de simulación y heurísticas, es utilizado para la definición de los itinerarios optimizados de camiones forestales de alcance operativo – diario a nivel empresa. Según Epstein *et al.* (2007), “los objetivos básicos del mismo son satisfacer la demanda de diferentes productos en cada destino y, al mismo tiempo, minimizar los costos de transporte dentro de las limitaciones técnicas, normativas y laborales”. El objetivo del Asicam es la determinación de un programa eficiente de transporte de madera desde distintos orígenes hacia distintos destinos, reduciendo al mínimo los gastos asociados al transporte, pero aun así, respetando restricciones políticas, laborales, y operativas relativas a la empresa forestal para la cual es realizado el programa de transporte, el cual corresponde al problema abierto 6 de Rönnqvist *et al.* (2015).

Aun cuando no hayan sido objeto de aplicaciones en la región, se considera que en un futuro cercano se emplearan algoritmos para resolver tanto el problema abierto 8 ¿Cómo podemos desarrollar modelos y métodos de resolver el problema de fijar el itinerario de camiones forestales que se ocupan de la planificación en tiempo real, incluidas las colas en los puntos de carga y descarga? Un problema con la planificación del ruteo de vehículos, es que no consideran las colas en las entradas de fábrica o las cargadoras. La razón es que las rutas se tratan de forma independiente. Para hacer frente a esto, deben incluirse las restricciones de sincronización. Según Marques *et al.* (2014), hubo varios enfoques heurísticos, pero faltan sistemas de trabajo que garanticen una consideración completa. Como el problema abierto 9 ¿Cómo podemos desarrollar modelos y métodos para la definición de los itinerarios de camiones forestales que se ocupan de la sincronización de camiones y cargadores?, se puede considerar en el abastecimiento a plantas de bioenergía de la región, que se abastecen con diferentes residuos forestales como corteza, aserrín, astillas con corteza y sin corteza y residuos forestales post raleo y cosecha. El uso de la

optimización en el manejo del fuego, propuesta en el Problema abierto 20 de Rönnqvist *et al.* (2015), podría ser también una oportunidad en la región en el futuro cercano.

Según el ítem 6 de la Tabla 5, deben considerarse asimismo a Braier *et al.* (2004), en un trabajo realizado con el mencionado sistema Sabvia para la FAO, donde realizan un análisis de la oferta y demanda estratégica de madera a escala Latino-América, Argentina y dentro de este país a escala Regional (Mesopotamia), considerando por separado géneros y provincias, se analizaron Coníferas en Misiones y Corrientes; Eucaliptos en Corrientes y Entre Ríos y Salicáceas en el Delta, se trató de un análisis estratégico a escala regional empleando programación lineal.

Gauto (2006), desarrolla un modelo de asignación de uso del suelo basado en Programación Lineal (PL) y en Sistemas de Información Geográfica (SIG), desarrollado con el propósito de apoyar el proceso de toma de decisión sobre asignación de uso del suelo en áreas rurales de la Provincia de Misiones, Argentina, presentado en el ítem 7 de la Tabla 5. Se aplicó una estructura de “baja integración” para la vinculación entre PL y SIG. Con la intención de aplicar el modelo a una situación real, se realizó un diagnóstico socio económico y ambiental. Indica luego que del total de los usos del suelo que actualmente posee la Provincia, se seleccionó para trabajar: bosques cultivados, yerba mate, té y tabaco por tratarse de actividades representativas y de características contrastantes en cuanto a generación de renta y empleo, como también en los aspectos ambientales. Atributos como áreas de conservación, aptitud de suelos, pendientes, distancia a rutas, potencial erosivo de los suelos, carga de agroquímicos de cada actividad, renta bruta generada por la cadena productiva de cada uso, generación de empleo, fueron tomados para trabajar. Se plantearon cuatro objetivos básicos de modelado: generación de renta bruta total, generación de empleos, uso de agroquímicos y erosión total de los suelos. Con los datos obtenidos fueron conducidos análisis espaciales de cruzamiento y modelado cartográfico en ambiente SIG; fue construido el modelo de PL y sus resultados visualizados en SIG. Estos resultados demuestran que la PL unida a los SIG son excelentes herramientas de apoyo a la toma de decisión de asignación de uso del suelo, ya que producen resultados realistas, siempre que los datos disponibles sean de calidad y reflejen la distribución en el territorio. Si bien no existe aún una integración total entre ambas herramientas, la estructura de baja integración entre ambos ambientes de modelado (PL y SIG) resultó ser útil y eficiente.

En el ítem 8 de la Tabla 5, se presenta Optimber-LP que fue desarrollado por la empresa brasileña Optimber Otimização e Informática Ltda, es presentado como un sistema de apoyo a la decisión forestal (forest-dss); se especializó en encontrar soluciones inteligentes y funcionales para emprendimientos complejos en diversos segmentos del sector de base forestal (Dos Santos, 2012). El sistema permite simular, formular y resolver diversos escenarios de planificación forestal: salidas compuestas por informes, tablas gráficas y mapas de fácil interpretación y compatibles con planillas de cálculo. Considerando Bosques: cortar, plantar, raleo y podar; Madera: comprar, vender, transferir; Subproductos: comprar, vender, transferir y Tierras: alquilar, comprar, vender, abandonar. En dicho ítem se señala una aplicación destacada de dicho sistema a escala provincial, se refiere a su utilización en el Proyecto SIFIP, Subsecretaría de Desarrollo Forestal de Misiones y Facultad de Ciencias Forestales (2010), en la misma se desarrollaron Planes Estratégicos Forestales con Programación Lineal, empleando la información del Inventario Forestal, del Censo de Industrias e información económica regional; se desarrollaron varios escenarios futuros optimizados, empleando la técnica de optimización denominada Programación Lineal.

El modelo de planeamiento optimizado, permitió desarrollar varios escenarios futuros, uno de los cuales fue Planeamiento Escenario 2 – Equilibrio Provincial Base Modelo matemático de Programación Lineal, empleando la técnica del denominado Modelo tipo I con restricciones operativas.

Las funciones objetivos, implicaban la Maximización de VAN; mientras que las restricciones, establecidas fueron las clásicas de área, límites anuales mínimos y máximos de volúmenes de transferencia y venta; límites anuales mínimos y máximos de área de plantación, raleo, tala rasa; proporción (mix) anual de volúmenes de especies y productos forestales diferentes; equilibrio de producción en años sucesivos; equilibrio de distancia media de transporte en años sucesivos.

Braier *et al.* (2010), trabajaron en la provincia de Corrientes, a escala provincial, en un proyecto multidisciplinario sobre la base de una aplicación computacional que utilizó técnicas de programación lineal, con el objetivo de optimizar los procesos de toma de decisiones y ayudar en la compatibilización de intereses de los sectores forestal y de infraestructura en Corrientes, Argentina, indicado en el ítem 9 de la Tabla 5. El modelo de programación lineal sugirió aumentos potenciales en las áreas plantadas, los productos a considerar, el desarrollo de redes eléctricas y la construcción de caminos y puentes. El problema analizado incluyó cuestiones forestales, pero también considera la disponibilidad de capital de inversión, disponibilidad de infraestructura para apoyar el complejo forestal, disponibilidad de mano de obra, disponibilidad del mercado y competencia, las consecuencias sociales, las interacciones entre actores (aserraderos que proveen astillas a plantas de pulpa o MDF, plantas de celulosa que proveen energía a los aserraderos, generación de contaminantes contra límites sociales y legales). La función objetivo fue maximizar el valor agregado a nivel regional.

En el desarrollo del modelo de programación lineal, se consideraron las decisiones características (detalle anual con un horizonte de 30-50 años), bosques para plantar o renovar, clasificado por actores, áreas y especies, tratamientos silviculturales, incluida la poda, superficies de bosques a ser cosechados, edad, diferentes destinos de la madera, producción industrial y ubicación, siendo el horizonte de planificación de más de 20 años.

Por otro lado, en el ítem 10 de la Tabla 5, se destaca también la aplicación a nivel empresa del sistema ya descrito sistema Optimber-LP, con el cual se preparan diversos escenarios optimizados para la planificación del bosque. Dicho sistema fue desarrollado en asociación con responsables del planeamiento de empresas forestales. Enfocado en las respuestas que se deben dar a los propietarios (accionistas) de los bosques, se aplicó a nivel regional en empresas como FFFI administrado por Pomera S.A. y Pindo S.A.

En el ítem 11 de la Tabla 5, se indica que Braier (2015), trabajando en la Provincia de Entre Ríos, a escala provincial, utiliza un modelo de optimización de programación lineal PL, estableciendo que el objetivo fue la maximización del valor agregado en la región, partiendo de la superficie plantada actual, del crecimiento presente para las plantaciones en distintos tratamientos silviculturales, los costos de plantación, de aprovechamiento y transporte de la madera, de la capacidad instalada actual con suficiencia y costos, de una situación de mercado en cantidades y precios y de determinados costos logísticos para la entrega de esos bienes finales. Considera que maximizar el valor agregado significa conceptualmente buscar las acciones a lo largo de décadas que permitan alcanzar el diseño de las plantaciones y de la industria para lograr el máximo beneficio dentro del marco de las condiciones de mercado establecidas para los productos finales.

Según el ítem 12 de la Tabla 5, Broz (2015) propone un modelo de gestión forestal basado en Programación por Metas Extendida con el objetivo de definir un plan de cosecha óptimo según un enfoque multiproducto en un entorno multiplanta, atendiendo cuestiones económicas, ambientales, silviculturales y físicas. Para el testeó se planteó un sistema integral, conformado por la componente forestal y la industrial. Se estudiaron varios escenarios, en función al peso de los enfoques del modelo. Finalmente, desarrolló un modelo mono-objetivo para la gestión de operaciones en un entorno de programación mixta entera. El objetivo fue minimizar los costos de abastecimiento de madera de un conjunto de industrias forestales en un horizonte de planificación anual. En los modelos la variable crítica es el costo de transporte.

Friedl *et al.* (2017), trabajando a escala provincial en Misiones y utilizando técnicas heurísticas, estiman la producción estratégica de madera, la generación de fuentes de trabajo y la fijación de carbono para el periodo 2016 - 2036, ver ítem 13 de la Tabla 5.

Tabla 5. Síntesis de antecedentes de Planificación Forestal Regional y uso de Investigación Operativa en la Región

Nº	Planificador/es, Sistema, Año y Destinatarios	Temporalidad	Espacialidad	Método de Solución	Función Objetivo	Problema a Resolver	Problema Abierto Rönnqvist <i>et al.</i> (2015)
1	Jakko Poyry, LRP 1980, Apsa	Estratégico y Operacional	Empresa	Simulación	Min Costos Madera pulpable	Abastecimiento de la planta celulósica	14
2	Braier Sabvia 1996-1997, Apsa	Estratégico	Empresa – Regional	PL – Especial	Max VAN	Oferta estratégica regional	14
3	STCP – Propio 2002, Sapya	Estratégico	Regional	Heurístico – Simulación	Equilibrar Oferta y Demanda de madera	Oferta estratégica provincial y regional	14
4	Propio, Corta 2003, Apsa	Táctico	Empresa	PL	Max VAN	Plan trienal cosecha	11
5	Epstein <i>et al.</i> , Asicam 2003-2004, Apsa	Operativo – Diario	Empresa	Heurístico	Min Costo de transporte	Definición itinerarios camiones forestales	6
6	Braier, Sabvia 2004, FAO.	Estratégico	Regional - Mesopotamia	PL	Max VAN	Análisis de oferta y demanda de madera	14
7	Gauto, Propio 2006, Dr. UFPR	Táctico	Provincial	GIS-PL-GIS	Max generación de renta bruta total, de empleos, Min de agroquímicos y erosión total de los suelos	Toma de decisión en asignación de uso del suelo en áreas rurales.	15
8	FCF, Optimber 2010, SDF	Estratégico	Provincial	PL	Max VAN	Oferta estratégica provincial	14
9	Braier <i>et al.</i> , Sabvia 2010, Corrientes	Estratégico	Provincial - Corrientes	PL	Maximizar el valor agregado a nivel regional.	El desarrollo foresto industrial e inversión civil.	14
10	Optimber 2011	Estratégico	Empresa	PL	Max VAN	Determinar oferta optima de madera	14
11	Braier, Sabvia 2015, Entre Ríos	Estratégico	Provincial – Entre Ríos	PL	Max valor agregado en la región	Obtener el mayor ingreso por venta de productos industriales	14
12	Broz, Optimber Dr. UNS, 2015	Táctico (18 años)	40 rodiales de Empresa	Programación por Metas Extendida	Minimizar costos de abastecimiento de madera	Definir un plan de cosecha óptimo según visión multiproducto y multiplanta	15
13	Friedl <i>et al.</i> , Propio Misiones, 2017	Estratégico	Provincial	Heurística	Evaluar la potencialidad sustentable	Evaluar crecimiento del sector foresto-industrial provincial	15

2. CONCLUSIONES

Las herramientas de investigación operativa se aplican en la región desde 1980.

La mayoría de las aplicaciones de optimización en la región, se vinculan a determinaciones estratégicas a escala empresa o regional, para la estimación de la oferta de materia prima, utilizando técnicas de PL.

En cuanto a las modelizaciones de los itinerarios optimizados de camiones, resultan pendientes las incorporaciones de algoritmos que permitan manejar las demoras en el bosque y por colas de descarga en las industrias, propuesta en el Problema abierto 8 de Rönnqvist *et al.* (2015).

El estudio de la localización y del abastecimiento de plantas de bioenergía, empleando combustibles de origen foresto-industrial, aparece como una de las aplicaciones actuales interesantes de considerar.

Se considera que las aplicaciones de modelos de SIG-PL iniciadas por Gauto (2006), tienen un enorme potencial vinculado al ordenamiento territorial, a la planificación urbana y al manejo de cuencas.

En lo referente a los planes de determinación de oferta futura de materia prima, resulta pendiente la consideración de la sustentabilidad y dentro de esta la prueba o decisión de los mejores indicadores de los aspectos sociales y ambientales, propuesta en el Problema abierto 15 de Rönnqvist *et al.* (2015).

3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso Schwarz, G.; C. Burg y J. Cuevas. 2015. *Impacto de los bosques de cultivo. Importancia socioeconómica y su efecto multiplicador*. IERAL - Fundación Mediterránea. Documento de Investigación Año 34; Edición 60. Buenos Aires. 41 pag.
- Atashbar, N. Z.; N. Labadie; C. Prins. 2016. *Modeling and optimization of biomass supply chains: A review and a critical look*. IFAC-Papers [en línea] 49-12. Pag. 604-615. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896316310230>
- Braier, F. G.; N. Esper; L. Corinaldesi, 2004. *Tendencias y perspectivas del sector forestal al año 2020 Argentina*. Informe Nacional 1. [fecha de consulta: junio de 2018. 81 pag. Disponible en: <<http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=SAGYP.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=008182>>
- Braier, G.; Marengo J.; L. M. Mestres y J. Vara. 2010. *Integrated planning for the forestry and infrastructure sectors in Corrientes, Argentina*. [en línea] Alio/Informs Joint International Meeting - Buenos Aires, June 6-9, 2010. Disponible en: <http://www.papyro.com/informs.htm>
- Braier, G. D. 2015. *Análisis acerca del precio de las distintas clases diamétricas de las trozas que den rentabilidad al forestador y maximicen el valor agregado de una cuenca*. XIX Jornadas Forestales de Entre Ríos. 22 pag. [en línea] Disponible en: http://www.jornadasforestales.com.ar/jornadas/2015/TRABAJOS-JORNADAS-FORESTALES-2015_BRAIER.pdf
- Braier & Asociados Consultores. 2018. *Sabvia - La solución de avanzada para la planificación táctica y estratégica de plantaciones forestales y abastecimiento de madera a plantas industriales*. [en línea]. [fecha de consulta: octubre de 2018]. Disponible en: <http://www.papyro.com/sabviaforestal.htm>
- Broz, D. R. 2015. *Diseño y desarrollo de un sistema holístico a través de técnicas de simulación y optimización integradas aplicado a la planificación táctica de operaciones forestales*. Tesis de Doctorado en Ingeniería. UNS. Bahía Blanca. 175 pag.
- Brundtland Report. 1987 United Nations World Commission on Environment and Development, Our Common Future, Oxford University Press.

- Dos Santos, A. 2012. *Uso da programação linear na identificação de estratégias ótimas de regulação florestal considerando mix de consumo*. Tesis de Maestría. Universidad Federal de Paraná, Curitiba, Brasil. 89 pag.
- Casamiquela, C. H. 2015 Editorial. *Revista Producción Forestal*. Nº 13. [en línea] [fecha de consulta: abril de 2018]. Pag. 3. Disponible en: <http://forestindustria.magyp.gob.ar/archivos/revista-produccion-forestal/13.pdf>
- Consejo Federal De Inversiones (CFI) - Provincia De Corrientes. 2015. *Actualización del Inventario de Plantaciones Forestales de la provincia de Corrientes. Informe Final*. 97 Pag.
- Croveto, C. 2015. Elaboración del segundo reporte nacional. Criterios e indicadores para la conservación y el manejo sostenible de los bosques templados y boreales para el Proceso de Montreal. *Producción Forestal*, Nº 13. Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca. Buenos Aires. Pag. 4-6.
- Epstein, R.; A. Weintraub; J. Catalan, J. 2007. Asicam: A truck scheduling system. value chain optimization 2007. Innovatec. [en línea] 10 Pag. Disponible en: <http://www.fridayoffcuts.com/pix/ASICAM%20-%20Truck%20Fleet%20Utilisation,%20Epstein,%20VChain%2007.pdf>
- Fahler, J. 2011. *Presentación taller de validación del plan de mejora. Informe de Consultoría*. PROSAP - APF. Eldorado. 24 pag.
- Friedl, R. A.; D. R. Broz; J. E. Arce. 2017. *Importancia de un plan estratégico forestal a nivel provincial*. XXXI Jornadas Forestales de Entre Ríos. 5 pag. [en línea] Disponible en: https://www.jornadasforestales.com.ar/jornadas/2017/Friedletal_Planestrategicoforestal.pdf
- Jakko Poyry, Consulting. 1980¹. *Long Range Planning System. System (LRP) and User Manuals*. Puerto Libertad.
- Jakko Poyry, Consulting. 1980². *Operational Planning System (OPS). System and User Manuals*. Puerto Libertad
- Gallardo, E. 2002. *Efectos de la legislación ambiental en las prácticas de manejo forestal en Chile*. 10 pag. In: Schmithüsen, F.; Iselin, G.; Herbst, P., Eds. 2002: Forest Law and Environmental Legislation - Contributions of the IUFRO Research Group 6.13. Proceedings VII. Forstwissenschaftliche Beiträge der Professur Forstpolitik und Forstökonomie Nr. 27; ETH, Zürich, 253 pag.
- Gauto, O. A 2006. *Desenvolvimento e aplicação de um modelo de alocação do uso da terra*. Tesis de Doctorado. Curso de Pos-graduación en Ingeniería Forestal, UFPR. Curitiba, Brasil. 138 pag.
- Mastrandrea, C. y L. Vergara. 2010. *Diagnóstico del sector de transformación primaria de la madera en la región noreste de Entre Ríos, Año 2009*. XXIV Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia. [en línea] [Fecha de consulta: abril de 2018]. 19p. Disponible en: <http://www.jornadasforestales.com.ar/jornadas/2010/425.V.MASTRANDREA.VERGARA.pdf>
- Marques, A. F; J. P. de Sousa; M. Rönnqvist y R. Jafe. 2014. Combining optimization and simulation tools for short-term planning of forest operations. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 29(1): 166-177.
- Ministerio de Agroindustria. 2018. *Censo Nacional de Aserraderos*. Informe del relevamiento censal en la provincia de Corrientes. Buenos Aires. 32 pag.
- Norveto, C. 2015. Elaboración del segundo reporte nacional. Criterios e indicadores para la conservación y el manejo sostenible de los bosques templados y boreales para el proceso de Montreal. *Revista Producción Forestal*. Nº 13. [en línea] [fecha de consulta: abril de 2018]. Pag. 4-7. Disponible en: <http://forestindustria.magyp.gob.ar/archivos/revista-produccion-forestal/13.pdf>
- Rönnqvist, M.; S. D'amours; A. Weintraub; A. Jofre; E. Gunn; R. G. Haight; D. Martell; A. T Murray and C. Romero. 2015. Operations Research challenges in forestry: 33 Open Problems. *Ann Oper Res* (2015) 232: Pag. 11-40.

- Santibanez-Aguilar, J. E.; J. B. Gonzalez-Campos; J. M. Ponce-Ortega; M. Serna-Gonzalez y M. M. El-Halwagi. 2014. Optimal planning and site selection for distributed multiproduct biorefineries involving economic, environmental and social objectives. *Journal of Cleaner Production*, 65, 270-294. [en línea] [fecha de consulta: mayo de 2018]. doi:10.1016/j.jclepro.2013.08.004.
- Sejzer, R. 2016. *El Círculo de Deming (Shewhart): Ciclo PDCA*. Calidad Total. Hoy mejor que ayer, mañana mejor que hoy. [en línea]. [Fecha de consulta: octubre 2018]. Disponible en: <http://ctcalidad.blogspot.com/>
- Subsecretaría de Desarrollo Forestal de Misiones y Facultad de Ciencias Forestales. 2010. Proyecto SIFIP - Informe Final. Posadas.
- Subsecretaría de Desarrollo Forestal - Provincia de Misiones. 2016. *Actualización del inventario de bosques cultivados de la provincia de Misiones (Sistema de Información Foresto Industrial)*. Convenio Sdesfor, FAO, FCF. Posadas. 68p.
- STCP 2002. Plan *Estratégico para el desarrollo de las Pequeñas y Medianas Industrias Madereras de la Provincia de Misiones y Noreste de Corrientes*. PFD-01/01 Informe Final. Buenos Aires: SAGPyA y STCP Engenharia de Projetos Ltda (<https://es.stcp.com.br/>).
- Unidad para el Cambio Rural (UCAR). 2015. *Argentina: plantaciones forestales y gestión sostenible*. Buenos Aires. 15p. [en línea] [fecha de consulta: abril de 2018] Disponible en: http://forestoindustria.magyp.gob.ar/archivos/gestion-forestal-sostenible/publi_ambiental.pdf
- United Nations, Conference on environment and development (UNCED). 1992. Earth summit. Rio de Janeiro Conference.
- You, F. y B. Wang. 2012. *Multiobjective optimization of biomass-to-liquids processing networks*. Foundations of Computer-Aided Process Operations. [en línea] [fecha de consulta: junio de 2018]. Pag. 1-7. Disponible en: <http://focapo.cheme.cmu.edu/2012/proceedings/data/papers/013.pdf>



COMUNICACIÓN

Caracterización de la flora leñosa de los principales espacios verdes urbanos de la parroquia Tárriba, municipio Cárdenas, estado Táchira. Venezuela

Characterizing the woody flora of the main urban green spaces of Tárriba parish, Cárdenas municipality, Táchira state, Venezuela

Pereira, E.¹; D. Flores¹ y M. Castillo¹

Recibido en junio de 2019; aceptado en octubre de 2019

RESUMEN

En la actualidad, la ciudad de Tárriba presenta problemas relacionados con el deterioro de sus principales espacios verdes, debido a la carencia en el mantenimiento adecuado y a la ausencia del control e inventario de la flora existente. En tal sentido, la presente investigación tiene como objetivo realizar una caracterización de la flora leñosa de los principales espacios verdes urbanos de la parroquia Tárriba. Para tal fin se realizó un censo de las especies presentes, tanto arbóreas como arbustivas en los principales espacios verdes de la parroquia (avenida 1, Parque 12 de Febrero, Plaza Bolívar, Plaza Miranda y Plaza Sucre) procediendo a la observación directa y a la toma de fotografías, colecta y herborización de muestras para su identificación. Se registraron 1.414 ejemplares de 75 especies botánicas. El 54,5 % son árboles y el 45,5 % son arbustos. En cuanto al origen biogeográfico, 64,43 % son exóticas, 26,45 % no nativas y 9,12 % nativas. Los datos obtenidos permiten disponer de un inventario de plantas leñosas en los principales espacios verdes de Tárriba. El empleo de especies nativas es bajo, en especial aquellas propias de la región andina. Estos resultados servirán de base para una mejor selección de especies vegetales y su manejo mejorado.

Palabras clave: flora urbana, parroquia Tárriba, parques urbanos, árboles nativos, árboles no nativos, árboles exóticos.

ABSTRACT

Nowadays, the city of Tárriba presents problems related to the deterioration of its main green spaces due to the lack of adequate maintenance and the absence of control and inventory of the existing flora. In this sense, the present investigation aims to characterize the trees and bushes of main urban green spaces in the civil township of Tárriba. To achieve this, a census was made of the present species, both arboreal and shrubby in the main green spaces of the civil township (Avenue 1, the 12 of February Park, Plaza Bolívar, Plaza Miranda and Plaza Sucre) by observing, taking photographs, collecting and herborizing samples for later identification. It was registered 1414 individuals of 75 botanical species; being 54.5 % trees and 45.5 % shrubs. Regarding their biogeographical origin, 64.43 % of the species are exotic; 26.45 % non-native and 9.12 % native. The data obtained make an inventory of woody plants in the main green spaces of Tárriba available. The use of native species is low, especially of those proper to the Andean region. These results will serve as the basis for a better selection of plant species and their improved management.

Key words: Urban flora, Tárriba parish, urban parks, native trees, non-native trees, exotic trees.

¹ Departamento de Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional Experimental del Táchira. (5001). San Cristóbal. Venezuela. E-mail: mjcastillo@unet.edu.ve

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de las ciudades para el Siglo XXI constituye una de las principales causas y consecuencia de las múltiples modificaciones globales de origen antrópico que experimenta actualmente el planeta (Figueroa *et al.*, 2016). En las diferentes ciudades del mundo, los espacios verdes están presentes no solo en parques y jardines urbanos, sino también en complejos de edificios públicos, privados, calles, entre otros; los cuales, según Escolástico *et al.* (2015), se han convertido en elementos indispensables por ser una vía de conexión con el entorno natural y hábitat para numerosas especies animales y vegetales.

Es por esto que la planificación de espacios verdes urbanos debe apuntar hacia lo que actualmente se conoce como “ciudad verde”, por lo cual Roger *et al.* (2014) indican que la clave para lograrlo es la planificación de este tipo de áreas, para lo cual, la primera medida es el inventario de cobertura vegetal en espacios verdes. En consecuencia, según Roic y Villaverde (1999) la determinación de especies de árboles y arbustos que se cultivan en los espacios verdes públicos y privados de una ciudad, es el paso que permite reunir conocimientos sobre las aptitudes de cada una de ellas, estudiar su comportamiento en el lugar, establecer cuáles son las más adecuadas para los distintos fines y cuál es el grado de difusión de su cultivo, ya que en el caso en estudio no hay una documentación de la flora urbana a nivel local, contándose con referencias limitadas a nivel nacional como las de Hoyos (1994; 2006) y otras a nivel de la capital del estado Táchira como Fernández (2015) y Labrador y Laguado (2017).

Actualmente en el municipio Cárdenas y en general, en el estado Táchira las áreas verdes tienen un origen diverso, pues algunas son producto del crecimiento natural sin control ni mantenimiento y otras de reforestaciones ornamentales y forestales programadas por el Estado, sobre todo en calles y avenidas, respecto a lo cual existe una gran carencia de información. Con base a lo anterior, la presente investigación tiene como objetivo obtener información acerca de la composición florística de los principales espacios verdes urbanos del municipio Cárdenas del estado Táchira, enfocado en el censo de especies leñosas (árboles y arbustos) y su caracterización de acuerdo a su origen.

2. METODOLOGÍA

El área de estudio fue la parroquia Táriba del municipio Cárdenas, por ser la capital del municipio, netamente de ámbito urbano y poseedora de importantes espacios verdes para el esparcimiento de la ciudadanía. Posee una superficie de 262 km² y según estimaciones del INE (2014) su población para el 2011 era de 122.053 habitantes. Presenta un clima tropical lluvioso de bosque y tropical lluvioso de sabana alta, con temperaturas promedio anuales entre los 17 y 26 °C con precipitaciones anuales que rondan entre 800 y 2.000 mm. Los espacios tomados para esta investigación fueron el parque 12 de Febrero, isla de la Avenida 1 de Táriba y las plazas Bolívar, Miranda y Sucre (Figura 1).

La investigación se realizó en el último semestre del año 2017, llevándose a cabo un recorrido por el área de estudio para reconocer por medio del método de observación directa las especies vegetales existentes en el lugar; usando un cuaderno de notas, cámara fotográfica, mientras que en aquellas especies que no fueron identificables en el lugar se tomaron datos sobre hábito de crecimiento, altura, forma de copa y fuste, tipo de hojas, flores y frutos; y además se colectaron muestras para ser herborizadas y trasladadas para su posterior identificación. En esta misma fase se elaboró un listado de las especies encontradas, ubicándolas por familia, nombre común, nombre científico, origen biogeográfico (nativo: si su área de distribución está dentro del estado Táchira, no nativo: si su origen corresponde a otras regiones de Venezuela, exótico: si es originario de otros países), cantidad de ejemplares presentes en el lugar y el porcentaje de cada uno de estos.

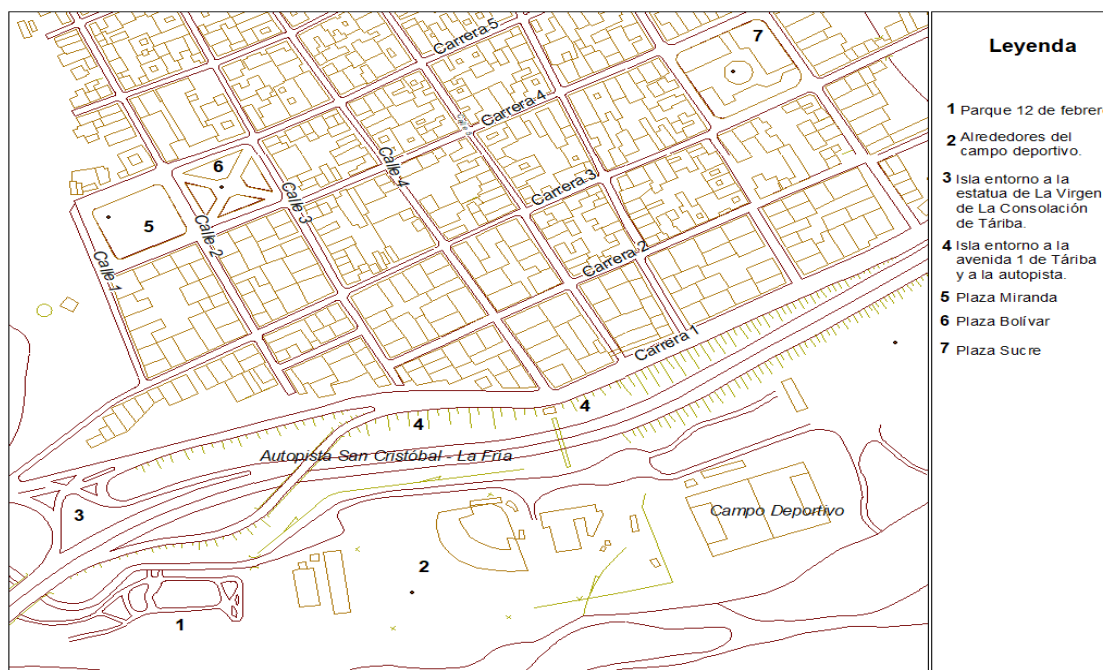


Figura 1. Ubicación de los sectores en estudio dentro de la parroquia Táriba.

La verificación de la información se realizó mediante la revisión de materiales ilustrados de referencia nacional como la guía de árboles de Venezuela (Hoyos, 1994), arboricultura urbana (Hoyos, 2006) y diversas fuentes electrónicas, mientras que para los nombres científicos de las especies encontradas se tomó como referencia actualizada el Nuevo Catálogo de Plantas Vasculares de Venezuela (Hokche *et al.*, 2008) y la página electrónica The Plant List (2013).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para las zonas contempladas se registraron un total de 1.414 ejemplares correspondientes a 53 especies arbóreas y 22 arbustivas. Las especies arbóreas se presentan plantadas principalmente de manera dispersa, sin seguir un patrón de plantación ni diseño definido, de estos se contabilizaron en total 771 individuos, representando el 54,5 % del total (Tabla 1). Del mismo modo, las alturas fueron desde los 3 m hasta los 16,5 m, y el diámetro a la altura del pecho (DAP) se encontró en rangos de 9,9 cm a 209,6 cm. En cuanto a la condición fitosanitaria, la mayoría de los individuos se observaron libres de plagas y enfermedades, mientras que en algunos casos se presentaron ramas enfermas y ataque de termitas.

En el caso de las especies arbustivas, se encontraron en estos espacios distribuidos de formas variables, desde plantaciones dispersas y plantas solitarias, hasta el establecimiento de setos continuos en torno a las caminerías de las plazas. Estas plantas representan el 45,5 % de las encontradas en la zona en estudio (Tabla 2). En los arbustos, para aquellas especies en las cuales no se maneja poda se presentan alturas desde los 2,8 m hasta 6,6 m y DAP de 7,5 cm a 66,6 cm, mientras que en aquellas que si se maneja poda, por el hecho de estar establecidas en setos, la altura no sobrepasa los 90 cm. En ninguno de los individuos se observó algún tipo de plaga o enfermedad, sin embargo se evidencia el manejo deficiente de la poda de mantenimiento, lo cual es reconocible por la disparidad de los setos en algunas especies y las formas irregulares en otras.

Con respecto al origen de las especies presentes, predominaron las de tipo exóticas, encontrándose 911 ejemplares de 43 especies que representan el 64,43 %. Seguidamente se encuentran las no

nativas, con 374 individuos de 16 especies representando el 26,45 % y finalmente las nativas, con 129 individuos de 16 especies botánicas, observándose una baja representación de éstas, con un 9,12 % restante.

Tabla 1. Especies arbóreas. Número de ejemplares y porcentaje

Familia	Nombre común	Nombre científico	Origen	N° de ejem.	%
Anacardiaceae	Mango	<i>Mangifera indica</i> L.	Exótico	5	0,6
	Mijao	<i>Anacardium excelsum</i> (Bertero ex Kunth) Skeels	Nativo	1	0,1
Apocynaceae	Retama	<i>Cascabela thevetia</i> (L.) Lippold	No nativo	21	2,7
Araucariaceae	Araucaria	<i>Araucaria heterophylla</i> (Salisb.) Franco	Exótico	1	0,1
Bignoniaceae	Árbol de la salchicha	<i>Kigelia africana</i> (Lam.) Benth.	Exótico	4	0,5
	Apamate	<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) Bertero ex A.DC.	No nativo	197	25,6
	Fresnillo	<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex Kunth	No nativo	8	1,0
	Jacaranda	<i>Jacaranda mimosifolia</i> D.Don	Exótico	12	1,6
	Tulipán Africano	<i>Spathodea campanulata</i> P.Beauv.	Exótico	40	5,2
Burseraceae	Indio Desnudo	<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	No nativo	4	0,5
Casuarinaceae	Falso pino	<i>Casuarina equisetifolia</i> L.	Exótico	4	0,5
Chrysobalanaceae	Oití	<i>Licania tomentosa</i> (Benth.) Fritsch.	Exótico	71	9,2
Combretaceae	Almedrón	<i>Terminalia catappa</i> L.	Exótico	17	2,2
	Úcaro Negro	<i>Bucida buceras</i> L.	Exótico	8	0,0
Cupressaceae	Ciprés	<i>Cupressus sempervirens</i> L.	Exótico	4	1,0
	Pino planchado	<i>Platyclusus orientalis</i> (L.) Franco	Exótico	2	0,5
Erythroxylaceae	Alcarreto	<i>Erythroxylum citrifolium</i> A.St.-Hil.	Nativo	5	0,0
Euphorbiaceae	Jabillo	<i>Hura crepitans</i> L.	Nativo	20	0,3
Fabaceae	Bucare Ceibo	<i>Erythrina poeppigiana</i> (Walp.) O. F. Cook	Nativo	5	0,6
	Caro Caro	<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb.	No nativo	2	2,6
	Cascarón	<i>Machaerium biovulatum</i> Micheli	Nativo	1	0,6
	Casia de Siam	<i>Senna siamea</i> (Lam.) H.S.Irwin & Barneby	Exótico	1	0,3
	Flamboyant	<i>Delonix regia</i> (Hook.) Raf.	Exótico	2	0,1
	Guamo	<i>Inga spectabilis</i> (Vahl) Willd.	Nativo	5	0,1
	Leucaena	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	Exótico	10	0,3
	Mare mare	<i>Cassia grandis</i> L.f.	No nativo	9	0,6
	Matarratón	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Walp.	No nativo	22	1,3
	Mucuteno	<i>Senna spectabilis</i> (DC.) H.S.Irwin & Barneby	Nativo	2	1,2
	Pata de vaca	<i>Bauhinia purpurea</i> L.	Exótico	1	2,9
	Roble	<i>Platymiscium diadelphum</i> S.F.Blake	No nativo	9	0,3
	Samán	<i>Albizia saman</i> (Jacq.) Merr.	Nativo	21	0,1
Yacure	<i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth.	No nativo	28	1,2	
Lythraceae	Flor de la reina	<i>Lagerstroemia indica</i> L.	Exótico	41	2,7
Malvaceae	Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Nativo	37	2,3
	Majagua	<i>Heliocarpus americanus</i> L.	Nativo	2	0,1
Meliaceae	Alelí	<i>Melia azedarach</i> L.	Exótico	3	3,6
	Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i> King	No nativo	15	5,3
	Cedro	<i>Cedrela odorata</i> L.	No nativo	7	0,4
Moraceae	Chipio	<i>Ficus macbridei</i> Standl.	Nativo	4	1,9
	Higuerón	<i>Ficus insipida</i> Willd.	Nativo	1	0,9
	Palo de mora	<i>Maclura tinctoria</i> (L.) D.Don ex Steud.	Nativo	1	0,5
	Siempre verde	<i>Ficus benjamina</i> L.	Exótico	46	0,1

Tabla 1. (Cont.)

Familia	Nombre común	Nombre científico	Origen	N° de ejem.	%
Myrtaceae	Cepillo	<i>Callistemon speciosus</i> (Sims) Sweet	Exótico	7	0,1
	Eucalipto	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh.	Exótico	8	6,0
	Guayaba	<i>Psidium guajava</i> L.	No nativo	1	0,9
	Melaleuca	<i>Melaleuca quinquenervia</i> (Cav.) S.T.Blake	Exótico	21	1,0
	Pomagás	<i>Syzygium malaccense</i> (L.) Merr. & L.M.Perry	Exótico	6	0,1
Oleaceae	Fresno	<i>Fraxinus chinensis</i> Roxb.	Exótico	7	2,7
Pinaceae	Pino Caribe	<i>Pinus caribaea</i> Morelet	Exótico	1	0,8
Rutaceae	Limón	<i>Citrus limón</i> (L.) Osbeck	Exótico	1	0,9
Sapindaceae	Mamón	<i>Melicoccus bijugatus</i> Jacq.	No nativo	18	0,1
Scrophulariaceae	Ajicito	<i>Bontia daphnoides</i> L.	Exótico	1	0,1
Urticaceae	Yagrumo	<i>Cecropia peltata</i> L.	Nativo	1	0,1
Total				771	100

Tabla 2. Especies arbustivas. Número de ejemplares y porcentaje.

Familia	Nombre común	Nombre científico	Origen	N° de ejem.	%
Acanthaceae	Café con leche verde	<i>Graptophyllum pictum</i> (L.) Griff.	Exótico	5	0,8
	Camarón amarillo	<i>Pachystachys lutea</i> Nees	Exótico	1	0,2
Apocynaceae	Verbería	<i>Nerium oleander</i> L.	Exótico	2	0,3
Araliaceae	Lluvia de plata	<i>Polyscias guilfoylei</i> (W.Bull) L.H.Bailey	Exótico	12	1,9
Asparagaceae	Bayoneta	<i>Yucca aloifolia</i> L.	Exótico	27	4,2
	Dracena	<i>Dracaena reflexa</i> Lam.	Exótico	2	0,3
	Palo de la felicidad	<i>Dracaena fragrans</i> (L.) Ker Gawl.	Exótico	1	0,2
Celastraceae	Holly	<i>Euonymus fortunei</i> (Turcz.) Hand.-Mazz.	Exótico	2	0,3
Euphorbiaceae	Capa roja	<i>Acalypha wilkesiana</i> Müll.Arg.	Exótico	1	0,2
	Croto	<i>Codiaeum variegatum</i> (L.) Rumph. ex A.Juss.	Exótico	6	0,9
Fabaceae	Cují de Jardín	<i>Calliandra riparia</i> Pittier	No nativo	18	2,8
Lythraceae	Granada	<i>Punica granatum</i> L.	Exótico	1	0,2
Malpighiaceae	Semeruco	<i>Malpighia glabra</i> L.	No nativo	1	0,2
Malvaceae	Cayena	<i>Hibiscus rosa-sinensis</i> L.	Exótico	5	0,8
Nyctaginaceae	Trinitaria	<i>Bougainvillea spectabilis</i> Willd.	Exótico	12	1,9
Piperaceae	Cordoncillo 1	<i>Piper aduncum</i> L.	Nativo	11	1,7
	Cordoncillo 2	<i>Piper tuberculatum</i> Jacq.	Nativo	12	1,9
Rutaceae	Azahar de la India	<i>Murraya paniculata</i> (L.) Jack	Exótico	8	1,2
	Limón de cerca	<i>Swinglea glutinosa</i> (Blanco) Merr.	Exótico	499	77,6
Scrophulariaceae	Cilantrillo plateado	<i>Leucophyllum frutescens</i> (Berland.) I.M. Johnst.	Exótico	1	0,2
Solanaceae	Nazareno	<i>Brunfelsia australis</i> Benth.	Exótico	2	0,3
Verbenaceae	Garbancillo	<i>Duranta erecta</i> L.	No nativo	14	2,2
Total				643	100

En general, se observa la presencia de diversas especies de árboles y arbustos, tanto nativos, no nativos y exóticos, que son comúnmente empleados en la arboricultura urbana a nivel nacional mencionados por Mérola (1993) y Hoyos (1994, 2006), así como también los reportados a nivel local por Fernández (2015) y Labrador y Laguado (2017), específicamente para la ciudad de San Cristóbal, cercana al área en estudio, en los cuales se observa un alto nivel de similitud en lo referente a las especies reportadas, ya que para ambos casos se presentó un nivel de coincidencia de 64,28 y 100 %, respectivamente, por lo que se deduce que la arborización urbana tiende a seguir cierta uniformidad, en muchos casos por simple modismo frecuentemente observado hacia algunas plantas en particular (o las llamadas “plantas de moda”), desestimándose el empleo de especies locales.

Como puede apreciarse en las tablas anteriormente mostradas, en el caso de las especies arbóreas predominan el Apamate (*T. rosea*) por el gran valor ornamental derivado de su floración vistosa, seguido del Oití (*L. tomentosa*), Flor de la Reina (*L. indica*) y Siempre verde (*F. benjamina*), mientras que en las especies arbustivas prevalecieron el Limón de cerca (*S. glutinosa*), Bayoneta (*Y. aloifolia*), Cují de jardín (*C. riparia*) y Garbancillo (*D. erecta*), observándose que 6 de las 8 especies antes mencionadas son de origen exótico. Al igual que en otros estudios sobre flora urbana, como los de Teillier *et al.* (2010), Roger *et al.* (2014) y Figueroa *et al.* (2016), en este caso se encuentra un número apreciable de especies exóticas de origen asiático, probablemente por la adaptación a un clima tropical semejante a sus lugares de origen, o también como lo argumentan Figueroa *et al.* (2004) “como consecuencia de la alta disponibilidad histórica de especies de este origen” que puede estar ocurriendo en el caso de la zona en estudio y en general en Venezuela. De modo similar, Nilsson y Randrup (1998) mencionan que si bien en diversos lugares del mundo suele utilizarse un número limitado de especies como árboles urbanos por sus caracteres estéticos, de resistencia y facilidad de propagación, es necesario la identificación, estudio y cultivo de nuevas especies utilizables para el ámbito urbano, recomendación esta que es aplicable para el presente caso.

Es de importancia tomar en consideración que la planificación de los espacios verdes urbanos deben tener presente la selección de especies propias de la zona, ya que en el caso de la ciudad de Táriba, se encuentra en la región de Los Andes venezolanos, la cual se caracteriza por ser turística, y es en este tipo de casos donde es relevante realzar los atributos propios de la localidad, como por ejemplo la biodiversidad de la zona, dando así una apariencia más propia a este tipo de espacios, incrementando el atractivo turístico. Tal como lo establecen Rozzi *et al.* (2003), la inclusión de vegetación nativa en la ciudad adquiere relevancia para la conservación y su presencia contribuye a mejorar el ecosistema y sirve de atractivo a las personas, por lo cual esa valoración de la diversidad bio-cultural cobra relevancia en el actual proceso de globalización.

4. CONCLUSIONES

Los datos obtenidos en esta investigación permiten tener un primer inventario de especies leñosas, forestales y ornamentales, presentes en los principales espacios verdes de la parroquia Táriba.

Existe una diversidad de especies encontradas, principalmente árboles, en donde se observan tanto especies nativas como exóticas, destacando que estas últimas se presentan en número mayoritario.

De manera general, las especies nativas muestran la menor proporción, factor que debe considerarse al momento de emprender programas de rescates de los espacios verdes urbanos, en los cuales debe darse mayor preferencia a las especies nativas, de manera de dar una mayor muestra de la flora autóctona y valoración de la diversidad biológica autóctona, promoviendo así valores culturales.

Se debe destacar que en los espacios estudiados existe muy poca representatividad de especies locales (por ejemplo, Bucare o Higuérón), incluso no fue encontrado el Pino laso, árbol emblemático del estado Táchira. En consecuencia, es necesario que en proyectos de recuperación de estos espacios verdes se tome en consideración la inclusión de más especies propias de la región andina, con la finalidad de que se una mayor representatividad de la flora autóctona y también mostrar una imagen de ciudad más acorde con el aprovechamiento turístico.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al Decanato de Investigación de la Universidad Nacional Experimental del Táchira por el financiamiento parcial de este proyecto bajo el código 004-003-2017.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Escolástico, C.; A. Lerma; J. López y M. Alía. 2015. *Medio ambiente y espacios verdes*. Editorial UNED. Madrid. 392 p.
- Fernández, A. 2015. *Propuesta de un Plan para la conservación y/o recuperación de las avenidas Libertador, Carabobo, Ferrero Tamayo y Lucio Oquendo en el municipio San Cristóbal, Estado Táchira*. Trabajo de aplicación profesional, Universidad Nacional Experimental del Táchira, San Cristóbal.
- Figuerola, J.; S. Castro; P. Marquet y F. Jaksic. 2004. Exotic plant invasions to the Mediterranean region of Chile: causes, history and impacts. *Revista Chilena de Historia Natural* 77:465-483.
- Figuerola, J.; S. Castro y M. Reyes. 2016. Valorando la diversidad de la flora urbana de Santiago de Chile. *En: Conferencia de la tierra – Paisajes, Suelos y Biodiversidad: Desafíos para un buen vivir* 2016, p. 30-45. Ediciones de la Universidad Central de Chile. Santiago de Chile.
- Hokche, O.; P. Berry y O. Huber. 2008. *Nuevo catálogo de la flora vascular de Venezuela*. Fundación Instituto Botánico de Venezuela Dr. Tobías Lasser. Caracas, Venezuela. 859 p.
- Hoyos, J. 1994. *Guía de árboles de Venezuela*. Sociedad de Ciencias Naturales La Salle. Caracas, Venezuela. 384 p.
- Hoyos, J. 2006. *Arboricultura urbana: propagación, mantenimiento y ornamentación*. Sociedad de Ciencias Naturales La Salle. Caracas, Venezuela. 203 p.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). 2014. XIV Censo Nacional de Población y Vivienda. [En línea]. [Fecha de consulta: enero de 2018]. Disponible en: <http://www.ine.gov.ve/documentos/Demografia/CensodePoblacionyVivienda/pdf/tachira.pdf>
- Labrador, S. y I. Laguado. 2017. *Evaluación de la calidad atmosférica de la parroquia Pedro María Morantes del municipio San Cristóbal, estado Táchira mediante el uso de líquenes como bioindicadores*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Experimental del Táchira. San Cristóbal, Venezuela.
- Mérola, G. 1993. *Vegetación y diseño. Introducción a la arboricultura urbana*. Fundación Instituto Botánico de Venezuela. Caracas. 119 p.
- Nilson, K. y T. B. Randrup. 1988. *Silvicultura urbana y periurbana*. Actas del XI Congreso Forestal Mundial 1: 87-101. Antalya, Turquía.
- Roger, E.; M. Generoso; R. Blanco y A. Villaverde. 2014. Caracterización de la flora leñosa en Plaza Libertad, Santiago del Estero. [En línea] *Quebracho* 22(1):50-56 [Fecha de consulta: marzo 2018]. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-30262014000100006&lng=es&tlng=en.
- Roic, L. y A. Villaverde. 1999. Árboles y arbustos cultivados en la ciudad de Santiago del Estero, Argentina. *Quebracho* 7: 79-88.
- Rozzi, R.; F. Massardo; J. Silander; O. Dollenz; B. Connolly; C. Anderson y N. Turner. 2003. Árboles nativos y exóticos en las Plazas de Magallanes. *Anales Instituto Patagonia (Chile)* 31:27-42.
- Teillier S.; J. Figuerola y S. Castro. 2010. Especies exóticas de la vertiente occidental de la cordillera de la Costa, Provincia de Valparaíso, Chile central. *Gayana Botánica* 67:27-43.
- The Plant List 2013. Version 1.1. [En línea]. [Fecha de consulta: octubre 2019]. Disponible en: <http://www.theplantlist.org/>



ARTICULO INVITADO

Red Argentina de Ciencia y Tecnología Forestal -REDFOR.ar- Un medio de articular y fortalecer las capacidades científico - técnicas para el desarrollo forestal

*Argentine Network of Forest Science and Technology -REDFOR.ar-
A means of articulating and strengthening scientific - technical capacities
for sustainable forest development*

Carabelli F. A.¹; A. M. Lupi²; C. Graciano³ y P. E. Villagra⁴

Recibido en noviembre de 2019

RESUMEN

La REDFOR.ar es una iniciativa conjunta de las instituciones vinculadas a las Ciencias Forestales, que está conformada por docentes, investigadores e instituciones relacionados con la educación, la ciencia y la tecnología forestal. Con un Consejo Directivo integrado por las universidades nacionales en las que se dictan carreras forestales de posgrado, grado y pregrado -UNSE, UNaM, UNaF, UNPSJB, UNCo, UNLP- además del CONICET, el INTA y el INTI, se halla incluida dentro del ámbito de las Redes Institucionales Orientadas a la Solución de Problemas (RIOSP) que constituye una iniciativa de la Gerencia de Desarrollo Científico y Tecnológico del CONICET. En este artículo se describen las etapas que dieron origen a la REDFOR.ar, se presentan los resultados de una encuesta nacional realizada por la Red que permitieron delinear los fines y se detallan las actividades que actualmente se están llevando a cabo.

Palabras clave: desarrollo forestal, academia, instituciones de ciencia y tecnología, alcances.

ABSTRACT

The REDFOR.ar is a joint initiative of institutions linked to the Forest Sciences, integrated by teachers, researchers and institutions related to forest education, science and technology. With a Board of Directors composed by the representatives of the national universities where graduate and undergraduate forestry programs are taught -UNSE, UNaM, UNaF, UNPSJB, UNCo, UNLP- together with the CONICET, INTA and INTI, it is part of the Solving Problems-Oriented Institutional Networks (RIOSP, in Spanish), an initiative of the Management of Scientific and Technological Development Office of the CONICET. In this article the stages that gave rise to the REDFOR.ar are described, the results of a national survey conducted by the Network that allowed to state its purposes introduced and the activities that are currently being carried out detailed.

Key words: forest development, academia, institutions of science and technology, scopes.

¹ Facultad de Ingeniería, Sede Esquel, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Ruta 259, km 16,4, Esquel (9200), Chubut. E-mail: francisco.carabelli@gmail.com

² Instituto de Suelos, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, De los Reseros y Nicolás Repetto s/n, (1686) Hurlingham, Buenos Aires.

³ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (Instituto de Fisiología Vegetal), Universidad Nacional de la Plata, Diag 113 N° 495, La Plata (1900) Buenos Aires.

⁴ Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Av. Ruiz Leal s/n Parque General San Martín, Mendoza (5500) Facultad de Ciencias Agrarias, UNCuyo

Contexto en el que se inserta la Red Argentina de Ciencia y Tecnología Forestal

La población argentina, en más de 90 % asociada a zonas y costumbres urbanas, vive mayoritariamente lejos de las regiones boscosas del país, y el correlato de esa lejanía física se manifiesta en una distancia posiblemente mayor en términos del desinterés por la suerte y el potencial de nuestros bosques (Carabelli *et al.*, 2015).

Ello hace cada vez más probable que esta despreocupación esté nutriendo la semilla del deterioro progresivo de la calidad de vida, si persiste una visión de corto plazo y la indolencia para enfrentar con decisión, inversión, capacitación y visión el desafío de dar sustancia y proyección al desarrollo forestal en cada región del país.

La nuestra es una sociedad que sin lugar a duda puede alcanzar la celebridad por planificar la improvisación. Desde la concepción relativamente reciente (Merenson, 1992) de un Plan Forestal Argentino -que nunca llegó a aplicarse- hasta el presente, los bosques nativos han sido agredidos, degradados y eliminados sin pausa, a una tasa que, extrapolando para el período 2007 - 2009 un conjunto de valores brindados por la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable para los períodos 1998 - 2002 y 2003 - 2006, es del orden de 261.700 hectáreas por año para el período 1998 - 2009.

A pesar de la indiscutible e inocultable gravedad, esta tragedia no le otorga a las generaciones contemporáneas el privilegio de la exclusividad, pues en un extenso período que abarca más de cuatro siglos, desde las Leyes de Indias sancionadas a mediados del siglo XVI (Costantino, 1957; Ordano, 1978) hasta la reciente Ley de Presupuestos Mínimos para la Protección Ambiental de los Bosques Nativos en el siglo XXI (Merenson, 2008), el área total de bosques nativos en el país se redujo en aproximadamente 70 millones de hectáreas, quedando un remanente de 97 millones de hectáreas entre bosques (31 %) y otras tierras forestales (69 %) (Cozzo, 1992, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2004).

El bosque nativo ha sido histórica y tradicionalmente diezmado por políticas cortoplacistas concesivas hacia intereses empresarios muchas veces extranjeros -historia reiterada también en relación con otros recursos-. En la actualidad debemos ser muy prudentes para conservar y manejar técnica y económicamente los bosques que aún permanecen, con la doble finalidad de mejorar su producción maderera y no maderera -en el caso de aquellos bosques que tienen o pueden tener estatus productivo- y de aumentar la superficie, tanto de estos bosques como de aquellos que por algún motivo son considerados y clasificados como protectores, sea de ambientes, procesos ecológicos o biodiversidad. Otro aspecto a conservar, manejar y desarrollar, porque son una parte indisoluble de la riqueza forestal, es el de las plantaciones forestales tanto con especies introducidas como nativas.

Pero el desarrollo forestal no remite únicamente a disponer de bosques en calidad y cantidad, sino a generar y consolidar condiciones institucionales, científico-técnicas, formativas y promocionales razonables con el marco de una política de Estado sensata, consistente y vehemente. Desde principios del siglo pasado en adelante, diversas voces han puesto de manifiesto el conflicto, las contradicciones y las distancias, a veces astronómicas, entre las potencialidades que tiene nuestro país en términos forestales y la realidad de los hechos. Hoy día, diversas voces de especialistas del área forestal y hasta de personalidades de la política continúan señalando y advirtiendo que el desarrollo forestal argentino “*aún está por ser*”.

En ese proceso de maduración, un aspecto relevante que concierne directamente a la debilidad intrínseca de la situación forestal argentina en términos de su desarrollo es la insuficiente cantidad de profesionales de que se dispone para encarar este desafío en la faceta no sólo estrictamente técnica sino en sus innegables asociaciones con los aspectos económicos y políticos. Así considerada la situación, la educación forestal en la Argentina constituye un área de vacancia de enorme relevancia que obviamente no se percibe como tal. La acuciante falta de profesionales en temas forestales repercute en al menos cinco niveles (Carabelli, 2010):

Político: porque no hay entonces ni siquiera la posibilidad de intervenir en procesos de construcción y aplicación de decisiones sobre política forestal nacional y regional.

Institucional: porque no se pueden conformar y consolidar instituciones estatales y organizaciones de respaldo y acompañamiento tales como colegios y asociaciones, entre otras.

Técnico: porque no hay profesionales suficientes para mejorar las bases de información que, para el manejo, la conservación, la industrialización, la comercialización, la socialización para el uso múltiple, entre otros aspectos gravitantes para el desarrollo, requieren tanto un piso sólido como una actualización permanente y dinámica.

Económico: porque no se puede evaluar la contribución al producto nacional, ni a la generación de empleo, ni a la mejora de la calidad de vida en las comunidades, ni a la consolidación de otros “productos” (como por ejemplo el turismo nacional y receptivo) sin la participación de especialistas forestales.

Académico: porque no hay investigadores suficientes ni formadores -en una cantidad mínima- de futuros profesionales.

La iniciativa de conformación de la Red Argentina de Ciencia y Tecnología Forestal

En noviembre de 2015 se reunieron en la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Santiago del Estero representantes de facultades de ciencias forestales, de ciencias agrarias y de recursos naturales, del CONICET, del INTA, de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable y de la Unidad de Cambio Rural del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Invocando la Declaración de Durban del XIV Congreso Forestal Mundial que establece la visión al año 2050 para los bosques, así como la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de la Organización de las Naciones Unidas que aborda la necesidad de gestionar de forma sostenible los bosques, propusieron la creación de una red de investigación en ciencias forestales para el centro y norte de Argentina. Plantearon como objetivo general de la misma el de conformar un sistema coordinado de investigaciones sobre uso y manejo de los bosques, generando conocimiento para el sector público, productivo y/o la sociedad en general.

A esta reunión siguió otra en el mes de junio de 2016, esta vez en las instalaciones del CONICET en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, con el propósito de sentar las bases institucionales de la red de ciencias forestales y determinar lineamientos de cada parte involucrada para optimizar la ejecución de la misma. Fueron actividades centrales de esta segunda reunión la presentación de las redes temáticas que existen en el ámbito de la Gerencia de Desarrollo Científico y Tecnológico del CONICET, de las que pasó a ser parte integrante la REDFOR.ar, la presentación de los resultados de una encuesta a investigadores y académicos de todo el país relacionados con la temática forestal, cuya preparación estuvo a cargo del área de sistemas del CONICET y la puesta en común de compromisos asumidos en el taller realizado en Santiago del Estero así como de la visión a futuro y estratégica para la Red. Fue en tal sentido que se acordó que la Red tenía que pensarse para una escala nacional y no únicamente para el centro y norte del territorio, lo que sentó las bases para el que posteriormente sería su nombre definitivo, esto es, *Red Argentina de Ciencia y Tecnología Forestal* (en adelante REDFOR.ar).

A partir de septiembre de 2016 se realizó una segunda consulta dirigida a un público forestal mucho más amplio, de cuyos resultados damos cuenta en este artículo. Una de las razones para ello fue el hecho de que se puso en evidencia la necesidad de identificar áreas de vacancia para dirigir esfuerzos de inversión en investigación y desarrollo contando con una base más amplia de información. La aspiración con esta iniciativa era que tal información fuese proporcionada por personas que, asumiendo una posición personal y/o institucional, aportasen de su conocimiento y experiencia para que la Red pudiera tener un punto de partida más sólido de las distintas iniciativas que se considerara poner en marcha en el corto y mediano plazo. Además de ello, la consulta también indagó acerca de temas de índole forestal con impacto social, educativo, económico,

político, ambiental y cultural que por su naturaleza podían ser empleados para difundir y discutir en la sociedad con el propósito de instalar en la agenda social la importancia sobre el rol de los bosques.

En abril de 2017, en el marco de una nueva reunión en el CONICET se conformó de manera definitiva la REDFOR.ar y se aprobó un Documento Base, el que posteriormente, en agosto de ese mismo año, se presentó y fue aprobado por el Directorio del organismo. La iniciativa de constituir esta red se apoyó en la consideración de que los bosques adquieren cada vez mayor importancia en términos económicos, sociales y ambientales, tanto en la Argentina como en el mundo. Con esta perspectiva, la REDFOR.ar se propone contribuir con las políticas de investigación y transferencia en temas relacionados con la conservación y el manejo sostenible de los bosques y tierras forestales, el bienestar de las poblaciones que dependen de ellos, el logro de otros objetivos de desarrollo sostenible y el desarrollo foresto-industrial en el territorio nacional.

Su misión es la de articular y fortalecer las capacidades científico - técnicas existentes en Argentina para potenciar y promover el desarrollo forestal sostenible. En tal dirección, el objetivo general es coordinar las acciones de generación y transferencia de conocimiento científico-técnico relacionadas con el sector forestal, el que sin duda guarda similitudes con aquel que se había esbozado en la reunión acontecida en Santiago del Estero hacia fines del año 2015.

En cuanto a los objetivos específicos, corresponde destacar los siguientes: 1) Detectar áreas de vacancia y promover mecanismos para cubrirlas. 2) Generar un banco de datos de referentes regionales en las diferentes temáticas del sector. 3) Promover la integración de grupos de trabajo de diferentes disciplinas, regiones y actores. 4) Fortalecer la generación y transferencia de conocimiento. 5) Propiciar la interacción en espacios de toma de decisiones en los temas de su incumbencia. 6) Difundir la importancia del rol social, cultural, ambiental y económico de los bosques. 7) Promover y fortalecer los programas de educación superior (grado y postgrado) de acuerdo con los nuevos paradigmas y desafíos del manejo de los recursos forestales. 8) Gestionar recursos para cumplir la misión de la REDFOR.ar.

La estructura interna de la REDFOR.ar, que terminó de configurarse como tal en una reunión de su Consejo Directivo de agosto de 2017, se esquematiza a continuación (Fig. 1):

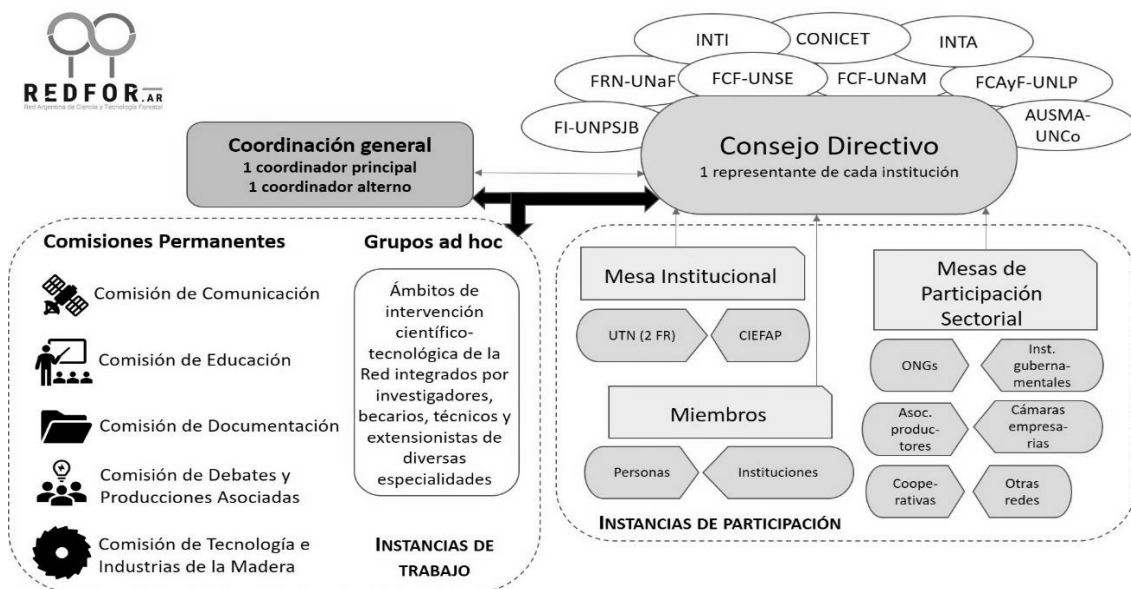


Figura 1. Esquema de la estructura organizativa de la Red Argentina de Ciencia y Tecnología Forestal.

Entre las funciones más importantes de la Coordinación General de la REDFOR.ar corresponde mencionar las de coordinar las reuniones del Consejo Directivo y de la Mesa Institucional, elaborar propuestas para el involucramiento de la Red en iniciativas forestales nacionales e internacionales que se correspondan con los objetivos general y específicos de la misma, facilitar y estimular los vínculos entre todos los miembros de la Red, administrar los fondos, ejercer la representación en todas aquellas instancias que así lo requieran y promover la vinculación de la Red con otras Redes Institucionales Orientadas a la Solución de Problemas (RIOSP) y con Redes nacionales e internacionales vinculadas a la temática forestal.

Por su lado, el Consejo Directivo tiene como funciones, entre otras, las de evaluar el cumplimiento de los objetivos y metas previstos en el documento de base de la Red, discutir, definir y adoptar las temáticas que abordará la Red mediante la preparación de un plan de acción de mediano plazo que considere los aportes de las instituciones que conforman la Mesa Institucional y las Mesas de Participación Sectorial y trabajar activamente en la búsqueda y captación de financiamiento adicional para el desarrollo de las actividades en el marco de las temáticas abordadas.

La Mesa Institucional está integrada por las instituciones que en el país realizan actividades de enseñanza, investigación, extensión y desarrollo vinculadas a la temática forestal que han sido invitadas por el Consejo Directivo de la RED. En las Mesas de Participación Sectorial se integran las instituciones gubernamentales, ONGs, asociaciones de productores, cámaras empresariales, cooperativas, otras redes (no RIOSP) relacionadas con el sector, que son invitadas tanto para conocer sus ámbitos respectivos de acción como los posibles requerimientos hacia la RED, de manera que se puedan generar instancias de interacción. Los Grupos ad hoc se constituyen como tales ante requerimientos específicos que le son planteados a la RED, como se describe más adelante. Son los ámbitos de intervención científico-tecnológica de la Red y se integran con investigadores, becarios, técnicos y extensionistas de diversas especialidades (multi e interdisciplinario) siempre y cuando cuenten con el perfil técnico/científico adecuado para abordar la temática específica, concreta y particular de investigación. Están coordinados por el investigador científico o tecnológico que por su experticia es el más adecuado para desempeñar esta tarea. Por último, los Miembros son investigadores, técnicos u otras personas cuya actividad profesional/laboral está vinculada con la temática forestal –ya sea perteneciendo a una entidad pública o privada o como trabajador independiente- que pueden formar parte tras completar un formulario online con sus datos personales y profesionales/laborales.

Resultados de la segunda Encuesta Nacional de la REDFOR a científicos, académicos y otros profesionales de las ciencias forestales y relacionadas

Realizada durante el segundo semestre del año 2016, esta encuesta fue respondida por 730 profesionales de todo el país, brindando valiosos resultados que constituyeron un insumo de enorme valor para orientar la actividad de la Red. Las distintas opciones propuestas para cada pregunta se ordenaron en orden de importancia según la cantidad de respuestas recibidas (Tablas 1-3-5) y se reordenaron por su afinidad en términos de dar origen a categorías temáticas más amplias (Tablas 2-4-6).

Las principales áreas temáticas sugeridas por los investigadores fueron aquellas vinculadas a la conservación y manejo del bosque nativo, y a la vinculación de los bosques con el desarrollo social y económico. Para esto, se debe considerar las estrategias de generación, industrialización y comercialización de los productos forestales, y la valoración de los servicios ecosistémicos (Tablas 1 y 2).

Tabla 1. Áreas temáticas -sociales, educativas, científico-tecnológicas, políticas, económicas- en las que deberían concentrarse esfuerzos económicos, institucionales y científicos para fortalecerlas.

N° opción	Opción	Selección	%	Categoría
1	Investigación y puesta en valor para el desarrollo forestal con especies nativas	51	8,05	a
2	Los bosques como medio principal de vida de las comunidades	51	7,97	b
3	Valoración de la biodiversidad a distintas escalas	46	7,22	a
4	Manejo forestal en bosque nativo (también incluyendo sistemas silvopastoriles)	42	6,64	a
5	Restauración de áreas degradadas	39	6,06	a
6	Relación con el bosque de distintos actores con distintas miradas y distintas concepciones de desarrollo	37	5,81	b
7	Desarrollo de productos forestales con innovación tecnológica	34	5,31	c
8	Relación de los bosques con el cambio climático	31	4,81	d
9	Valoración económica de servicios ecosistémicos	28	4,40	d
10	Participación ciudadana en procesos de ordenación territorial	25	3,90	b
11	Puesta en valor de productos forestales no madereros existentes e identificación de nuevos	23	3,65	e
12	Procesos y productos para generación de dendroenergía	23	3,57	e
13	Actualización de los inventarios forestales a escalas provincial y regional	22	3,49	f
14	Los bosques como hábitat y cosmovisión cultural de pueblos originarios	21	3,32	g
15	Perfeccionamiento de la información sobre descripción y distribución de los bosques	21	3,24	f
16	Aprovechamiento de residuos forestales	20	3,15	e
17	Manejo integrado de plagas	17	2,66	h
18	Desarrollo de clusters de producción	16	2,57	i
19	Prevención de incendios forestales	16	2,49	h
20	Fortalecimiento / diversificación de estrategias de comercialización de productos forestales	15	2,41	c
21	Mejoramiento genético de especies de valor comercial	15	2,32	i
22	Producción en viveros forestales	13	2,07	i
23	Desarrollo de políticas regionales que promuevan y protejan las forestaciones de PyMES	12	1,83	i
24	Desarrollos tecnológicos aplicables a PYMES industriales	11	1,66	c
25	Desarrollo de políticas que protejan a las PYMES ante vaivenes en el valor del mercado de productos primarios	9	1,41	c
	Total	639	100	

La columna “Selección” indica la cantidad de respuestas que seleccionaron la opción como la más importante, teniendo en consideración que el encuestado podía seleccionar hasta 3 opciones, en un orden decreciente de importancia. En esta tabla y las siguientes las opciones están numeradas sólo para indicar la cantidad, pero dicho número no representa un orden jerárquico ni se corresponde con el que dichas opciones tenían en la encuesta. La columna de “categoría” por letras se realizó con el fin de reagrupar las opciones en categorías más amplias, que pudiesen considerarse como campos de intervención del accionar de la Red en el futuro.

Tabla 2. Integración de las opciones planteadas para las distintas áreas temáticas (Tabla 1) en categorías más amplias.

Categoría	Campos de intervención de la REDFOR.ar
a) 179	Valoración, conservación, restauración y puesta en valor del BN.
b) 113	Vinculación de los bosques con los procesos de desarrollo social y económico.
c) 69	Estrategias de industrialización y comercialización.
e) 66	Generación de productos forestales distintos de la madera.
d) 59	Relevancia ecosistémica de los bosques.
i) 56	Producción forestal centrada en plantaciones.
f) 43	Mejora de la información existente.
h) 33	Protección forestal.
g) 21	Relación de los bosques con los pueblos originarios.

Los números en las celdas que siguen a las letras corresponden a cantidad de casos (= número de respuestas que asignaron la prioridad "1" a cada opción seleccionada).

Con el objeto de estimular una mayor apropiación ciudadana respecto de la temática forestal, surge como prioritario promover estrategias educacionales y de comunicación a la sociedad, lograr una mayor institucionalización del sector forestal y una mayor interacción con ámbitos profesionales afines (Tablas 3 y 4).

Tabla 3. Aspectos -educativos, de comunicación pública de la ciencia, políticos- que podrían estimular una mayor apropiación ciudadana acerca de la importancia que tienen los bosques, inclusive en la vida cotidiana.

N° opción	Opción	Selección	%	Categoría
1	Incorporación de la temática "Bosques" en los diseños curriculares de primaria y secundaria	214	33,51	a
2	Campaña educativa en medios de difusión sobre los servicios ambientales del bosque en los diferentes biomas del país	121	18,89	a
3	Existencia de una autoridad forestal nacional de mayor rango que la actual, capaz de articular y potenciar capacidades regionales	118	18,50	b
4	Empoderamiento de niños y jóvenes en las escuelas como "embajadores forestales" que con el respaldo de ONGs ambientales, por ejemplo, participen en foros escolares temáticos	57	8,93	a
5	Identificación de denominadores comunes con otras profesiones afines para construir un mensaje potente capaz de llegar a vastos sectores de la sociedad	50	7,76	c
6	Grabación de spots que puedan difundirse mediante señales televisivas locales en los que gente común protagonice historias acerca de la importancia de cuidar los bosques	44	6,86	a
7	Creación de una figura pública a nivel nacional de "Defensor Forestal" que reciba inquietudes de la sociedad y las canalice en los ámbitos correspondientes	35	5,56	b
Total		639	100	

Las opciones que se proponen para cada una de las tres preguntas principales que tuvo la encuesta fueron el producto de un arduo trabajo de integrantes de la Comisión Directiva de la Red y de otros colegas que sin formar parte de dicha comisión, aportaron valiosas sugerencias para mejorar el catálogo de alternativas.

Tabla 4. Integración de las opciones planteadas para los aspectos previamente señalados (Tabla 3) en categorías más amplias.

Categoría	Campos de intervención de la REDFOR.ar
a) 435	Estrategias educacionales y de comunicación en escuelas y en la comunidad.
b) 154	Mayor institucionalización del sector forestal.
c) 50	Mayor interacción con otros ámbitos profesionales afines.

Entre los temas que más le preocupan a la gente y que, por lo tanto, deberían formar parte del trabajo de la REDFOR.ar se destacan la ausencia de visión estratégica a nivel político y una deficiente institucionalidad en el sector forestal, el bajo involucramiento de la sociedad en el tema bosque y la degradación forestal (Tablas 5 y 6).

Tabla 5. Temas que más le preocupan a la gente y que considera que por sus implicancias sociales, ambientales, políticas, educativas, culturales o económicas deberían formar parte de un espacio de interacción de la REDFOR.ar con la sociedad.

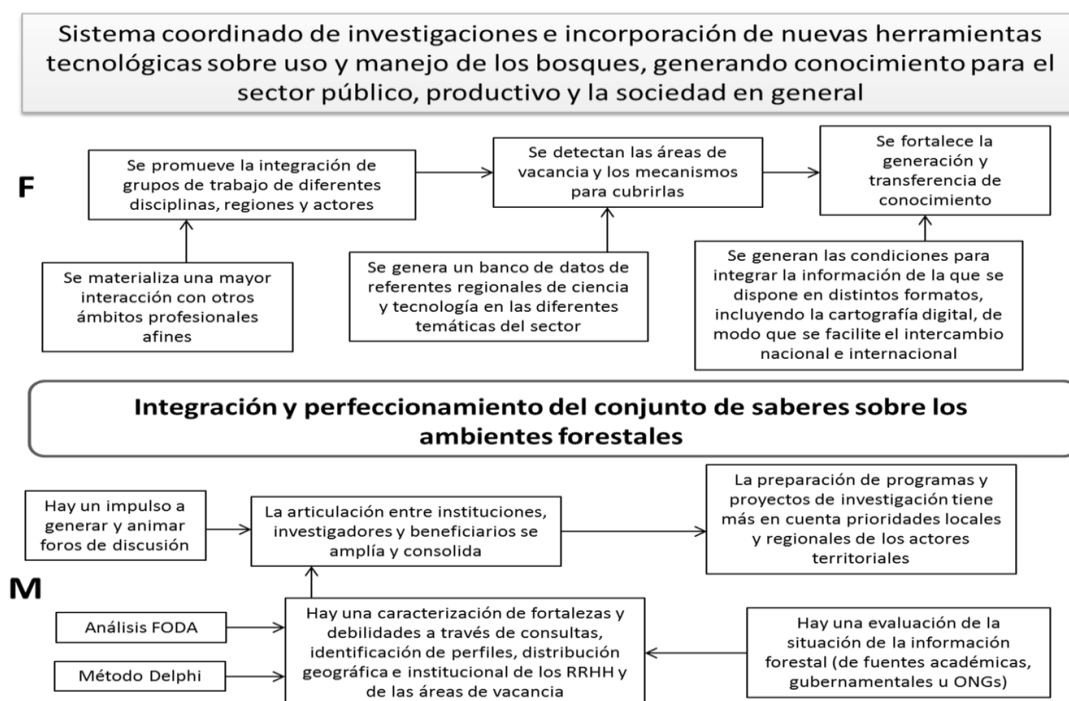
N° opción	Opción	Selección	%	Categoría
1	Degradación de las áreas boscosas (por múltiples causas)	127	19,95	a
2	Visión predominante de corto plazo en los decisores políticos que no se condice con los requerimientos y perspectivas de un sector que “mide” el tiempo con otra escala	114	17,97	b
3	Desconocimiento de los servicios ambientales de los bosques	96	15,05	c
4	Desinterés o apatía en la sociedad por la situación presente y futura (positiva o negativa) de los bosques nacionales (tanto nativos como cultivados)	68	10,92	c
5	Inversión insuficiente para un desarrollo forestal a escalas regional y nacional	43	6,77	b
6	Falta de formación profesional en el abordaje transdisciplinario y manejo multipropósito de los bosques en relación a las reales demandas de la sociedad	42	6,65	d
7	Institucionalidad forestal “fragmentada” que reduce las chances de potenciar el crecimiento y consolidación del sector	39	6,18	b
8	Información disponible insuficiente en calidad y cantidad para el manejo, la conservación, la industrialización, la comercialización, la socialización, con un marco de integralidad	33	5,13	e
9	Baja autoestima de "lo forestal" para presentarlo a la sociedad como un factor capaz de dinamizar la economía tanto a nivel regional como nacional	30	4,78	b
10	Insuficiente articulación con otras profesiones y sectores que tienen incidencia en la cuestión forestal en sentido amplio	30	4,67	d
11	Escasos estímulos para incentivar a los jóvenes a iniciar carreras universitarias (de pregrado, grado y posgrado) en la temática forestal	14	2,22	d

Tabla 6. Integración de las opciones planteadas para distintas áreas temáticas en categorías más amplias.

Categoría	Campos de intervención de la REDFOR.ar
b) 227	Ausencia de visión estratégica a nivel político y deficiente institucionalidad para el sector forestal en su conjunto.
c) 163	Desconocimiento y escaso involucramiento de la sociedad en los temas sobre bosques.
a) 127	Degradación de los bosques.
d) 86	Debilidades concretas en la incentivación para atraer interesados a los estudios forestales, en la formación del profesional forestal y en la interacción con otras profesiones y disciplinas.
e) 33	Información insuficiente que permita analizar, entender y planificar el desarrollo del sector de manera integral.

Fines de la Red Argentina de Ciencia y Tecnología Forestal

Los resultados expuestos precedentemente posibilitaron diseñar, mediante el empleo de la Metodología de Marco Lógico (Ortegón *et al.*, 2015), los árboles de problemas (o de Causas-Efectos) y de objetivos (o de Medios-Fines), distinguiendo cuatro fines, a partir de los cuales se derivaron las matrices de marco lógico, las que a su vez constituyeron el insumo indispensable para configurar las acciones de la REDFOR.ar. Los árboles de problemas construidos en primer lugar permitieron desarrollar los de objetivos que son los que se presentan a continuación (Fig. 2, 3, 4, y 5), a modo de una apretada pero elocuente síntesis de las posibles soluciones a las principales problemáticas que visualizamos como REDFOR.ar.

**Figura 2.** Árbol de objetivos de lo que podría hacerse para perfeccionar el conocimiento sobre los ambientes forestales. En la figura M: Medios; F: Fines.

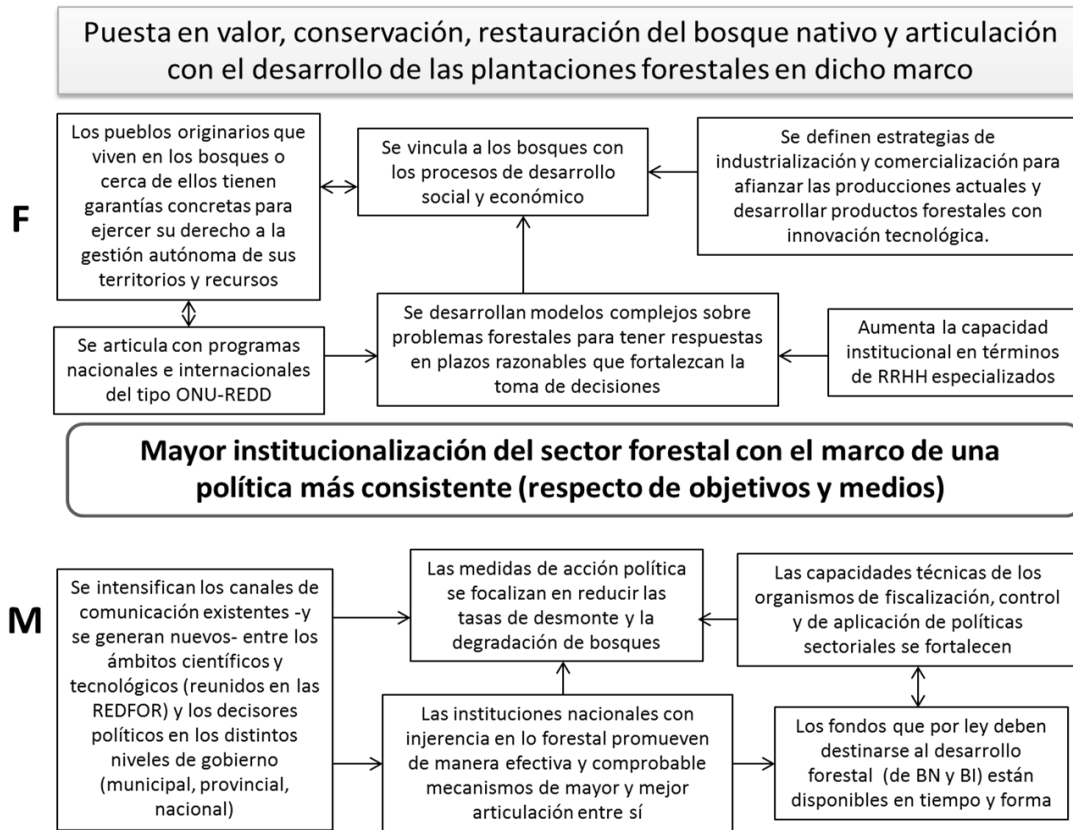


Figura 3. Árbol de objetivos para el logro de una mayor institucionalización del sector forestal.



Figura 4. Árbol de objetivos sobre la importancia del rol en sentido amplio de los bosques.

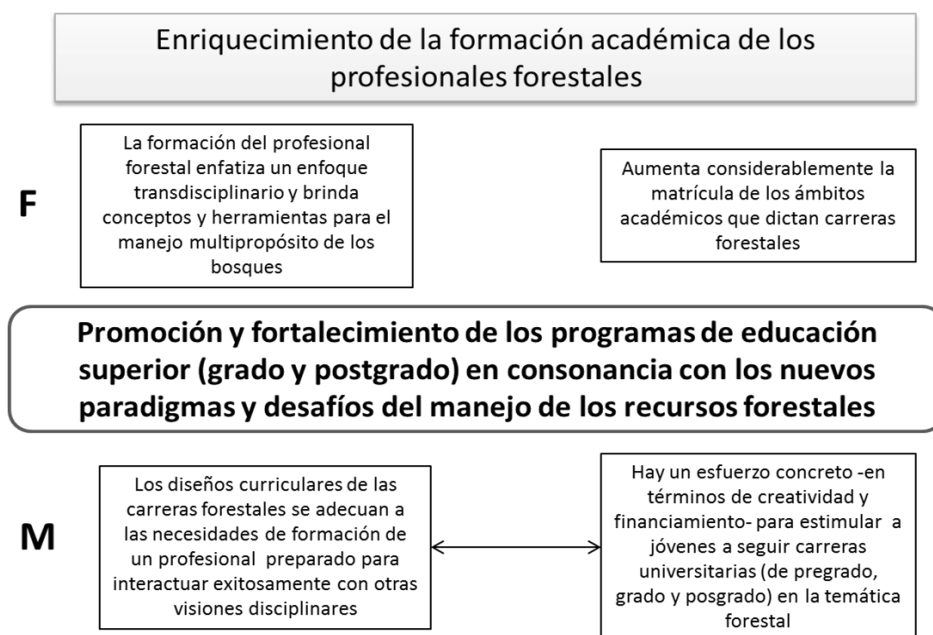


Figura 5. Árbol de objetivos sobre el fortalecimiento de la formación del grado y posgrado forestal.

Miembros de la Red Argentina de Ciencia y Tecnología Forestal

Desde su constitución, fue un interés central del Consejo Directivo de la REDFOR.ar propiciar que todo aquel profesional del sector forestal que estuviese interesado, aun cuando su actividad no estuviese estrictamente ligada al ámbito científico-tecnológico, pudiese formar parte de la Red como miembro. A tales efectos, se diseñó un formulario para registrar a nuevos integrantes, que está disponible desde fines del año 2016. La adhesión fue importante dando cuenta de que la Red tiene en la actualidad un número de integrantes que supera las 400 personas, abarcando prácticamente todas las provincias argentinas (Tabla 7). La mayor parte de los integrantes forman parte del ámbito académico, principalmente docentes e investigadores (Fig. 6). Es importante destacar que todas las regiones forestales están incluidas en los intereses de los miembros de la Red (Fig. 7). CONICET es la institución más representada, pero se cuenta con una importante representación del INTA y todas las Universidades con carreras forestales (Fig. 8).

Cargo con el que realiza investigación/extensión/transferencia relacionada a las ciencias forestales

422 respuestas

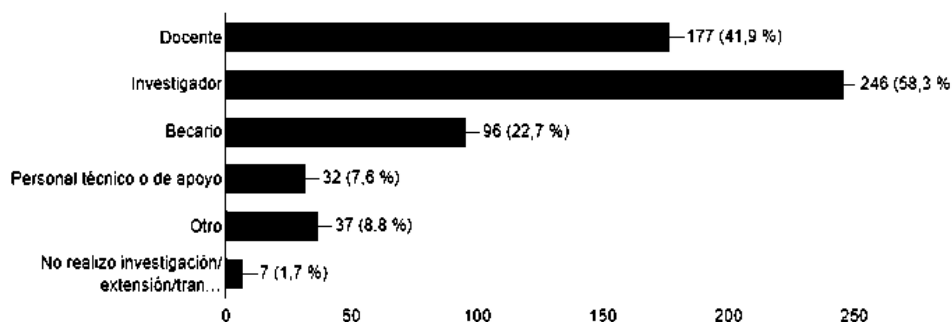


Figura 6. Cargo con el que realizan sus actividades relacionadas con lo forestal.

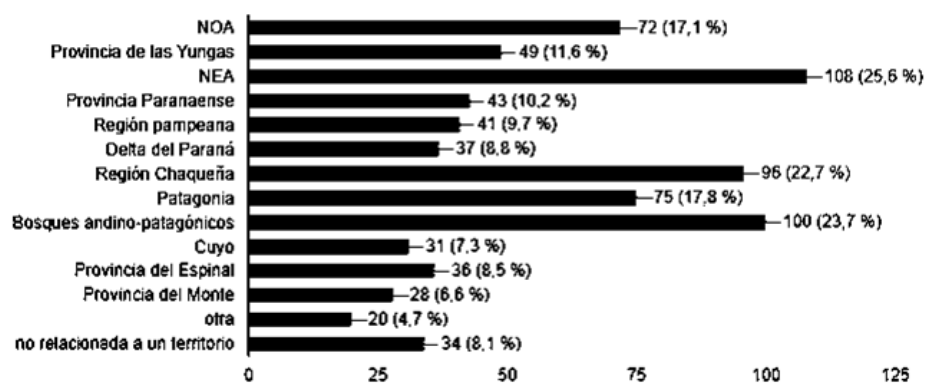
Tabla 7. Distribución de los 405 miembros de la REDFOR.ar por provincia de residencia.

Provincia/Ciudad	Miembros (%)
Buenos Aires	16
Misiones	13
Río Negro	11
Santiago del Estero	8
Chubut	8
Capital Federal	7
Mendoza	6
Córdoba	5
Tucumán	4
Jujuy	3
Entre Ríos	3
Neuquén	3
Santa Fe	3
Tierra del Fuego	2
Chaco	2
Salta	2
Formosa	2
Corrientes	2
La Pampa	1
San Juan	1
San Luis	1
Santa Cruz	1

Con qué región se relaciona la investigación/extensión/transferencia o actividad que realiza



422 respuestas

**Figura 7.** Pertenencia institucional de los miembros de la REDFOR.ar a octubre de 2018.

Institución en la que realiza docencia, investigación y/o trabajo profesional relacionado a la ciencia y tecnología forestal

398 respuestas

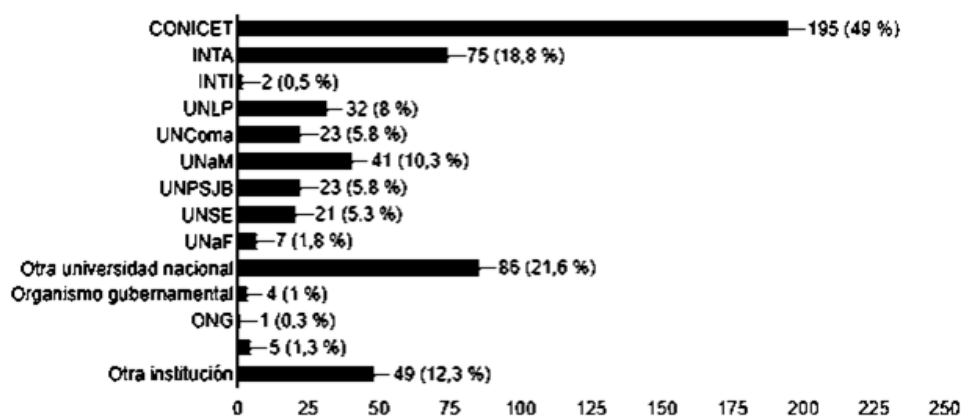


Figura 8. Institución en la que realizan sus actividades los miembros de la REDFOR.ar a octubre de 2018.

La tarea de las Comisiones Permanentes de la Red Argentina de Ciencia y Tecnología Forestal

La REDFOR.ar se ha organizado internamente con cinco comisiones permanentes (tal como se muestra en la Fig. 1), que están integradas por miembros de las instituciones que conforman el Consejo Directivo (CD) y la Mesa Institucional y tienen a su cargo el desarrollo de actividades que la Red considera importantes para su funcionamiento y proyección en términos del cumplimiento de sus objetivos. Las principales actividades que tales Comisiones han desarrollado se sintetizan a continuación.

Comisión de Educación: su responsable es el Ing. Ftal. Juan Goya (FCAYF, UNLP). Dado que muy pronto las facultades con carreras forestales deben encarar la tarea de rediseño de sus planes de estudio para una formación en competencias, se acordó que la REDFOR.ar podía propiciar una articulación y un trabajo académico cooperativo. Con esta finalidad, se organizó un Taller de Educación, que se realizó el 25 de junio de 2019 en la sede de CONICET en CABA, en el que participaron representantes de todas las instituciones que integran el CD de la RED.

Comisión de Comunicación: su responsable es la Dra. Cristina Area (CONICET), quien en la reunión del CD de septiembre de 2018 propuso, en base a la disposición de la editora de la Revista Argentina Forestal, que cada miembro del CD preparase una nota, de modo que la REDFOR.ar pudiera contribuir mensualmente con una nota durante al menos un año. Esta actividad se ha desarrollado con gran éxito y hasta el presente son quince las notas publicadas. Se cuenta ya con un conjunto de notas para los próximos meses, en lo que representa una colaboración permanente que desde la REDFOR.ar se tendrá con esta importante publicación nacional. Otras notas para divulgar actividades de la REDFOR.ar se realizaron en distintos ámbitos, como el Boletín AMEN de la Asociación Argentina de Ecología, entre otras.

El sitio web de la REDFOR.ar -redforestal.conicet.gob.ar-, que en lo referido a la actualización de la información está a cargo de la Dra. Corina Graciano (FCAYF, UNLP/CONICET), se halla en funcionamiento desde hace dos años, e incluye todos los documentos y notas generadas desde la red, además de una serie de documentos que sirvan como material de difusión y como material técnico en lo referido a lo forestal.

Comisión de Documentación: su responsable es el Dr. Miguel Sarmiento (FCF, UNSE). Esta comisión es la que se ocupa, principalmente, de la recolección y alojamiento de documentos en la sección de Material Técnico en la página web de la Red. Se aloja allí material inédito, que es bastante frecuente en la literatura forestal, el que es o suele ser de relevancia para ámbitos científicos y técnicos forestales pero que es de difícil acceso por no estar publicada en congresos y/o revistas técnicas y/o científicas.

Comisión de Debates y Producciones asociadas: su responsable es el Dr. Pablo Villagra (CONICET), quien ha planteado como un esquema concreto de acción que desde la Red se gestione la participación en los eventos forestales que la Red considere relevantes, para que sea incluida una sesión (o la modalidad equivalente) en tales eventos, cuya organización y concreción quedará a cargo de la red o REDFOR.ar. Como se explica más adelante, ya ha habido iniciativas concretas en este terreno. Complementariamente, en el marco de las tareas previstas para el desempeño de esta Comisión, se preparó un documento de aporte a la discusión de la Plataforma Forestar 2030, que consiste en una iniciativa de cuatro ministerios nacionales y en la que la REDFOR.ar ha tenido una destacada colaboración.

Comisión de Tecnología e Industrias de la Madera: su responsable es la Dra. Eleana Spavento (Laboratorio de Investigaciones en Madera -LIMAD-, FCAYF, UNLP). A raíz de una detallada propuesta de trabajo preparada por un grupo interinstitucional e interdisciplinario, que se analizó durante la reunión del mes de septiembre de 2018 del CD de la Red, se constituyó formalmente esta quinta comisión. Este grupo ha preparado ya dos documentos y ha ido ampliando de manera gradual su conformación con nuevas instituciones e investigadores.

Además de este trabajo sostenido de las distintas Comisiones Permanentes, la REDFOR.ar ha ido afianzando una presencia nacional mediante distintas actividades que gradualmente la van dotando de identidad y de contenido. Algunas de ellas son las siguientes:

Cooperación con el Ministerio de Alimentación, Agricultura y Bosques de la Provincia de Baviera, Alemania: en el mes de septiembre de 2017 y por pedido expreso de autoridades de ese país, la Coordinación de la REDFOR.ar preparó un informe acerca de los temas que resultan importantes para proponer actividades de cooperación entre dicho Ministerio y la Red Argentina de Ciencia y Tecnología Forestal. Tres fueron los temas relevantes que se plantearon a los representantes ministeriales: manejo sustentable de bosques nativos, puesta a punto de un sistema de información pública sobre el rol social, cultural, ambiental y económico de los bosques, teniendo en cuenta que existe un gran desconocimiento y escaso involucramiento de la sociedad en los temas sobre bosques y el desarrollo de un sistema de consulta a especialistas de instituciones tecnológicas y de empresas del sector industrial forestal para definir estrategias de industrialización y comercialización con el propósito de afianzar las producciones actuales y desarrollar productos forestales con innovación tecnológica.

Informe de la Comisión de expertos en fuegos de vegetación: en noviembre de 2017, la Comisión ad hoc de expertos especialmente conformada para analizar la situación sobre el traspaso de funciones del Sistema Federal de Manejo del Fuego (SFMF) del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación al Ministerio de Seguridad de la Nación (Decreto 746/2017) presentó a la Coordinación de la REDFOR.ar, luego de cuatro meses de trabajo el *Memorandum sobre Manejo de Fuego en la Argentina*, que fue enviado a los Ministros de Ambiente y Desarrollo Sustentable y de Seguridad de la Nación.

Incorporación de la temática de dendroenergía en la formación académica forestal: desde los (ex)Ministerios de Agroindustria (a través del Programa PROBIOMASA) y de Energía y Minería se llevó adelante la iniciativa de dar forma a un programa académico universitario de biomasa y bioenergía, en el que participaron entre los meses de septiembre de 2018 y junio de 2019 las facultades forestales nucleadas en la REDFOR.ar. Con financiamiento de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés) se redactó el proyecto “*Elaboración del trayecto académico biomasa-bioenergía para*

las carreras de ingeniería forestal de Argentina. *Energía de biomasa forestal*”, que se presentó a mediados de junio de 2019 a los responsables del programa mencionado.

Gestiones en torno a la participación de miembros de la REDFOR.ar en el Inventario Nacional de Bosques Nativos (INBN): entre noviembre de 2017 y abril de 2018, la Coordinación de la REDFOR.ar tomó contacto con funcionarios del (ex) Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (MAyDS) y con coordinadores de otras dos redes/Observatorios RIOSP -las de Biodiversidad de Paisajes Productivos Forestales y la de Desertificación-. El rol principal que asumieron los distintos coordinadores fue el de ayudar a los interesados a ponerse en contacto para que pudiesen constituir grupos y presentarse a la licitación. Los coordinadores manifestaron a técnicos del MAyDS su interés por participar en otras instancias del INBN, tales como planificación de las mediciones a realizar, análisis de datos, confección de manuales de campo por región, entre otras. También se acordó el hacer una difusión al interior de las redes de la existencia de puntos con parcelas permanentes que se remedirán cada 5 años, porque a futuro tales parcelas pueden ser de utilidad para proyectos de investigación, tanto porque se quiera usar los datos de este inventario como porque se pretenda realizar mediciones complementarias en esas parcelas.

Participación en los talleres de planificación de la Plataforma Interministerial Forestar 2030: desde mediados de 2018 y hasta la reciente presentación del Resumen Ejecutivo del Plan Estratégico Forestal y Foresto Industrial 2030, integrantes del Consejo Directivo de la REDFOR.ar y miembros de la misma participaron activamente tanto en los talleres, en los que se construyó la así llamada “Visión 2030”, como en la mejora de algunos de los documentos parciales que posteriormente dieron lugar al Plan mencionado. Desde la REDFOR.ar nos enorgullecemos de haber formado parte de esta iniciativa, pues es la primera vez que en el sector se realiza un documento participativo público-privado, con la opinión de decenas de instituciones representativas de la cadena de valor y entidades de la sociedad civil asociadas a los bosques.

El presente y el futuro

Tal como está previsto en su estatuto, la REDFOR.ar ha cambiado sus coordinadores y a partir de la última reunión realizada en junio de 2019, el Consejo Directivo aprobó las nuevas coordinaciones a cargo de Ana María Lupi (INTA) y Pablo Villagra (CONICET), quienes asumieron esta responsabilidad a partir del mes de septiembre y desempeñarán esta tarea los próximos dos años. Recientemente, la REDFOR.ar ha empezado a generar espacios de discusión en forma de mesas redondas o paneles en distintos eventos en el país. Tal ha sido el caso del *Primer Congreso Argentino de Agroecología-SAAE*, realizado en la ciudad de Mendoza en el mes de septiembre, en el que se hizo una presentación para una mesa redonda con el título “Conservación por el uso en nuestros bosques nativos: ¿Una utopía teórica o una oportunidad productiva?” en la que, con prestigiosos investigadores invitados, se proponía analizar experiencias en distintas regiones de Argentina, en el manejo de recursos forestales silvestres de importancia cultural y ambiental que en el presente se constituyen como una nueva alternativa dentro de los sistemas productivos familiares diversificados, y pueden aportar a la planificación del uso sustentable de los bosques. La segunda experiencia de este tipo acontecerá en el próximo *Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo* que se realizará en Corrientes en mayo de 2020, en el que la REDFOR.ar organizará el Primer Simposio de Suelos Forestales, con la participación de entre tres y cuatro especialistas invitados.

Por otro lado, continuamos recorriendo el camino de la generación de vínculos y construcción de confianza. Presentamos la Red en la 4^a Jornada de los Pueblos Tanineros realizada en Tartagal, Santa Fe y ante la Comisión Forestal del Consejo Profesional de Ingenieros Agrónomos, la Asociación Forestal Argentina (AFOA) y representantes de The Nature Conservancy Argentina (TNC).

De este modo, tras haber iniciado su actividad en agosto del año 2017, luego de que el Directorio del CONICET la creara formalmente, la REDFOR.ar cuenta ya con una estructura consolidada de trabajo, un conjunto de comisiones permanentes que desarrolla una intensa actividad, una cantidad de integrantes -mayoritariamente profesionales de diversas disciplinas relacionadas con la temática forestal distribuidos en todo el territorio nacional- que supera las 400 personas, así como una participación creciente, que cada vez adquiere mayor dinamismo e intensidad, en eventos e iniciativas de envergadura nacional. Como reflexión final no podemos sino manifestar que como coordinadores (salientes y entrantes) de estos primeros períodos es un gran privilegio formar parte de esta etapa fundacional, con la responsabilidad de llevar adelante una tarea tan significativa. La REDFOR.ar tiene por delante grandes desafíos, y ha dado ya una serie de pasos sustantivos para posicionarse y consolidarse como un espacio no sólo de referencia en los aspectos técnico-científicos del quehacer forestal sino, y sobre todo, de construcción del futuro forestal de nuestro país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carabelli, F.; J. Askenazi-Vera; F. Fortunati y D. Marchand. 2015. *Vivir de “espaldas” a los bosques: ¿Cuánto nos importan en realidad?*. XIV Congreso Forestal Mundial. Durban, República de Sudáfrica. [en línea] Disponible en: <http://foris.fao.org/wfc2015/api/file/5527c5dc2ba8d4167d64d130/contents/247eb58b-5994-4c52-8393-b6af90fa886f.pdf>
- Carabelli, F. 2010. *Reflexiones en torno a la necesidad de más profesionales forestales en la Argentina*. Serie Técnica de Extensión N° 1. Facultad de Ingeniería, Sede Esquel. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. 11 p.
- Costantino, I. 1957. *Pasado, Presente y Futuro Forestal Argentino*. Conferencia pronunciada en el Centro Argentino de Ingenieros Agrónomos. Administración Nacional de Bosques. Ministerio de Agricultura y Ganadería. 28 p.
- Cozzo, D. 1992. *Las pérdidas del primitivo paisaje de bosques, montes y arbustiformes de la Argentina con especial referencia a sus territorios áridos y húmedos*. Miscelánea N° 90. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba, Argentina. 31 p.
- Merenson, C. 1992. *Desarrollo sustentable o deforestación “Plan forestal argentino”, un legado para las generaciones venideras*. Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente Humano, Buenos Aires, Dirección de Recursos Forestales Nativos, 55 p.
- Merenson, C. 2008. *Ley 26331. Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental para los Bosques Nativos*. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Presentación realizada en el Seminario sobre Bosques Nativos en Argentina. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata.
- Ordano, C. 1978. *Desarrollo de la política forestal argentina hasta el presente*. Relatorio en Actas del Tercer Congreso Forestal Argentino. Delta del Paraná. p. 799-803.
- Ortegón, E.; J. F. Pacheco y A. Prieto. 2015. *Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas*. Serie Manuales N° 42. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Naciones Unidas. 126 p.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. 2003. *Atlas de los Bosques Nativos Argentinos*. Proyecto Bosques Nativos y Áreas Protegidas, BIRF 4085-AR, Buenos Aires, Dirección de Bosques, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 243 p.

